



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Programa de Doctorado en Infraestructuras de
Transporte y Territorio

**FACTORES DE ÉXITO EN LA IMPLEMENTACIÓN
DEL SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR EN
OBRAS DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES**

Tesis presentada por:

JOSÉ ENRIQUE CASAS RICO

Dirigida por:

Dr. EUGENIO PELLICER ARMIÑANA
Dr. LUIS FERNANDO ALARCÓN CÁRDENAS
Dra. MARÍA LAURA MONTALBÁN DOMINGO

Valencia (España), noviembre de 2025

A Silvia

AGRADECIMIENTOS

Tengo que reconocer que el camino ha sido muy largo y duro pero satisfactorio, apasionante y, por momentos, hasta divertido. He disfrutado mucho de todo el proceso.

A lo largo del desarrollo de esta tesis he encontrado el apoyo y la colaboración de muchas personas a las que quiero expresar mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar quiero agradecer a los promotores, a las empresas constructoras y a los estudios de arquitectura, su colaboración en esta investigación. Su participación y su buena actitud han sido factores esenciales para poder llevar a término esta tesis.

Agradecer especialmente a los jefes de obra de los proyectos seleccionados que, con tanta afinidad, dedicaron su tiempo durante la celebración de las entrevistas y la ejecución de las obras. Gracias por la extensa y detallada información proporcionada y por compartir vuestra experiencia conmigo.

Rafael Escobar Alcantud y Juan Barreda Haro fueron los técnicos conocedores del Sistema del Último Planificador e informadores clave externos durante la investigación; gracias por la dedicación y el esfuerzo en las revisiones y valoraciones, y por los comentarios y aportaciones que permitieron mejorar la versión final de este estudio.

En el ámbito académico, mi más profundo agradecimiento a mis directores de tesis:

- El profesor Dr. Eugenio Pellicer Armñana (Vicerrector de Infraestructuras y Coordinación de los Campus de la Universitat Politècnica de València).
- El profesor Dr. Luis Fernando Alarcón Cárdenas en la Pontificia Universidad Católica de Chile, miembro fundador del International Group for Lean Construction (IGLC).
- La profesora Dra. Laura Montalbán Domingo en la Universitat Politècnica de València (Subdirectora del Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil).

Poder contar con estas personalidades del mundo académico ha sido todo un privilegio. Sobre todo, han sido los mejores compañeros de viaje. Gracias a vuestra dedicación, paciencia y comprensión he podido superar los momentos de mayor incertidumbre. Los buenos consejos que me habéis dado durante todo este tiempo han hecho posible la realización de esta tesis.

A los evaluadores externos, la Dra. Núria Forcada Matheu y el Dr. Javier Ordoñez García por sus valiosos comentarios, gracias por el tiempo y el esfuerzo dedicado en la revisión del documento.

En el ámbito más íntimo quisiera agradecer a las personas que más quiero y que no he podido estar junto a ellas, durante estos años, todo el tiempo que me hubiese gustado.

Gracias a Ximo, Miguel Ángel, Pepe y Héctor, y a sus respectivas parejas, con los que desde una edad muy temprana estoy recorriendo esta vida y con los que celebro los buenos momentos y nos sostenemos en los malos. Gracias por vuestro apoyo.

Gracias a Isabel y a Carlos. Tuvimos la suerte de nacer en la misma familia y, no solo, de compartir sangre; compartimos la atención de nuestros padres, compartimos sueños y logros, y también alguna que otra “riña” que desde pequeños nos entrenaron para soportar los avatares de la vida.

Doy las gracias, con todas mis fuerzas, a Maribel y a Jose, mis padres, que me han apoyado en cada etapa de mi vida. Gracias por inculcarme desde pequeño la importancia del trabajo y del estudio, y hacer posible que hoy sea una persona tan afortunada con mi profesión de “Ingeniero de Caminos”.

Gracias a Silvia, la persona más importante en mi vida; desde muy jovencitos y casi sin darnos cuenta, hemos ido construyendo juntos el camino de nuestra vida, coleccionando momentos que nunca olvidaremos. Gracias por cuidar tanto de nuestros hijos y de mí. Siempre te estaré agradecido.

Y finalmente, gracias a Jose y a Mario. Simplemente vuestra existencia nos hace felices; sois el mejor regalo que la vida nos ha dado a vuestra madre y a mí. Estamos muy orgullosos de las personas que sois y en las que os estáis convirtiendo. Gracias por las risas, por los abrazos y por cualquier momento cotidiano junto a vosotros.

Gracias a los tres por vuestro cariño, por vuestra infinita comprensión y por compartir esta tesis como un proyecto de familia. Sois la fuente principal de motivación para seguir adelante.

Quisiera terminar diciendo que en estos años he comprendido que me encanta mi trabajo y quiero seguir en él hasta donde me sea posible, pero también me he dado cuenta de que me gusta “ayudar a aprender” a los más jóvenes, las apasionantes profesiones de encargado y de jefe de obra. Ojalá en un futuro cercano pueda dedicar a ello una parte de mi tiempo.

¡Muchas gracias a todos!

Me olvidaba de dar las gracias a la pequeña Tana, mi querida perrita *rater valencià* que en todo momento ha estado a mi lado y ha hecho que nunca me sintiera solo mientras escribía estas páginas.

La disciplina es el puente entre las metas y los logros

Jim Rohn

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
LISTADO DE ACRÓNIMOS	XV
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XIX
RESUM	XXI
 CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	3
1.2 Enunciado del problema	5
1.3 Preguntas de la investigación	6
1.4 Objetivos	7
1.5 Alcance y unidad de análisis	7
1.6 Método de investigación	9
1.6.1 Análisis del estado del arte	9
1.6.2 Recolección de datos	10
1.6.3 Análisis estadístico	10
1.6.4 Análisis comparativo cualitativo	11
1.6.5 Estudio de casos múltiple	12
1.6.6 Conclusiones y recomendaciones	12
1.7 Contenido del documento	13
 CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO	
2.1 Conceptos básicos	17
2.1.1 La productividad en el sector de la construcción	17
2.1.2 El proceso constructivo	18
2.1.3 La empresa constructora	21
2.1.4 Las variables de resultado de las obras	24
2.1.5 La empresa constructora pequeña	25
2.1.6 La construcción de una vivienda unifamiliar	27
2.1.7 <i>Lean Construction</i>	36
2.1.8 El Sistema del Último Planificador	39
2.2 Revisión de la literatura del Sistema del Último Planificador	60
2.2.1 Visión actual de la producción en la construcción	61
2.2.2 El SUP como sistema de planificación y control de la producción	63
2.2.3 El porcentaje del plan completado	66
2.2.4 El nivel de implementación del SUP	67
2.2.5 La planificación intermedia	68
2.3 La laguna del conocimiento	72
 CAPÍTULO 3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	
3.1 Proceso de la investigación	77
3.2 Revisión de la literatura	78
3.3 Selección y definición de variables a analizar	79
3.4 Definición del cuestionario	81
3.5 Selección de proyectos	82
3.6 Recolección de datos	84

3.6.1 Prácticas <i>Lean Construction</i> implementadas antes de la construcción	85
3.6.2 Prácticas <i>Lean Construction</i> implementadas durante la construcción	86
3.7 Análisis estadístico	87
3.8 Análisis comparativo cualitativo	92
3.8.1 Tabla de la verdad	93
3.8.2 Condiciones necesarias	93
3.8.3 Condiciones suficientes	94
3.9 Estudio de casos múltiple	94
3.9.1 Justificación	94
3.9.2 Proceso de investigación del estudio de casos múltiple	96
3.9.3 Validación externa	99
3.10 Conclusiones y recomendaciones	100
 CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1 Resultados del análisis estadístico	103
4.1.1 Estadística descriptiva	103
4.1.2 Estadística inferencial no paramétrica	108
4.1.3 Análisis de correlación	112
4.2 Análisis comparativo cualitativo	116
4.2.1 Consistencia y cobertura	119
4.2.2 Condiciones necesarias	120
4.2.3 Condiciones suficientes	121
4.2.4 Hallazgos	123
4.3 Resultado del estudio de casos múltiple	126
4.3.1 Análisis de las Prácticas LDM (<i>Lean Design Management</i>)	128
4.3.2 Análisis de las Prácticas <i>Lean Construction</i>	135
4.3.3 Verificación externa de los hallazgos	140
4.3.4 Hallazgos	141
4.4 Validación externa y fiabilidad de los resultados	154
 CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	
5.1 Cumplimiento de los objetivos	157
5.2 Contribuciones de la investigación	164
5.3 Recomendaciones prácticas	166
5.4 Limitaciones de la investigación	168
5.5 Futuras líneas de investigación	169
 REFERENCIAS	 171
 ANEXOS	
A. Cuestionario común de las entrevistas a los jefes de obra	195
B. Matriz de datos	199
C. Resultados de la prueba “U de Mann-Whitney”	203
D. Matriz de correlaciones	205
E. Protocolo del estudio de casos múltiple	211
F. Medición de implementación del SUP mediante el cuestionario Lagos et al. (2017)	215
G. PPCs semanales caso a caso y por fases: estructura, instalaciones y acabados	223
H. Guion de la verificación externa de los hallazgos	225

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Variables de entrada	80
Tabla 3.2: Variables de resultado	80
Tabla 3.3: Interpretación del coeficiente de correlación de Spearman	91
Tabla 3.4: Categorización de las condiciones y los resultados	92
Tabla 4.1: Estadísticos de las superficies construidas	104
Tabla 4.2: Experiencia del equipo de obra	105
Tabla 4.3: Implementación del SUP	105
Tabla 4.4: Plazos de construcción	106
Tabla 4.5: Interrupciones durante la construcción	106
Tabla 4.6: Variación del plazo en meses	106
Tabla 4.7: Desviación del plazo	106
Tabla 4.8: Velocidad de construcción	107
Tabla 4.9: Presupuestos de construcción	107
Tabla 4.10: Desviación del coste	108
Tabla 4.11: Costes unitarios	108
Tabla 4.12: Intensidad de construcción	108
Tabla 4.13: Hipótesis empleadas en la prueba “U de Mann-Whitney”	109
Tabla 4.14: Resultado de la prueba “U de Mann-Whitney”: implementación del SUP	109
Tabla 4.15: Resultado de la prueba “U de Mann-Whitney”: experiencia del equipo de obra	111
Tabla 4.16: Interpretación del coeficiente de correlación de Spearman	113
Tabla 4.17: Matriz de condiciones y resultados	117
Tabla 4.18: Categorización de los resultados	117
Tabla 4.19: Categorización de las condiciones	117
Tabla 4.20: Matriz de condiciones y resultados categorizados	118
Tabla 4.21: Tabla de la Verdad respecto a la desviación del plazo	118
Tabla 4.22: Tabla de la Verdad respecto a la desviación del coste	119
Tabla 4.23: Consistencia respecto a la desviación del plazo	120
Tabla 4.24: Consistencia respecto a la desviación del coste	120
Tabla 4.25: Análisis de condiciones necesarias	121
Tabla 4.26: Análisis de condiciones suficientes	122

Tabla 4.27: Medianas como valores de referencia del QCA	125
Tabla 4.28: PPCs totales correspondientes a cada caso	127
Tabla 4.29: PPCs correspondientes a cada dúo	128
Tabla 4.30: Buenas prácticas <i>Lean Design Management</i> (LDM)	129
Tabla 4.31: Evaluación de buenas prácticas <i>Lean Design Management</i> (LDM) en los casos	131
Tabla 4.32: Comparativo del nivel de implementación de buenas prácticas LDM	132
Tabla 4.33: Evaluación de las buenas prácticas <i>Lean Design Management</i> (LDM) por dúos	133
Tabla 4.34: Buenas prácticas (LDM) no implementadas o muy poco implementadas	133
Tabla 4.35: Buenas prácticas (LDM) implementadas al mismo nivel en todos los dúos	134
Tabla 4.36: Buenas prácticas (LDM) más implementadas en uno de los dúos	134
Tabla 4.37: Criterios de evaluación del nivel de implementación del SUP	136
Tabla 4.38: Evaluación del nivel de implementación del SUP, caso a caso	136
Tabla 4.39: Comparativo del nivel de implementación del SUP	137
Tabla 4.40: Evaluación de los criterios de implementación del SUP en los dúos	138
Tabla 4.41: Criterios no implementados o muy poco implementados en los dúos	139
Tabla 4.42: Criterios implementados a un nivel similar en los tres dúos	139
Tabla 4.43: Criterios más implementadas en uno de los dúos	140
Tabla 4.44: Valoraciones de los informadores clave	141

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1: Diagrama de Gantt de inicio y terminación de las obras seleccionadas	84
Gráfico 4.1: Correlación entre variables (rho de Spearman)	113
Gráfico 4.2: Correlación entre las variables de entrada	114
Gráfico 4.3: Correlación entre variables de entrada y variables de resultado	115
Gráfico 4.4: Correlación entre variables de resultado	115
Gráfico 4.5: Comparativo de niveles de implementación del SUP	138
Gráfico 4.6: Relación entre las prácticas LDM y el nivel de implementación del SUP	142
Gráfico 4.7: Relación entre PPC y desviación del plazo	143
Gráfico 4.8: Relación entre PPC y el nivel de implementación del SUP	145
Gráficos 4.9: Evaluación de criterios de implementación del SUP por dúos	146
Gráfico 4.10: Participación de subcontratistas en cada fase de las obras	148
Gráfico 4.11: Relación entre PPC fase 1 y el nivel de implementación del SUP	149
Gráfico 4.12: Relación entre PPC fase 2 y el nivel de implementación del SUP	149
Gráfico 4.13: Relación entre PPC fase 3 y el nivel de implementación del SUP	149
Gráfico 4.14: Relación entre PPCs fases y el nivel de implementación del SUP	150
Gráfico 4.15: Relación relativa entre PPCs fases y el nivel de implementación del SUP	150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Círculos del “se debe, se puede, se hará”	41
Figura 3.1. Proceso de investigación	78

LISTADO DE ACRÓNIMOS

DBB	<i>Design-Bid-Building</i>
GEPUC	Centro de Gestión de la Producción de la Universidad Católica de Chile
INE	Instituto Nacional de Estadística
IGLC	<i>International Group for Lean Construction</i>
IPC	Índice de Precios de Consumo
ITE	Inventario de Trabajo Ejecutable
JIT	<i>Just inTime</i>
LDM	<i>Lean Design Management</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PPC	porcentaje del plan completado
QCA	<i>Qualitative Comparative Analysis</i>
RNC	Razones de No Cumplimiento
SEOPAN	Asociación de Empresas Constructoras y Concesionarias de Infraestructuras
SUP	Sistema del Último Planificador
TPS	<i>Toyota Production System</i>

RESUMEN

El Sistema del Último Planificador (SUP) ayuda a sistematizar la planificación y el seguimiento de la ejecución de las obras. Un motivador importante para incrementar el uso del SUP en la construcción es la reducción de la variabilidad y la obtención de una mayor productividad. El SUP cambia el enfoque de la planificación, a llevarse a cabo a través de un equipo colaborativo de profesionales. Sin embargo, existen brechas relacionadas con la precisión de su implementación y la confiabilidad de las promesas, que no se han abordado adecuadamente en estudios previos, sobre todo en el caso específico de viviendas unifamiliares.

La presente tesis doctoral está basada en una muestra de 20 obras (viviendas unifamiliares) en las que se analiza cómo la implementación del SUP en seis de ellas puede mejorar el cumplimiento de los indicadores de coste y plazo. La investigación consta de las siguientes etapas: en primer lugar, un análisis inicial de la muestra de 20 obras mediante estadística descriptiva, inferencial no paramétrica y correlación de Spearman; en segundo lugar, un “análisis comparativo cualitativo” de las 20 obras; y, finalmente, un estudio de casos múltiple con las seis obras de la muestra que han aplicado el SUP.

Las obras en las que se implementó el SUP mostraron una mayor probabilidad de éxito, sobre todo en términos de cumplimiento del plazo. La aplicación de prácticas *Lean Design Management*, antes del comienzo de las obras, también mejoró la posterior implementación del SUP. Además, la adopción de la planificación intermedia produjo mejores valores del Porcentaje del Plan Completado. Durante las diferentes fases de construcción, el uso del SUP fue mejorando la planificación a corto plazo durante el avance de las obras. Ahora bien, este nivel de implementación del SUP no se mantuvo durante toda la ejecución de las obras. Cuando el SUP no funcionó como se esperaba, se generaron temores e inseguridades entre los participantes y se retomaron los viejos roles de la gestión tradicional. Un factor adicional que pudo influir negativamente fue el uso de este sistema como una metodología independiente sin una comprensión más amplia de la filosofía *Lean Construction*.

Por otra parte, entre las obras estudiadas, se encontró que la combinación de dos condiciones era suficiente para minimizar las desviaciones tanto de coste como de plazo: por una parte, la propia implementación del SUP y, por otra, disponer de un encargado de obra con más de 15 años de experiencia. Sin embargo, se detectó que la experiencia del jefe de obra no influía significativamente en los resultados (al contrario que la del encargado de obra) y fue eclipsada por las dos condiciones anteriores. Finalmente, conviene resaltar que los resultados obtenidos se analizaron considerando ciertas limitaciones que provienen de la propia implementación del SUP y del carácter estratégico de la gestión de las obras. La investigación queda abierta a futuras líneas de investigación centradas en la mejora de la implementación y la adaptación del SUP a diferentes contextos.

ABSTRACT

Last Planner System (LPS) is a methodology that helps systematize the planning and control of construction performance. A major driver for increasing the use of LPS in construction is the reduction of variability and increased productivity. LPS shifts the focus from planning to a collaborative team of professionals. However, there are gaps related to the accuracy of its implementation and the reliability of its promises, which have not been adequately addressed in previous studies, especially in the specific case of single-family homes.

This doctoral thesis is based on a sample of 20 single-family homes. It analyzes how implementing the LPS in six of them could improve compliance with cost and time indicators. The research design consists of the following stages: first, an initial analysis of the sample of 20 projects using descriptive statistics, nonparametric inferential statistics, and Spearman's correlation; second, a Qualitative Comparative Analysis of the 20 projects; and, finally, a multiple case study with the six projects in the sample that have applied the LPS.

Projects where LPS was implemented showed a higher probability of success, especially in terms of deadline compliance. The application of Lean Design Management practices before the start of construction also improved subsequent LPS implementation. Furthermore, the adoption of intermediate planning produced improved Percentage of Plan Completed values. During the different construction phases, the use of LPS improved short-term planning as the work progressed. However, this level of LPS implementation was not maintained throughout the entire construction process. When LPS did not perform as expected, fears and insecurities arose among construction stakeholders, and old traditional management roles were resumed. An additional factor that could have had a negative influence was the use of this system as a standalone methodology without a broader understanding of the Lean Construction philosophy.

Furthermore, among the projects studied, it was found that the combination of two conditions was sufficient to minimize both cost and schedule deviations: the implementation of the LPS itself and having a foreman with more than 15 years of experience. However, it was found that the experience of the construction manager did not significantly influence the results (unlike that of the foreman) and was overshadowed by the two previous conditions. Finally, it is worth highlighting that the results obtained were analyzed considering certain limitations derived from both the implementation of the LPS itself and the strategic nature of construction management. Since no research is completely done, future lines of research are proposed that focus on improving the implementation and adjustment of the LPS to different contexts.

RESUM

El Sistema de l'Últim Planificador (SUP) és una metodologia que ajuda a sistematitzar la planificació i el control de l'acompliment en les obres. Un motivador important per a incrementar l'ús del SUP en la construcció es la reducció de la variabilitat i l'obtenció d'una major productivitat. El SUP canvia l'enfocament de la planificació, a dur-se a terme a través d'un equip col·laboratiu de professionals. No obstant això, existixen bretxes relacionades amb la precisió de la seua implementació i la confiabilitat de les promeses, que no s'han abordat adequadament en estudis previs, sobretot en el cas específic de vivendes unifamiliars.

La present tesi doctoral està basada en una mostra de 20 obres (vivendes unifamiliars) en les quals s'analitza com la implementació del SUP en sis d'elles, pot millorar el compliment dels indicadors de cost i termini. El disseny de la investigació consta de les següents etapes: en primer lloc, una anàlisi inicial de la mostra de 20 obres mitjançant estadística descriptiva, inferencial no paramètrica i correlació de Spearman; en segon lloc, un Anàlisi Comparatiu Qualitatiu de les 20 obres; i, finalment, un estudi de casos múltiple amb les sis obres de la mostra que han aplicat el SUP.

Les obres en les quals es va implementar el SUP van mostrar una major probabilitat d'èxit, sobretot en termes de compliment del termini. L'aplicació de pràctiques *Lean Design Management*, abans del començament de les obres, també millorà la posterior implementació del SUP. A més, l'adopció de la planificació intermitja va produir millors valors del Percentatge del Pla Completat. Durant les diferents fases de construcció, l'ús del SUP va anar millorant la planificació a curt termini durant l'avanç de les obres. Ara bé, este nivell d'implementació del SUP no es va mantindre durant tota l'execució de les obres. Quan el SUP no va funcionar com s'esperava, es van generar temors i inseguretats entre els participants i es van reprendre els vells rols de la gestió tradicional. Un factor addicional que va poder influir negativament va ser l'ús d'este sistema com una metodologia independent sense una comprensió més àmplia de la filosofia *Lean Construction*.

D'altra banda, entre les obres estudiades, es va trobar que la combinació de dos condicions era suficient per a minimitzar les desviacions tant de cost com de termini: d'una banda, la pròpia implementació del SUP i, d'altra banda, disposar d'un encarregat d'obra amb més de 15 anys d'experiència. No obstant això, es va detectar que l'experiència del cap d'obra no influïa significativament en els resultats (al contrari que la de l'encarregat d'obra) i va ser eclipsada per les dos condicions anteriors. Finalment, convé ressaltar que els resultats obtinguts es van analitzar considerant unes certes limitacions que deriven, tant de la pròpia implementació del SUP, com del caràcter estratègic de la gestió de les obres. Atés que cap investigació queda tancada del tot, es plantegen futures línies d'investigació centrades en la millora de la implementació i l'adaptació del SUP a diferents contextos.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

1.2 Enunciado del problema

1.3 Preguntas de la investigación

1.4 Objetivos

1.5 Alcance y unidad de análisis

1.6 Método de investigación

1.6.1 Análisis del estado del arte

1.6.2 Recolección de datos

1.6.3 Análisis estadístico

1.6.4 Análisis comparativo cualitativo

1.6.5 Estudio de casos múltiple

1.6.6 Conclusiones y recomendaciones

1.7 Contenido del documento

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En las obras, como sistemas sociotécnicos complejos que son (Formoso et al. 2020), participan una gran cantidad de elementos diversos que interactúan dinámicamente, como son los profesionales de la construcción, los materiales, la maquinaria y los demás medios auxiliares (Hollnagel 2012). Estas interacciones dan lugar a la variabilidad e incertidumbre, que están presentes en la mayoría de las obras (Koskela 2000).

Dicha variabilidad e incertidumbre debe ser gestionada a través de la planificación y el control de la ejecución de las obras; sin embargo, el uso de planes demasiado fijos o estáticos, la falta de colaboración entre las partes interesadas, promotor, constructor y dirección de obra, la baja participación de los proveedores y subcontratistas en la planificación y la falta del uso de indicadores orientados a los procesos constructivos impiden que los equipos de obra aprovechen las oportunidades que da una planificación colaborativa para abordar la incertidumbre y la variabilidad (Kim y Ballard 2010).

El Sistema del Último Planificador (en adelante el SUP) es una metodología que ayuda a sistematizar la planificación y el control de la ejecución de las obras, utilizando ciclos colaborativos cortos o medios para identificar el trabajo requerido en las obras, planificar las tareas que lo componen, prepararlo y establecer los compromisos de ejecución revisados, comprobados y controlados semanalmente para seguidamente determinar las acciones correctivas requeridas (Ballard y Tommelein 2016).

Durante los últimos 30 años, múltiples investigadores han mencionado los beneficios de la implementación del SUP (Ballard y Howell 2003). Estos beneficios, incluyen las mejoras en el cumplimiento de las planificaciones de las tareas a corto plazo (Ballard y Tommelein 2016), la productividad laboral (Ballard y Howell 1994), la minimización de la variabilidad de los procesos y los trabajos (Ballard y Howell 1994; Nikhil y Hedao 2017), la mejora del cumplimiento de los tiempos marcados y del plazo total requerido (Alarcón et al. 2014; Ballard y Tommelein 2016; Indira y Jyothsna 2017) e, incluso, como consecuencia de todo esto, la reducción de la desviación de los costes y de los presupuestos esperados por los promotores (Daniel et al. 2014; Fernandez-Solis et al. 2013).

Un motivador importante para la creciente popularidad del uso del SUP en la construcción es la búsqueda de la reducción de la variabilidad y de la obtención de una mejor productividad. Ballard y Howell (1998) encontraron que el uso del SUP mejoraba significativamente la variabilidad y la productividad en los proyectos que analizaban e investigaban. Además, demostraron que un alto número de promesas confiables conducía a una mayor productividad laboral. Por otra parte, Liu et al. (2011) también identificaron unas correlaciones similares entre las ganancias de

productividad y la confianza y la predictibilidad del flujo de trabajo en los equipos de obra que utilizan el SUP.

Sin embargo, centrarse en un flujo de trabajo y promesas confiables puede ejercer cierta presión sobre los trabajadores que día a día están en la obra, para que hagan y cumplan estas promesas, lo que también puede revelar algunas circunstancias no deseables y ciertos procedimientos conflictivos desde dentro de las empresas (Koskela et al. 2007).

El SUP está formado por una estructura de ciclos o niveles de planificación de menor a mayor detalle o descomposición de las tareas a ejecutar. La planificación inicial la forman todas las actividades del proyecto, en el que se marcan los hitos principales del proyecto, determinando plazos de ejecución, definición de las actividades y disposición de los recursos necesarios para el avance del proyecto. El segundo nivel lo constituye la planificación intermedia, que básicamente es un plan de trabajos más detallado que el plan inicial, concentrado en un periodo de tiempo concreto, llamado frecuentemente ventana de tiempo, en el que se indicará el trabajo que estará preparado para poder ser ejecutado. Y el tercer y último nivel es una planificación a corto plazo, normalmente semanal, que muestra un mayor nivel de detalle, formada por las actividades con todas las restricciones o impedimentos liberados, preparados, atribuyendo la responsabilidad personal de su ejecución de forma específica y clara (Echegaray et al. 2009). Cada uno de estos niveles incluye los componentes o técnicas necesarios para soportar y confeccionar la planificación que permitirá una ejecución del proyecto de construcción con un grado menor de variabilidad tanto en los procesos como en las propias unidades de obra (Lagos et al. 2016).

Si bien el nivel de implementación de la mayoría de los componentes del SUP ha mejorado a lo largo de los años, la adopción de algunos de ellos se mantiene en un nivel muy débil y básico (Daniel et al. 2015). Los componentes relacionados con la planificación a corto plazo se adoptan amplia y extensamente pero no ocurre lo mismo con el resto de componentes del SUP de los otros dos niveles de planificación (Salvatierra et al. 2015).

La implementación del SUP requiere del compromiso del equipo de obra, formado fundamentalmente por el jefe de obra, el encargado, los subcontratistas y demás proveedores (Fernandez-Solis et al. 2013; Ballard y Howell 1998; Lagos y Alarcón 2021). La experiencia que estos tengan en la construcción de una tipología concreta de proyectos podrá ser uno de los principales impulsores en la gestión exitosa medida en términos de reducción de la desviación del coste y de cumplimiento de los plazos, cuando se implemente en la mayor medida posible el SUP durante la ejecución de una obra (Fernandez-Solis et al. 2013).

En la esencia del SUP, la transparencia de la información entre promotor, constructor, dirección facultativa y resto de colaboradores será indispensable, ya que permitirá adoptar compromisos y hacer promesas que generen mayor confianza (Howell et al. 2004; Fauchier y Alves 2013), fenómeno complejo que no surge en un instante y que es necesario cuidar y cultivar para que vaya en aumento (Lühr et al. 2023). Frecuentemente, sucede que estas relaciones entre los participantes del proceso de construcción son incompatibles, y esto ocurre con más frecuencia entre el constructor

y el promotor, lo que a menudo conduce a un aumento de la desviación de los costes y de los plazos de entrega, incluso se ve afectada la calidad resultante. (Koskela 1992).

Entre los participantes del proceso constructivo puede suponerse y hay consenso entre los investigadores estudiados en esta tesis, sobre que un buen resultado en una obra se da cuando esta se concluye en el plazo establecido y con el presupuesto previsto, y además cumple con las expectativas de calidad establecidas en el proyecto por la dirección de obra y son aceptadas por el promotor. La investigación académica analizada es rica en la identificación de las variables que pueden influir y que definen el resultado de una obra (Lagos y Alarcón 2021; Deep et al. 2018). Gran parte de la investigación académica identifica los mismos objetivos compartidos por los miembros del proyecto constructivo y su obra para que una obra resulte ser exitosa (Alarcón et al. 2008); estos objetivos fundamentalmente están orientados a la desviación del coste y del plazo de las construcciones (Pellicer et al. 2016).

1.2 Enunciado del problema

Hay acuerdo entre los investigadores estudiados en esta tesis en considerar que el insuficiente nivel de implementación de alguno de los componentes del SUP impide un mayor aprovechamiento de su potencial (Lagos et al. 2016). La falta de una implementación más completa se puede deber en parte a la falta de comprensión de cómo usar la información generada y, en parte, al tiempo y al esfuerzo que necesitan los gerentes de los proyectos de construcción para procesar los datos conseguidos (Daniel et al. 2015).

Aunque se sabe que la implementación del SUP tiene efectos positivos (Alarcón et al. 2008), existen pocos análisis sobre cómo y qué las prácticas dentro de la gestión del SUP se relacionan con mayor intensidad con la correcta ejecución de las obras y los buenos resultados (Castillo et al. 2016).

Algunos investigadores han encontrado relaciones positivas entre la implementación del SUP y los índices de productividad, desviación de los costes y el cumplimiento de los plazos en las obras (Kim et al. 2016; Leal y Alarcón 2010; Liu et al. 2011), pero otros estudiosos de este tema no han podido determinar relaciones significativas entre el uso del SUP y los cumplimientos del plazo, en parte, debido a la falta de una mayor cantidad de datos (Formoso y Moura 2009).

Varios factores son los que pueden limitar el desarrollo positivo del uso del SUP. Un factor de los más importantes es la satisfacción de los miembros del equipo de obra (Sageer et al. 2012). Curiosamente, para algunos de ellos, el uso del SUP es evidentemente satisfactorio, mientras que, para otros, el uso del SUP, en sí mismo, tiene un efecto contraproducente y adverso, incluso puede llegar al nivel de hasta querer renunciar a trabajar en las obras en las que se quiera implementar la metodología (Kalsaas 2012). Por lo tanto, el uso en las obras del SUP no tiene una percepción unidireccional en este sentido, no estando libre de generar temores, incomodidades y situaciones o condiciones límite entre los componentes del equipo de obra a los cuales podrá incluso enfrentar o llevar a situaciones límite de poder desarrollar su trabajo.

Jørgensen y Emmitt (2009) observaron en sus estudios que puede que los profesionales de la construcción no entiendan del todo la metodología del Sistema del Último Planificador y quieran volver a asumir los anteriores roles tradicionales. Además, sucede que los gerentes de los proyectos de construcción y otros planificadores, en ocasiones, deben dedicar mucho tiempo a compilar los datos del SUP y transformarlos en otros diagramas de uso más habitual dentro de sus respectivas empresas, dado que cada constructora posee sus propias costumbres en cuanto a cultura empresarial se refiere (Dave et al. 2015).

Dentro de las empresas constructoras, los diferentes niveles de competencias técnicas, operativas y humanas en general tienen una influencia significativa en la ejecución de las obras (Fernandez-Solis et al. 2013). Muchos autores han descrito la influencia de la experiencia del equipo de obra, del jefe de obra y del encargado en los buenos resultados de las obras y el éxito de la gestión de los proyectos de construcción (Rojas 2013; Ceric 2014; Savelsbergh et al. 2016). Sin embargo, el papel que juegan estos factores en el éxito de la implementación del SUP solo ha sido brevemente analizado por la investigación académica una vez analizada la literatura existente en referencia a esta temática.

El SUP desafía a los tradicionales y viejos roles empleados normalmente por las empresas constructoras de España en el cumplimiento de los plazos y propone hacer cambios en el enfoque de la planificación solitaria de un único planificador, para empezar a llevarse a cabo a través de un grupo colaborativo de los profesionales que participan en la obra (Hamzeh 2011).

El uso del SUP ha logrado resultados positivos en el sector de la construcción en varios países (Ballard 2000; Liu y Ballard 2008), sin embargo, existen brechas relacionadas con la precisión de su implementación y la confiabilidad de las promesas, que no se han abordado adecuadamente en los estudios previos que se han recopilado y analizado en esta investigación (Daniel et al. 2015).

Según los antecedentes presentados y este planteamiento del problema, esta tesis plantea estudiar cómo la implementación del Sistema del Último Planificador, en la construcción de viviendas unifamiliares, puede mejorar el cumplimiento de los indicadores de desviación del coste y del plazo, factores de éxito típicos en las obras, respecto a los sistemas tradicionales de gestión habitualmente utilizados por las empresas constructoras.

1.3 Preguntas de la investigación

A partir del planteamiento del problema presentado en el apartado anterior, a continuación se formulan las preguntas fundamentales que se quieren esclarecer en esta investigación:

- ¿Cuál es el estado del conocimiento del SUP en general y de su implementación en particular?
- ¿La desviación del plazo en las obras está relacionada con el nivel de implementación del SUP y con los valores del porcentaje del plan completado (PPC)?

- ¿Cómo influye la experiencia en gestión de proyectos del jefe de obra y del encargado junto a la implementación del SUP en el resultado de las obras?
- ¿Emplear prácticas de gestión *Lean* durante la fase del diseño de los proyectos de construcción (*Lean Design Management*, LDM) mejora la posterior implementación del SUP en la fase de construcción?
- ¿Existen componentes del SUP más influyentes que otros en el resultado de las obras?
- ¿Influye la implementación del SUP de igual manera durante las diferentes fases de las obras?
- ¿Se mantiene constante el nivel de implementación del SUP durante la ejecución de una obra?

1.4 Objetivos

Según las preguntas de la investigación formuladas, los objetivos principales de este estudio correspondientes son:

- Revisar el estado del conocimiento de la implementación del SUP a partir de las publicaciones académicas.
- Analizar la relación de las desviaciones de plazo con el nivel de implementación del SUP y con los valores del PPC en las obras.
- Analizar la influencia de la experiencia del equipo de obra, concretamente del jefe de obra y del encargado, en la gestión de obras similares a las estudiadas, junto a la implementación del SUP, en el éxito del cumplimiento de los indicadores de desviación del coste y del plazo en la construcción de viviendas unifamiliares.
- Obtener la relación entre el empleo de las prácticas *Lean* durante el diseño de proyectos de construcción y la posterior implementación del SUP en la construcción del mismo proyecto.
- Detectar qué componentes del SUP son más influyentes en el cumplimiento de los indicadores de desviación del coste y del plazo en la construcción de viviendas unifamiliares.
- Comparar la influencia del SUP durante las diferentes fases de la construcción de una vivienda unifamiliar.
- Observar si se mantiene constante el nivel de implementación del SUP durante la ejecución de las obras.

1.5 Alcance y unidad de análisis

Esta investigación se limita y se centra únicamente en la construcción de una muestra de veinte edificios, exactamente, viviendas unifamiliares de nueva construcción en España. La presente investigación se centra en la posibilidad y conveniencia de aplicar el SUP en obras de España, todo ello siempre visto desde un enfoque del resultado que pueden obtener los promotores de la construcción de viviendas unifamiliares.

La unidad de análisis es “la obra” y se han obtenido los datos requeridos de un conjunto de construcciones de edificaciones singulares, concretamente viviendas unifamiliares, de autopromoción en España, sobre las que se desarrolló su construcción entre el mes de septiembre de 2015 y julio de 2020. Se han obtenido

mediciones en las veinte obras que se limitan a los presupuestos que los constructores valoran y emiten a los promotores, y también mediciones correspondientes a las variables costes y las variables relacionadas con los plazos de ejecución de las obras seleccionadas, normalmente empleadas por las empresas constructoras

La decisión de la elección de la unidad de análisis se tomó con referencia a las preguntas que plantea la investigación y a sus objetivos. También fue crucial asegurar una correspondencia entre la recolección de los datos y la unidad de análisis e identificar los términos habitualmente empleados entre la unidad de análisis, las obras, y su contexto.

Un aspecto clave a considerar en la gestión de cualquier proyecto son las variables de resultado, como son los presupuestos, los costes, los plazos y la calidad. Mediante estas variables y las estimaciones pertinentes de la ejecución del proyecto, los gestores de las obras establecen o ayudan a establecer los resultados objetivo del proyecto y su construcción.

Partiendo de la cantidad de casos que se van a analizar en esta investigación (el número de obras), se pueden considerar y distinguir dos tipos de diseño de investigación: estudio de caso (una única unidad de análisis) y casos múltiples (varias unidades de análisis). La elección del caso simple solo es válida en los siguientes escenarios (Yin 2018):

- Si se trata de un caso crucial para verificar una teoría bien formulada
- Si es un caso singular
- Si el caso es típico del fenómeno que se investiga
- Si es un caso que revela una situación que anteriormente era inaccesible
- Si es un caso longitudinal en el tiempo y se examina en diferentes momentos

En este estudio, no se encuentran presentes ninguna de las características anteriores, por lo que se determinó que el formato más adecuado era el de estudio casos múltiple, de esta manera, mediante la generalización por replicación analítica se aumentaría la validez de la construcción de los resultados de la investigación (Yin 2018).

Una vez elegido el diseño del método de la investigación y la unidad de análisis (la obra), es esencial decidir cuántos casos se van a considerar. Como se comentó en apartados anteriores, la lógica detrás de la generalización de los resultados de estudios de caso no es estadística, sino teórica. Por lo tanto, no se debe basar la cantidad de casos en criterios estadísticos relacionados con el tamaño de la muestra, sino que el número de casos dependerá del número de replicaciones que el investigador estime necesarias o desee alcanzar para poder obtener algún resultado de su análisis (Ortiz 2014).

Yin (2018) pone mucho énfasis en que la selección de las unidades de análisis debe basarse en un conjunto de supuestos que giren alrededor del propósito principal de la investigación de manera que faciliten posibles replicaciones (Ortiz 2014). A continuación, se exponen las pautas que se emplearon para elegir las obras (las unidades de análisis), justificando de esta manera su selección:

- Tipo de obra: construcción de vivienda unifamiliar aislada
- Clase de obra: de nueva construcción
- Tamaño de obra: presupuesto del promotor de entre 300.000 y 800.000 €
- Tipo de promotor: privado, autopromotor y usuario final del edificio
- Modalidad de gestión, contrato y entrega: diseño/licitación/construcción (DBB)
- Plazo de construcción: de 12 a 15 meses
- Ubicación: España

1.6 Método de investigación

El método utilizado en la investigación consta de seis etapas en las que se desarrolla el proceso seguido y la secuencia de las labores y los estudios, que desde el comienzo y hasta su terminación, se han realizado para estudiar los factores de éxito en la implementación del SUP en la construcción de viviendas unifamiliares.

Se comienza con la descripción de la recolección y selección de los datos cualitativos y cuantitativos, su distribución y el proceso de depuración; seguidamente se exponen las técnicas descriptivas e inferenciales de la estadística que se emplearon para analizar los datos de la muestra conseguida y también se describe el uso de las técnicas cualitativas, como son el análisis comparativo cualitativo y el estudio de casos múltiple que permitieron verificar y ampliar la información sobre unos resultados más detallados a partir de las primeras técnicas cuantitativas empleadas.

1.6.1 Análisis del estado del arte

Mediante este análisis del estado del arte se reconoce y se examina el trabajo que otros investigadores han realizado sobre la incorporación y aplicación del SUP en las obras. De esta manera se localizan las lagunas y la falta de información y conocimiento sobre este asunto, y se relaciona esta investigación con el resto de los estudios anteriores existentes. Se definen las áreas de conocimiento y los conceptos y términos clave de interés que guiarán la investigación y ayudarán a avanzar en su desarrollo.

Uno de los logros que se consiguió con la revisión del estado del conocimiento de la implementación del SUP fue la detección e identificación de las variables empleadas en el estudio, las variables de resultado de las obras, las cuales fueron contrastadas por expertos externos, jefes de obra conocedores del SUP, a través de reuniones en las que se realizaron debates y análisis. Esto posibilitó establecer el alcance de la investigación y la recolección de los datos necesarios.

Se ha podido leer, analizar y extraer contenido de un gran número de investigaciones sobre el sector de la construcción en general y, más concretamente, de la implementación del SUP: artículos científicos, conferencias, tesis doctorales y libros para cuya búsqueda se utilizaron las bases de datos bibliográficas de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas, Web of Science (Clarivate), Scopus (Elsevier) y Google Scholar.

1.6.2 Recolección de datos

El objetivo principal de la recolección de los datos fue identificar y analizar el comportamiento de los factores que influyen en el éxito de la implementación del SUP para garantizar el cumplimiento de los indicadores de desviaciones de coste y de plazo en la construcción de viviendas unifamiliares. Para ello, se requería recolectar información sobre las características y la ejecución de las obras de una muestra de viviendas unifamiliares.

En primer lugar, se contactó con estudios de arquitectura y empresas constructoras que, respectivamente, proyectaban y construían habitualmente viviendas unifamiliares, se podría decir que tanto los estudios de arquitectura como las empresas constructoras se habían especializado en la confección de esta tipología de proyectos. Se identificaron proyectos encargados en estudios de arquitectura y en cartera de contratación de las empresas constructoras localizadas que cumplieran con los requisitos para ser incluidos en el presente estudio. Una vez revisados los proyectos en cartera, fueron seleccionados los que se preveía que se les iba a poder hacer el seguimiento establecido. De estos proyectos y obras, en seis se consiguió implementar el SUP a diferente nivel.

La obtención de los datos se consiguió fundamentalmente mediante entrevistas mantenidas con los jefes de obra de los proyectos seleccionados, pero también por observación directa y cierto análisis de los documentos facilitados por los jefes de obra como fueron presupuestos y planes de obra. Las entrevistas a los jefes de obra fueron la fuente principal de la obtención de los datos de esta investigación y consistieron en entrevistas semiestructuradas mediante el seguimiento de un cuestionario. Los datos recogidos se examinaron, se organizaron y se depuraron. Con los datos obtenidos se conformó una matriz de datos. Los datos recabados de las diferentes obras supusieron las variables de entrada. Operando entre estas variables de entrada se obtuvieron las variables de resultado utilizadas en esta investigación.

1.6.3 Análisis estadístico

Esta investigación combinó puntos de vista cuantitativos con cualitativos. Se realizó un análisis inicial de los datos mediante estadística descriptiva, para caracterizar y describir las características de la muestra. La estadística descriptiva es la primera parte que se realiza dentro de un análisis estadístico y, describe y resume de forma cuantitativa las características de una recolección de información de una muestra (Seoane et al. 2007).

La estadística inferencial busca y permite deducir las propiedades de la muestra estudiada. Pero no solo recoge y sintetiza la información conseguida a través de los datos recabados, sino que pretende explicar las propiedades o las características de la muestra según los datos de los que se dispone. La estadística inferencial tiene dos ramas separadas como son la estadística paramétrica y la estadística no paramétrica. Los procedimientos paramétricos solo se pueden aplicar en muestras donde sea conocida su distribución normal, por tanto, se requerirá conocer previamente la forma de la distribución estadística de los datos resultantes de la población estudiada. Se considera que para ello es necesario que la muestra sea mayor o igual a treinta elementos (Seoane et al. 2007).

La estadística no paramétrica comprende las pruebas y modelos en los cuales su distribución de probabilidad no se ajusta a los llamados criterios paramétricos (Seoane et al. 2007). En este estudio, la muestra la formaron veinte proyectos de viviendas unifamiliares que se pudieron dividir en dos submuestras:

- la construcción de catorce viviendas unifamiliares, con modalidad de contratación diseño/licitación/construcción utilizando un sistema tradicional de planificación y control de obras.
- la construcción de seis viviendas unifamiliares, con modalidad de contratación diseño/licitación/construcción utilizando la metodología del Sistema del Último Planificador (SUP).

Para llevar a cabo el análisis cuantitativo se empleó la prueba estadística no paramétrica “U de Mann-Whitney”. Debido al tamaño de la muestra, inferior a treinta elementos, no fue posible contrastar y validar los resultados obtenidos con otras técnicas estadísticas.

Tras el análisis cuantitativo realizado con la prueba estadística no paramétrica “U de Mann-Whitney” se planteó un análisis de correlación con el que facilitar la identificación y la selección de las variables de resultado que podían definir mejor el éxito de la obra entendiendo el éxito desde el punto de vista del cumplimiento del coste y del plazo previstos por el promotor. Mediante esta técnica estadística se detectó una fuerte relación existente entre las distintas variables, tanto de entrada como de resultado, y como producto de estas surgieron patrones que permitieron la elección de las mejores variables de resultado respecto a la mayor vinculación en la detección y el análisis del comportamiento de los factores que influyen en la implementación del SUP y en el cumplimiento de los indicadores de desviaciones de coste y de plazo en la construcción de viviendas unifamiliares, objetivo principal de esta investigación.

Para poder ahondar en la comprobación del estado del arte o del conocimiento y validar los resultados obtenidos hasta ese momento mediante la estadística, se planteó el uso de otras técnicas cualitativas. De esta forma se amplió la investigación cuantitativa conseguida con la investigación cualitativa.

Según Jordan et al. (2011) y Kraus et al. (2018) esta combinación de métodos cuantitativos y cualitativos permite entender y realizar un mejor análisis y discusión los resultados encontrados (Sanz 2016).

1.6.4 Análisis comparativo cualitativo

El “análisis comparativo cualitativo” (en adelante el QCA por sus siglas en inglés) es una técnica apropiada para usarla cuando se tienen pocos casos de estudio. Mediante el QCA se explica la presencia o ausencia de un resultado y permite construir explicaciones a partir de unas condiciones o configuraciones que pueden ser necesarias o suficientes (Jordan et al. 2011).

Con la técnica QCA se analizaron las interacciones entre las condiciones y los resultados que se eligieron en la investigación (Shrestha et al. 2021). Las condiciones

elegidas se corresponden con las variables de entrada obtenidas, mientras que los resultados son las variables seleccionadas tras el análisis de correlación.

1.6.5 Estudio de casos múltiple

El siguiente análisis realizado consistió en un estudio de casos múltiple con el objetivo de analizar la relación de las prácticas *Lean* implementadas en seis de los proyectos y obras y los resultados obtenidos en la ejecución de estas obras. Mediante un estudio de casos múltiple se validaron los resultados obtenidos en los distintos niveles investigativos anteriores y se profundizó en el conocimiento de cómo la implementación del SUP influye en el resultado de las obras.

Se seleccionó un análisis desde un enfoque de estudio de casos múltiple en el que se combinaron observación directa, datos cuantitativos e información cualitativa, validada por los jefes de obra de los proyectos de construcción de viviendas unifamiliares seleccionados, a través de la comparación y el análisis, para conseguir generar los hallazgos y las conclusiones de la investigación (Yin 2018).

El análisis de la información obtenida al enfrentar los resultados obtenidos con la literatura extraída en la revisión bibliográfica permitirá conocer en mayor medida los factores que afectan a la implementación del SUP. Para conseguir lo comentado, el presente estudio utilizó las técnicas de *pattern matching*, *explanation building* y *cross-case analysis*.

Mediante el *pattern matching*, se contrastó lo que predijo la teoría encontrada en la bibliografía con la realidad observada en las obras. Esto no fue más que conseguir que la extracción de los hallazgos (parciales o totales) estuviera respaldada por la investigación académica existente en la revisión de la literatura (Yin 2018).

Con la técnica *explanation building* se genera la descripción de una teoría utilizada como patrón de cada elemento aparecido en los casos estudiados (Yin 2018), y mediante sucesivas iteraciones se modifica el patrón original para llegar a una solución nueva.

El análisis cruzado de casos (*cross-case analysis*) es específico del estudio de casos múltiple y va siempre unido a alguno de los anteriores. En esta investigación, una vez se analizó cada caso individualmente, se realizó un análisis comparado entre los casos, para ello se siguió un enfoque de “replicación”, no un enfoque estadístico. Yin (2018) considera dos tipos de replicación; una es conocida como “replicación literal”, que se produciría al observar el mismo hallazgo en los diferentes casos y el otro tipo de replicación se conoce como “replicación teórica” que se produciría si en alguno de los casos no se obtiene el mismo resultado que en los otros casos (Luna 2017).

1.6.6 Conclusiones y recomendaciones

Como resultado final de la investigación se presentaron las contribuciones teóricas y las contribuciones prácticas de la investigación. Partiendo de los resultados obtenidos, también se expusieron las recomendaciones que se deberán utilizar para ayudar a mejorar la implementación del SUP en el sector de la construcción. Finalmente se plantearon las limitaciones y las líneas futuras de investigación.

1.7 Contenido del documento

El documento, para una mejor lectura, se estructura en los siguientes cinco capítulos: introducción, marco conceptual y teórico, método de investigación, resultados y discusiones, y las conclusiones.

El capítulo primero es una introducción a la investigación realizada, que incluye, los antecedentes, el planteamiento del problema, las preguntas de la investigación, los objetivos, el alcance de la investigación, la unidad de análisis y una visión de conjunto del método de investigación.

En el capítulo segundo se describen los conceptos y los términos utilizados durante la investigación que aparecen a lo largo de todo el documento, con la finalidad de que sean bien entendidos. También se recopila una revisión de la literatura científica que identifica la laguna del conocimiento en relación con el estado de la implementación del Sistema del Último Planificador en proyectos de construcción.

El capítulo tercero aporta una descripción del proceso de la investigación, incluyendo, el contenido de las entrevistas, el método de recolección de los datos, los análisis cuantitativos y cualitativos de los datos y finalmente un estudio de casos múltiple.

En el capítulo cuarto se muestra el análisis y los resultados del total de las variables de la muestra, los métodos analíticos cuantitativos que se han empleado, así como el análisis cualitativo que posibilita la validación y la profundización para la comprensión de los resultados. También se muestran los resultados y los hallazgos obtenidos del análisis de los casos.

Finalmente, el capítulo quinto recopila las conclusiones de la investigación, justificando primeramente el cumplimiento de los objetivos, presentando seguidamente algunas recomendaciones prácticas, las contribuciones de la investigación y también se señalan las limitaciones del método de investigación desarrollado, además de terminar el presente documento sugiriendo continuar este estudio con unas posibles líneas futuras a investigar.

CAPÍTULO 2

MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

2.1 Conceptos básicos

2.1.1 La productividad en el sector de la construcción

2.1.2 El proceso constructivo

2.1.2.1 La variabilidad

2.1.2.2 La interdependencia

2.1.3 La empresa constructora

2.1.3.1 La planificación y el control de la producción en la empresa constructora

2.1.4 Las variables de resultado de las obras

2.1.5 La empresa constructora pequeña

2.1.6 La construcción de una vivienda unifamiliar

2.1.6.1 El autopromotor y la dirección facultativa

2.1.6.2 El proceso constructivo de una vivienda unifamiliar

2.1.7 *Lean Construction*

2.1.7.1 Introducción

2.1.7.2 Los antecedentes y el origen de *Lean Construction*

2.1.8 El Sistema del Último Planificador

2.1.8.1 Introducción

2.1.8.2 El concepto *pull* de la producción

2.1.8.3 Niveles de planificación del Sistema del Último Planificador

2.1.8.4 Las etapas para la implementación del SUP en una empresa constructora

2.2 Revisión de la literatura del Sistema del Último Planificador

2.2.1 Visión actual de la producción en la construcción

2.2.2 El SUP como sistema de planificación y control de la producción

2.2.3 El porcentaje del plan completado

2.2.4 El nivel de implementación del SUP

2.2.5 La planificación intermedia

2.3 La laguna del conocimiento

CAPÍTULO 2

MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

El marco conceptual y teórico ha desempeñado un papel fundamental a la hora de orientar durante el proceso de recopilación de los datos y su análisis posterior, y ha proporcionado la estructura necesaria para interpretar y dar sentido a los datos recopilados en esta investigación.

El objeto esencial de este capítulo, el marco conceptual y teórico, es la descripción y caracterización de los aspectos más relevantes en torno al Sistema del Último Planificador (SUP) y más concretamente a lo relativo a la evolución de su implementación. Se ofrece de esta manera una visión amplia y general del estado del conocimiento sobre el problema de la investigación, basada en los conceptos específicos que han intervenido durante esta investigación y en las teorías ya establecidas en la investigación académica encontrada con la revisión de la literatura, siendo un papel clave en la elaboración de las preguntas de la investigación, determinando las teorías existentes más relevantes y permitiendo situar los hallazgos obtenidos dentro de un contexto académico más amplio, de manera que los resultados de la investigación tengan más sentido.

2.1 Conceptos básicos

En este apartado se describen los conceptos y los términos específicos que han intervenido e incluso aparecen durante la investigación. Con el fin de comenzar a configurar el contexto de la investigación, en primer lugar se aportan algunas características del sector de la construcción conforme fueron surgiendo de estudios anteriores encontrados en la literatura analizada y que, los técnicos de la construcción, suponen y consideran representativos para llevar a cabo su gestión, como son la productividad, el proceso productivo, las características de las empresas constructoras y más concretamente de qué manera preparan las planificaciones de las obras las empresas constructoras pequeñas. Se muestran también las variables de resultado empleadas en esta investigación, con las que se han contrastado los resultados relacionados tanto con los costes como con los plazos de las obras seleccionadas como son las desviaciones de coste y de plazo.

2.1.1 La productividad en el sector de la construcción

El sector de la construcción es de suma importancia en el desarrollo de un país ya que satisface las necesidades de infraestructuras y edificaciones para el desarrollo de las actividades económicas y sociales de cualquier población (Singh y Kumar 2020). Su actividad principal consiste por una parte en el diseño de proyectos de construcción y por otra a la posterior construcción de infraestructuras y edificios para uso residencial, industrial y de servicios proyectados (Alarcón et al. 1999).

La ejecución de los proyectos de construcción es altamente compleja ya que implica la colaboración de múltiples profesionales que llevan a cabo las actividades que

requieren de un consumo intensivo de los recursos como son la mano de obra, los materiales, la maquinaria y demás medios auxiliares, altamente interrelacionados, cuya duración se puede extender a lo largo de varios meses, incluso años (Brissi y Debs 2019).

La construcción representa aproximadamente el 6% del producto interno bruto (PIB) mundial y, aproximadamente, da trabajo al 8% de la población. Pero la importancia de este sector no viene solo de su incidencia directa a la sociedad, viene también porque supone un verdadero factor multiplicador en la gestión económica de un país (SEOPAN 2024). Más del 75% de la actividad generada en la construcción es debida a la iniciativa particular de promotores privados que tienen la necesidad de construir una infraestructura o un edificio y hacen el encargo de la ejecución de su proyecto, entendiendo en este caso “proyecto” como los documentos técnicos que recogen las definiciones y especificaciones que posibilitan y guían la construcción de una obra; las restantes contrataciones de edificaciones o infraestructuras son promovidas por las administraciones públicas o entes que dependen de ellas (Correa 2009).

Pero, aunque, como se ha visto, la construcción es uno de los sectores productivos más importante en la economía de un territorio, sin embargo, cuando se habla de su productividad, los datos no son nada positivos (Correa 2009). La intervención de numerosas profesiones, el carácter singular de la mayoría de los proyectos y el uso de mano de obra intensiva de baja capacitación y con gran movilidad, ponen difícil el desarrollo de un proceso productivo sistemático eficiente (SEOPAN 2024). La falta de mano de obra cualificada y la inestabilidad de los costes dan como resultado un bajo rendimiento en las obras, con desviaciones de coste y de plazo respecto a los presupuestos y plazos de ejecución contratados dando como resultado los temidos sobrecostes y los retrasos en las entregas de las obras (Brissi y Debs 2019).

Por otra parte, la construcción es un sector que se muestra resistente y reacio a los posibles cambios en sus metodologías de gestión, siendo propenso a que se generen en él conflictos entre sus agentes, lo que, por otra parte, también dificulta en gran medida la mejora de la productividad y la eficiencia en general de los procesos constructivos (Rooke et al. 2004).

2.1.2 El proceso constructivo

El proceso constructivo comienza con la confección de un proyecto de una infraestructura o edificio, la redacción de los estudios previos y los proyectos básicos y de ejecución, que posteriormente se materializarán en su construcción, la ejecución de las obras convenientemente dirigidas, que una vez concluidas, se pondrán en servicio o explotación para beneficio o disfrute de su promotor y de los usuarios, hasta la puesta fuera de servicio y posterior demolición (Pellicer et al. 2004).

El punto de partida, por tanto, es la detección de necesidades u oportunidades, las tomas de decisiones para poder solucionarse y la preparación y organización para su resolución (Correa 2009). Definir un proyecto requerirá especificar los requisitos técnicos y de su ejecución. Los primeros se referirán a los procesos y criterios necesarios para llevar a cabo la obra, y los segundos definirán la triple restricción coste-plazo-calidad necesaria en su construcción (Pellicer et al. 2004).

Pero el proceso constructivo es un proceso de gran complejidad, que utiliza distintas estrategias para absorber los cambios que se producen debido a la variabilidad existente durante todas sus fases (Ballard 2000). Como se cita en Correa (2009) para Reichstein et al. (2005) los factores intrínsecos del proceso constructivo son:

- Su carácter temporal obstaculiza la transmisión del aprendizaje de un proyecto a otro. Existe la tendencia a variar los procesos en cada nuevo proyecto y, en algunas ocasiones, los detalles técnicos de las actividades ejecutadas son imposibles de ser transferidos a los nuevos proyectos.
- Muchas veces la construcción implica la inmovilidad del lugar de producción. Este factor impide el desarrollo de rutinas asociadas con la producción industrial.
- La demanda depende de la decisión de invertir capital y abarca la participación de las diversas partes. Esta demanda es fuertemente dependiente de ciclos económicos y de la inversión pública y privada.
- Los promotores demandan cada vez “más producción por el mismo coste”, esto supone mayor productividad, y ellos consideran que el uso de tecnología avanzada sería la forma de conseguirlo.
- Es un sector dominado por pequeñas empresas. El informe anual de SEOPAN (2024), indica que en España las empresas grandes (con 200 o más trabajadores) solo representan el 1,1% del sector, mientras que las empresas medianas (de 50 a 199 trabajadores) constituyen el 40,7% y las microempresas (de 2 a 9 trabajadores) y las empresas pequeñas (de 10 a 49 trabajadores) el 58,2% restante.
- El diseño está separado de la construcción y del mantenimiento, por lo que resulta difícil asegurar una retroalimentación entre cada una de estas etapas del proceso.
- Requiere la concurrencia y la colaboración de múltiples agentes y tecnologías que participan en el proceso constructivo. Normalmente depende de profesionales responsables de la construcción “in situ”; de la instalación de sistemas especializados, de instalaciones eléctricas, de fontanería, de telecomunicaciones, etc.; y de un amplio rango de profesionales de la arquitectura y de las distintas disciplinas de la ingeniería en general.
- El producto obtenido del proceso constructivo comienza su funcionamiento y puesta en marcha nada más terminar su construcción (Ortiz 2014).

Una de las pretensiones de la gestión del proceso constructivo es optimizar los plazos de ejecución, pero lo que no es tan evidente ni sencillo es cómo, cuándo y dónde se deben focalizar los esfuerzos para conseguir esta optimización. Una mayor duración de un proceso constructivo tiene consecuencias muy negativas como pueden ser el incremento de algunos costes, incluso posibles penalizaciones económicas (Howell 2012).

Como se ha comentado, la construcción es una actividad muy compleja porque tiene muchas tareas y poder coordinar y regular la interacción entre ellas es muy complicado (Ballard 2000). Un elemento fundamental es coordinar el comienzo de las distintas actividades para que se llevan a cabo en el momento oportuno. Es necesario prevenir que la interacción entre los diferentes participantes del proyecto no cree más

limitaciones o restricciones de las que ya se presentan por la naturaleza misma de los proyectos de construcción. Se entiende como restricción cualquier condición capaz de interrumpir el flujo continuo del trabajo en una actividad, como puede ser la falta de materiales, de planos o controles, de problemas relacionados con la calidad, inexistencia de protocolos, chequeos o condiciones de seguridad (Ortiz 2014).

Aunque el proceso constructivo, visto de manera retrospectiva, podría parecer un proceso relativamente ordenado y predecible, esta visión no puede ser extrapolada a futuros proyectos, dado que tanto las condiciones internas como las condiciones externas cambiarán continuamente. Esto significa que es muy difícil predecir lo que va a ir sucediendo durante el avance de una obra y, por tanto, la construcción de cualquier edificio o infraestructura será, en sí misma, un sistema cuya variabilidad irá en aumento y va a ser un poderoso inductor de la incertidumbre (Russell et al. 2014).

A continuación, se verá que variabilidad e interdependencia son conceptos esenciales del proceso constructivo que se van a ver influenciados tanto por factores del propio proceso como por aquellos derivados de la propia modalidad de contratación y entrega de las obras que se adopte en cada caso (Russell et al. 2014). En el siguiente apartado se han desarrollado estos dos conceptos.

2.1.2.1 La variabilidad

Algunos investigadores llevan estudiando durante mucho tiempo cómo la variabilidad afecta negativamente en la dinámica de la construcción e induce a desviaciones de coste o de plazo, o incluso a cambios en el alcance del proyecto y en su presupuesto si no se controla adecuadamente (Grau et al. 2019; Gómez-Cabrera et al. 2020). Estos cambios afectan significativamente a las entregas de las obras (Araya 2020).

La incertidumbre en la construcción obliga y comporta a tener que estimar los posibles sobrecostes y los retrasos de las variables de resultado ya en la fase inicial del estudio de las obras y en la planificación inicial de los procesos constructivos. La incertidumbre se puede manifestar como una variabilidad oculta, latente o encubierta, pero también puede surgir como la consecuencia de una mala planificación y organización en el propio emplazamiento de la obra provocada por el equipo de obra y el resto de los colaboradores (Anderson et al. 2009).

En la monografía “Estadística, modelos y métodos” de Peña (1986) se describen ampliamente las ideas sobre la variabilidad en los procesos productivos, una variabilidad presente de forma generalizada en todo tipo de proyectos y que no puede atribuirse a una causa única, sino que es el efecto de la combinación de muchas de ellas. Por otra parte, Anderson et al. (2009) relacionan la incertidumbre existente en un proyecto y su variabilidad del coste y de la duración de los procesos constructivos.

2.1.2.2 La interdependencia

Wambeke et al. (2011) introdujeron este novedoso e importante concepto en la construcción: la interdependencia entre actividades o tareas en las obras. El proceso de la construcción de un edificio o una infraestructura implica la gestión de numerosas actividades interrelacionadas. Esta circunstancia indica que el sistema de construcción tradicional no debería apoyarse y basarse en la subdivisión o descomposición del

trabajo a ejecutar en tareas para planificarlas y prepararlas por separado (Herrera et al. 2021). Comprender la interdependencia entre las actividades de una obra es crucial para gestionar eficazmente tanto el flujo de trabajo y como la producción (Tommelein et al. 1999).

Kim y Ballard (2010) defienden que los frecuentes cambios en los proyectos y en las obras que provocan los incrementos en los presupuestos iniciales y los retrasos en las entregas puede deberse, entre otros factores, al uso de métodos inadecuados en la planificación y control de la producción. En la gestión tradicional de las obras se suele dar un tratamiento a las actividades como si fueran independientes, sin reconocer su clara interdependencia de unas actividades con otras (Giménez et al. 2020).

Es muy común en las obras que las razones de los fracasos se atribuyan únicamente al bajo rendimiento responsabilidad exclusiva de un ejecutor directo de una actividad en concreto, ya sea el director de la empresa, el capataz o el subcontratista, sin considerar las limitaciones causadas por la dependencia con otras actividades del mismo proyecto que no son responsabilidad de estas personas y no controlan. Esto significa que se asume que la responsabilidad recae enteramente en alguno de esos gestores, capataces o subcontratistas, cuando en realidad la interdependencia entre tareas indica que esta manera de evaluar las causas de no cumplimiento de una actividad es totalmente errónea (Ortiz 2014).

2.1.3 La empresa constructora

Las empresas constructoras se dedican fundamentalmente a la construcción de edificios o infraestructuras, esto supone la ejecución de diferentes obras, pero también a se incluyen las reformas, las explotaciones o los mantenimientos de las propias construcciones. Estas construcciones, por su tamaño o singularidad, la mayor parte de sus componentes tienen que realizarse in situ, en la propia obra. Sus principales recursos que consumir son la mano de obra, los materiales, la maquinaria propia o subcontratada, medios auxiliares, junto a almacenes, instalaciones, vehículos y oficinas para el personal técnico y administrativo (Correa 2009). Este tipo de empresas desarrolla dos procesos distintos y por separado: un proceso asociado directamente con la gestión interna de la empresa y otro proceso de gestión particular en cada una de las obras (Gómez-Cabrera et al. 2020).

Normalmente, las empresas constructoras cuando son adjudicatarias de un proyecto y se comprometen a su construcción se arriesgan a ejecutar las obras sin tener perfectamente definido el alcance del proyecto, y por lo tanto no podrán saber de inicio el coste exacto al que se enfrentan; tan solo podrán realizar una estimación lo más certera posible. El departamento de estudios de la empresa constructora debe estimar y preparar una oferta, en cierto modo, provisional (la que las condiciones le permitan), o tendrá que “cerrar” un presupuesto de realizar unos servicios empresariales predeterminados. La elaboración de estos presupuestos requerirá de la medición y del cálculo del coste estimado de dichos trabajos o servicios (Przywara y Rak 2021).

Así, las empresas constructoras deberán tener en cuenta de manera oculta, en sus estimaciones de coste, unos márgenes u holguras respecto al coste y al plazo estimado, para compensar la variabilidad provocada por esta incertidumbre (Gómez-Cabrera et al. 2020). Pero la dura competencia impuesta por el propio sistema de

adjudicación y contratación de las obras impuesta por los promotores públicos o privados no permite incorporar siempre estos márgenes a las respectivas ofertas o presupuestos de las respectivas constructoras si se quiere ser competitivo y conseguir alguna de las adjudicaciones de obra deseadas (Grau et al. 2019).

Por otra parte, las empresas constructoras delegan la responsabilidad de la construcción de cada obra a un equipo de profesionales, compuesto, dependiendo de cada obra, como mínimo de un jefe de obra y de un encargado. Se forma, por tanto, en cada inicio de obra, un equipo de obra para hacerse cargo de la gestión de la construcción de cada uno de los proyectos adjudicados (Grau et al. 2019). La realización de las obras, normalmente dispersas geográficamente por el ámbito escogido por la empresa, obliga a tener tantos centros de producción como obras en marcha. Esta dispersión de las diferentes obras hace que se lleven a cabo contrataciones temporales tanto de mano de obra como del resto de recursos. En muchas ocasiones, se constituirán plantillas fijas con los trabajadores con más aptitudes, más preparados y cualificados y se realizarán otras contrataciones mano de obra de complemento que seguramente no estará suficientemente cualificada (Araya 2020).

2.1.3.1 La planificación y el control de la producción en la empresa constructora

Planificar es determinar lo que se debe hacer, cómo y cuándo se debe hacer, qué acciones se deben adoptar y quién es el responsable de llevarlas a término. Se tienen que hacer estimaciones y suposiciones sobre cómo se podrán coordinar los diferentes procedimientos constructivos. Lo que se procura es determinar, de la manera más exacta posible, las tareas que se tienen que construir durante la obra. Esto permitirá definir claramente los objetivos y las directrices que guiarán la correcta planificación, incluyendo aspectos clave como el coste, el plazo, las estrategias y la gestión de los cambios, y los procedimientos constructivos. (Ballard y Howell 1994). Por lo tanto, para poder aplicar el equilibrio de la carga y la capacidad, los cuellos de botella en la producción y las holguras o márgenes, es necesario descomponer la obra en actividades e hitos con el máximo detalle posible. Por último, es necesario identificar las relaciones de precedencia entre las actividades y localizar los posibles motivos que puedan aumentar la variabilidad (Kim y Ballard 2010).

Por otra parte, se debe realizar un seguimiento de la ejecución de la obra, para poder contar de forma oportuna con la información suficiente sobre lo que realmente está pasando en el proyecto o en la obra. En esta etapa de seguimiento y control se comparan los datos obtenidos con el plan inicial y se toman las acciones necesarias para corregir las diferencias que se vayan produciendo. Este control irá dando un diagnóstico de lo que podrá ser el futuro del proceso constructivo. Las decisiones que se vayan adoptando modificarán el plan inicial en mayor o menor medida, lo que generará un proceso continuo de gestión de los cambios y de la correspondiente actualización del plan (Kim y Ballard 2010).

Las constructoras emplean diversas técnicas para gestionar y maximizar los recursos en las construcciones, invirtiendo frecuentemente grandes esfuerzos y utilizando recursos sin alcanzar las metas propuestas. Por la manera en que las empresas constructoras planifican y administran las obras, se puede decir que la planificación

habitual es bastante básica, se realiza de forma individual y raramente se actualiza. De esta forma la variabilidad no solo es imposible de ser detectada para poder combatirla y luchar contra ella, sino que se manifiesta con mayor frecuencia e incluso se magnifica notablemente (Vasilyeva et al. 2015).

Lo que generalmente se puede observar en una obra con respecto a su planificación, son las siguientes características (Vasilyeva et al. 2015):

- La planificación de una obra se realiza basándose en la experiencia del jefe de obra, y es pensada en un ambiente de gran incertidumbre y sin la información necesaria.
- La distribución de la información se realiza de forma oral o a través de correos electrónicos, y abarcan sobre todo aspectos a corto plazo, habitualmente planificaciones semanales, descuidando probablemente los planes a medio y a largo plazo.
- Los controles se plantean sobre la ejecución de las actividades, sin considerar la capacidad media de los equipos de producción que las realizan. Si no se realiza un seguimiento de la capacidad de trabajo de estos equipos, será muy costoso y dificultoso tomar las acciones correctivas adecuadas a tiempo.
- A menudo se hace una planificación inicial muy detallada, sin considerar la gran incertidumbre inicial y la enorme variabilidad que esto provocará.
- Además de todo esto, por lo general, el plan inicial de la obra solo se actualizará cuando un gran desajuste y su excesivo incumplimiento lo obligue.

En muchas ocasiones los planes de obra que los jefes de obra realizan, normalmente al inicio de las obras, tan solo son documentos entregables para satisfacer una petición del promotor o de la dirección facultativa. El hecho de que habitualmente estos planes se representen de forma no muy pareja a la realidad es la razón por la que la mayoría de los jefes de obra lo usan únicamente como una guía de comprobación del avance de la obra y no como un plan de cumplimiento de los compromisos adoptados. Los promotores, normalmente, consideran esencial la realización de una planificación de las obras donde el equipo de obra comandado por el jefe de obra y el encargado indique los trabajos que se van a ejecutar de la manera y con el orden lógico que ellos consideren (Power y Taylor 2019).

Normalmente conforme avanzan las obras se producen los temidos retrasos que hacen poner en peligro el cumplimiento de los plazos y obligan a los promotores a tener que amenazar con la aplicación de las consecuentes sanciones o penalizaciones contractuales. Esta situación hace que el promotor y la dirección facultativa obliguen al constructor a corregir y ajustar los planes de trabajo. Para acelerar la terminación de la obra, se podrá comprimir el plan de ejecución, lo que podrá comprometer la respuesta y la capacidad de las empresas subcontratistas, especialmente cuando la ejecución de uno o más subcontratistas predecesores no sean fiables, ósea, cuando la productividad varíe considerablemente de un día a otro o cuando la buena ejecución sea un prerequisite para el subcontratista sucesor (Ballard y Tommelein 2016).

Finalmente, será difícil hacer que un profesional con cierta experiencia en la construcción cambie su manera particular de planificar, de gestionar y de ejecutar las tareas de la obra, ya que, los profesionales de la construcción son especialmente

reacios a aceptar cambios en los modos de trabajar a menos que los resultados obtenidos por el empleo de un nuevo sistema de planificación o de gestión les aporte directamente mejoras considerables (Kim y Ballard 2010). La mayor parte de los profesionales veteranos piensa que con su propia experiencia adquirida con el paso de los años pueden defender perfectamente la ejecución de las obras y es frecuente que no muestren ningún interés por hacer algunos cambios respecto a la implementación de nuevas prácticas de planificación.

2.1.4 Las variables de resultado de las obras

El nivel de consecución en las obras se mide mediante las variables de resultado. El propio negocio de las empresas constructoras hace que las variables relacionadas con el coste y con el plazo de entrega sean las variables principales para definir el éxito en una obra (Shrestha et al. 2021; Jordan et al. 2011).

Las variables de resultado que se han utilizado en esta investigación, en el análisis cuantitativo de los datos, han sido las diversas variables de coste y de plazo encontradas en la revisión de la bibliografía. Las definiciones de estos términos se han elaborado a partir de las publicaciones de Konchar y Sanvido (1998), Kabirifar y Mojtahedi (2019) y Yu et al. (2019).

Las variables de coste encontradas en la búsqueda de la investigación académica existente que han permitido contrastar los datos relativos a los costes conseguidos a través de la muestra de las obras seleccionadas han sido el coste unitario, la intensidad y la desviación del coste de construcción.

El coste unitario se define como la relación entre el coste de la construcción y la superficie de la vivienda, esto es, el coste total de la obra dividido entre la superficie construida. Esta variable se expresa con las unidades de medición en euros por metro cuadrado (€/m^2 , ecuación 2.1). Los metros cuadrados construidos lo forman el espacio pisable de la vivienda que además incluye la ocupación de la tabiquería, las tuberías, los conductos de ventilación y otras instalaciones.

$$\text{Coste unitario} = \frac{\text{Coste de construcción}}{\text{Superficie construida}} \quad (2.1)$$

La intensidad se define como la relación entre el coste unitario y la duración en días de todo el proceso. Describe el coste de un metro cuadrado respecto a la unidad de tiempo, que normalmente es un día. La duración es el número de días entre el inicio real de la obra y su terminación. Se escribe en euros por metro cuadrado y día ($\text{€/m}^2/\text{día}$, ecuación 2.2).

$$\text{Intensidad de la construcción} = \frac{\text{Coste unitario}}{\text{Duración}} \quad (2.2)$$

La desviación del coste de construcción es el porcentaje de la diferencia entre los costes finales y los costes previstos al inicio de la construcción de las obras. Se expresa en porcentaje y se calcula mediante la ecuación 2.3 (Sanz 2016).

$$\% \text{ Desviación del coste} = \frac{\text{Coste final} - \text{Coste presupuestado}}{\text{Coste presupuestado}} * 100 \quad (2.3)$$

Las variables de plazo encontradas en la investigación académica existente que han permitido contrastar las variables de resultado de plazo conseguidas con la muestra de proyectos seleccionados han sido la velocidad de construcción y la desviación del plazo de construcción (Sanz 2016).

Mediante la velocidad se consigue medir la presteza con la que la obra es construida. Sus unidades de medida son el metro cuadrado por día de duración de la obra ($\text{m}^2/\text{día}$, ecuación 2.4). El intervalo de tiempo de la construcción es el número de días transcurrido entre el comienzo de la construcción y la terminación de la construcción. Los metros cuadrados construidos lo forman el espacio pisable de la vivienda que incluye la ocupación de la tabiquería, las tuberías, los conductos de ventilación y otras instalaciones.

$$\text{Velocidad de construcción} = \frac{\text{Superficie construida}}{\text{Duración}} \quad (2.4)$$

La desviación del plazo de construcción es el porcentaje de la diferencia entre el plazo final y el plazo previsto, de la construcción de las obras. Se expresa en porcentaje y se calcula mediante la ecuación (2.5). La duración final es el número de meses entre la fecha real de inicio de las obras y la fecha real de finalización de las obras. El intervalo de tiempo planificado se mide como el número de meses que figuran en el contrato entre el promotor y la empresa constructora y que técnicos de la empresa han estimado durante las fases de estudio y adjudicación de la obra.

$$\% \text{ Desviación de plazo} = \frac{\text{Plazo real} - \text{Plazo planificado}}{\text{Plazo planificado}} * 100 \quad (2.5)$$

2.1.5 La empresa constructora pequeña

En España, una empresa constructora pequeña se caracteriza por tener una plantilla de entre 10 y 49 empleados, y cuyo volumen de negocio anual no supera los 10 millones de euros (SEOPAN 2024). La cartera de obra de una empresa constructora pequeña puede estar formada tanto por proyectos de edificación como por proyectos de obra civil, aunque son muchas las que se dedican a construir los edificios de sus propias promociones.

Al igual que en cualquier empresa, su equipo humano desarrolla las funciones necesarias para conseguir el mejor funcionamiento posible. A continuación, se verán las funciones particulares que cada miembro realiza de manera singular dentro de la empresa constructora pequeña (Rojas 2013):

- El gerente. Su principal función es conseguir mediante la búsqueda permanente de clientes, una cartera de obra estable que permita a la empresa mantenerse activa en el mercado realizando un trabajo con un flujo suficiente lo más constante posible. Por otra parte, este tipo de empresas habitualmente puede promover y construir sus propias obras de edificación. Otras tareas del gerente de una constructora de estas características son la gestión de la estrategia de comunicación y ventas, controlar el área contable y económica en general, y también la parte jurídica. Además de todo esto en momentos y circunstancias especiales podrá llevar a cabo las negociaciones de gestiones

específicas como son algunas instalaciones especiales como ascensores o grúas.

- La oficina técnica y de estudios. No todas las empresas constructoras pequeñas disponen de este departamento. Su función es dar apoyo técnico al equipo de obra. Realizará los trabajos de mediciones, estudio de costes y redacción de presupuestos, hacer planificaciones, reuniones con proyectistas para la consecución de la redacción de los proyectos en caso de promociones propias y colaborar o asesorar en la resolución de las consultas técnicas de la obra.
- Los jefes de obra. Son los máximos responsables de la planificación y de la ejecución de las obras, y se encargan de gestionar junto con el encargado, la entrada en obra de los colaboradores ya sean proveedores o subcontratistas. Es habitual que un jefe de obra en este tipo de constructoras gestione varias obras simultáneamente.
- Los jefes de producción. No todas las empresas pequeñas disponen de jefes de producción, ni tampoco en todas las obras se incorpora esta figura en sus equipos. Se encargan como su designación indica, de conseguir la producción planificada de la obra, revisión de mediciones, productividad y coordinación con el encargado de la obra de las actividades a realizar. Aunque en empresas muy pequeñas el mismo jefe de obra desarrolla estas funciones.
- Los encargados. Son los responsables directos de la organización del trabajo desde la misma obra, semana a semana y también de asegurar el cumplimiento diario de las tareas o actividades, supervisando la ejecución de cada equipo de producción. Solicitan o consiguen la incorporación de subcontratistas cuando es necesario, y coordinan los trabajos con los subcontratistas y los objetivos planificados con el jefe de obra.
- Los capataces. La diferencia entre un capataz y un encargado radica principalmente en su nivel jerárquico y en el área de la que será responsable. Un capataz se enfocará en la supervisión directa y ejecución de unas actividades concretas, mientras que el encargado supervisará y coordinará todas las actividades de la obra en su conjunto.

Las empresas constructoras pequeñas tienen una problemática particular en lo que a la manera de gestionar sus obras se refiere. Estas serían unas características típicas que se encontrarán en una empresa constructora pequeña, respecto a la gestión de las obras (Echegaray et al. 2009):

- La existencia de un encargado de obra permanente en la obra y de un ingeniero o arquitecto que ejercerán de jefes de obra y que compaginarán los trabajos de oficina con los trabajos de obra.
- El seguimiento económico de la obra consistirá básicamente en la realización de visitas y recorridos por la obra; se confeccionarán partes de trabajo diarios con recogida de albaranes firmados por el encargado.
- El jefe de obra visitará la obra periódicamente para controlar su avance, el provisionamiento de materiales, el número de operarios, etc. y tendrá la responsabilidad máxima sobre la planificación de la obra.
- La planificación de la obra tan solo se actualizará cuando las desviaciones sean muy evidentes, sin una sistemática de actualización establecida.

- La planificación de los recursos necesarios, cuántos equipos de producción y la composición del número de operarios de cada uno de ellos, las duraciones de las actividades, la calidad de los materiales y la elección de los medios necesarios en cada una de las actividades, serán determinados por la mera experiencia del jefe de obra y del encargado, estableciéndose de partida unos rendimientos mínimos.
- La planificación de los objetivos y los avances de obra no se transmiten por escrito al encargado y a los capataces.
- La coordinación de la mano de obra, los materiales y los medios auxiliares, la llevará a cabo el encargado de la obra en solitario.

Como se puede apreciar, estas constructoras cuentan con un sistema muy elemental de gestión, lo que hace que la planificación y la supervisión de sus obras sea bastante deficiente. Esto conduce a que se presente una elevada variabilidad en sus procesos, mayor si cabe de la media habitual en este sector, lo que provoca un alto índice de demoras y, por ende, un aumento en sus costes (Echegaray et al. 2009). Esto provoca disminución de la competitividad al tener que incrementar sus precios de venta o disminuir sus márgenes de beneficio (Cruz-Machado y Rosa 2007).

Seguidamente se describirá el proceso constructivo singular de la tipología de proyectos elegida en esta investigación, la construcción de viviendas unifamiliares.

2.1.6 La construcción de una vivienda unifamiliar

La construcción de viviendas unifamiliares constituye uno de los componentes fundamentales del sector de la construcción en España, específicamente, las unifamiliares de autopromoción, donde un autopromotor se encarga de todas las actividades asociadas con la promoción y la financiación necesaria para edificar su propia casa (Dominguez 2022). Por lo tanto, aunque podría parecer un mercado de menor profundización e importancia, en realidad no lo es, especialmente en algunas regiones de España, donde gracias a la meteorología favorable del lugar o por la propia tradición cultural de residir en estas zonas residenciales, está muy establecida (SEOPAN 2024).

Nos encontramos, por lo tanto, con una parte de un subsector de la construcción, la edificación de unifamiliares de autopromoción, que tiene un impacto en el mercado significativamente mayor de lo que podría inicialmente percibirse, destacando que, en un alto porcentaje, estas obras son llevadas a cabo por pequeñas empresas constructoras y por promotores que no están vinculados al sector (Rocha y Dantas 2020).

Cuando se procede a realizar, por primera y posiblemente única vez, la construcción de una vivienda unifamiliar es poco común que estos promotores, los autopromotores, cuenten con experiencia previa, lo que genera muchos interrogantes que generalmente se irán aclarando a medida que avance el proceso (Tauriainen et al. 2016).

El autopromotor que desea llevar a cabo la promoción de su hogar, habitualmente no tendrá un conocimiento profundo, ni, incluso, básico del proceso y las etapas que deben seguirse, así como de los trámites, la estimación de los costes y los plazos de

la construcción, la documentación que se requiere, los permisos y todo lo necesario para convertir esa significativa inversión en el proyecto deseado (Tauriainen et al. 2016). La autopromoción de viviendas siempre ha representado una opción para aquellas personas que, habiendo tenido la capacidad y el deseo de ser los promotores de su propia residencia, desean participar en el diseño y en la construcción de su casa (Rocha y Dantas 2020).

La autopromoción conlleva una intensa implicación en el proyecto al tener que tratar directamente con todos los profesionales involucrados en el proceso constructivo. Sin embargo, la autopromoción también ofrece la ventaja de permitir un ahorro significativo de dinero, al menos del beneficio que obtendría un promotor profesional, que, dependiendo de las condiciones del mercado, podría alcanzar cifras muy elevadas (Borrego 2010). Por otra parte, se logra un nivel de personalización, calidad y participación en el proyecto impensable con la adquisición de una vivienda a través de una promotora inmobiliaria convencional (Alshubbak 2010).

Optar a un diseño personalizado permite la adecuación a las particularidades, preferencias o incluso los caprichos y deseos de cada autopromotor. La idea de la singularidad en una vivienda unifamiliar emana de la esencia de la modernidad y del abandono de las imitaciones. El objetivo es llevar a cabo una obra arquitectónica auténtica, sin replicar ninguna otra existente. Se desarrolla un prototipo utilizando las mismas técnicas constructivas convencionales que otros edificios, pero con la particularidad de ser un edificio exclusivo (Campo 2010).

Con el paso del tiempo, este tipo de proyectos, las viviendas unifamiliares de autopromoción han atendido a las necesidades específicas y reales de sus promotores, quienes son tanto sensibles con el resultado final como exigentes. Sin embargo, es importante destacar que detrás de muchos de estos edificios singulares suelen presentarse significativas desviaciones del coste y del plazo, cuya causa principal generalmente radica en las malas interpretaciones y las distorsiones existentes entre promotor, arquitecto y constructor. De todas formas, la aspiración a alcanzar la excelencia arquitectónica con este tipo de proyectos no debería implicar de manera casi obligatoria la manifestación de estas desviaciones tanto de costes como de plazos (Frampton 2014).

Por otro lado, la construcción de viviendas unifamiliares de autopromoción conlleva una serie de actuaciones altamente reguladas por distintos organismos públicos, donde intervienen diversas partes a pesar del pequeño volumen de la obra a realizar, y los plazos de ejecución suelen ser de alrededor de un año o algo más (Rocha y Dantas 2020).

El proceso constructivo de una vivienda unifamiliar, aunque realmente representa la realización de un prototipo, utiliza técnicas constructivas que son sumamente tradicionales y hay una vasta experiencia en su ejecución por parte de los profesionales autónomos, las empresas contratistas, los instaladores y demás subcontratistas (Santatecla et al. 2018). Por lo tanto, resultará razonablemente factible organizar las actividades interrelacionadas de la manera más coherente posible, lo que permitirá estructurar una propuesta de ejecución adecuada, caracterizada por sus

elementos técnicos, económicos, financieros, operativos y humanos (Marcucci et al. 2021).

2.1.6.1 El autopromotor y la dirección facultativa

Este tipo de proyectos, así como la construcción de edificios en general, están regidos por la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. Esta legislación tiene como finalidad primordial regular el proceso de la edificación, actualizando y ampliando la estructura legal de los agentes que participan en él, estableciendo sus responsabilidades para garantizar las obligaciones y proteger a los usuarios finales. Esta legislación está basada en una definición de los requisitos básicos que las edificaciones deben cumplir (Rocha y Dantas 2020).

Mediante esta ley se determinan los requisitos relacionados con la funcionalidad, la seguridad y la habitabilidad, aunque la regulación referente a los costes de construcción o a su supervisión es prácticamente inexistente. Entre todos los agentes, las únicas menciones que realiza la ley en relación con los costes y los plazos de ejecución se presentan al señalar que el promotor debe financiar todos los trabajos, sin profundizar en más detalles sobre límites presupuestarios o aumentos de coste alguno (Delfín 2002).

En otro ámbito, la normativa establece que el responsable de la ejecución material del proyecto, el arquitecto técnico, deberá preparar y firmar las certificaciones parciales, así como la liquidación final de las unidades de obra realizadas, las cuales serán aprobadas por el director de obra, el arquitecto. Estos dos profesionales no asumen ninguna responsabilidad en cuanto a variaciones en los costes o en los plazos del proyecto (Delfín 2002).

La normativa exige la contratación de una dirección facultativa compuesta por un arquitecto y un arquitecto técnico, quienes tienen la tarea de elaborar el proyecto y supervisar su ejecución. Sin embargo, estos profesionales no tienen ninguna responsabilidad regulada en términos económicos o de plazos (Tauriainen et al. 2016).

Por lo tanto, en este tipo de proyectos, se parte de una situación en la que un promotor inexperto, sin antecedentes en el ámbito de la gestión de la construcción, tiene el propósito de construir su propia vivienda. En su caso, seguramente podrá contar con una orientación inicial que habrá obtenido a través de las opiniones de amigos, familiares o conocidos que hayan atravesado anteriormente por experiencias similares por las que va a atravesar él (Nassar 2021).

El presupuesto destinado a la ejecución material de la obra debe superar los umbrales mínimos establecidos por el Colegio de Arquitectos para poder obtener su visado. A excepción de contadas ocasiones, no hay un control o revisión de este a nivel presupuestario, empleándose el presupuesto de ejecución material exclusivamente para calcular las tasas e impuestos requeridos para la obtención de la licencia de obra municipal (Nassar 2021).

Respecto a los plazos de ejecución, el único documento del proyecto que menciona el periodo de desarrollo de la construcción es el estudio de seguridad y salud. Sin

embargo, esta mención se hace de manera meramente orientativa para definir los métodos de protección que se utilizarán (Delfín 2002).

En este tipo de proyectos, específicamente en una vivienda unifamiliar de autopromoción, el promotor actúa como el usuario final del edificio. Este rol conlleva múltiples implicaciones en el progreso del proyecto y de la obra, y generalmente el promotor no es un "profesional" del sector, lo que supone un desconocimiento total sobre los trámites urbanísticos, así como de elementos técnicos y arquitectónicos, además de las técnicas de construcción (Campo 2010). Su interés principal radica en el producto final de la vivienda, siempre considerando los parámetros de control de costes y plazos. El promotor es quién financia todo el proyecto y, lamentablemente, es común dentro del ámbito de la construcción enfrentarse a sobrecostes y retrasos significativos en la ejecución (Delfín 2002).

El arquitecto, con su proyecto de una vivienda unifamiliar, probablemente buscará lograr un reconocimiento artístico a través de su diseño, lo cual no está relacionado con el cumplimiento de los requisitos de coste y de plazo. Se encargará de elaborar un proyecto acorde con las pautas y el programa de usos y necesidades que el promotor le haya especificado, aunque muchas veces este último no tendrá claridad total sobre lo que realmente desea al inicio de la obra (Tauriainen et al. 2016).

El arquitecto no asumirá ninguna responsabilidad en cuanto a la veracidad del presupuesto, más allá de cumplir con los mínimos exigidos por su colegio profesional para obtener el visado. En lo que respecta a los plazos de entrega, la única restricción en la ejecución de la obra es el plazo máximo que el municipio establece a través de la licencia de obra, el cual puede ser prorrogado si se justifica adecuadamente la necesidad de aumento del plazo. Por ello, se verifica que las exigencias legales o administrativas que regulen o impongan requisitos sobre el periodo de ejecución de la obra son casi inexistentes, salvo por lo estipulado en el contrato entre el promotor y el contratista (Delfín 2002).

Por otro lado, el arquitecto técnico desempeña un papel que es fundamentalmente técnico y se relaciona más con la supervisión de la calidad que con la gestión de los costes y los plazos. Tal como se mencionó previamente, en los proyectos, los costes y los plazos reales suelen ser poco definidos y regulados, y, en cualquier caso, el arquitecto no asume una responsabilidad legal sobre ellos. Junto con el arquitecto técnico, el arquitecto que actúe como director de obra, conformará la dirección facultativa (Delfín 2002).

La participación del arquitecto y del arquitecto técnico no es imprescindible para formalizar el contrato de obra entre el promotor y el contratista; sin embargo, es esencial para llevar a cabo las obras. El acuerdo entre el promotor y la dirección facultativa estará sujeto a diferentes matices, ya que implicará la realización de estudios, la elaboración del proyecto, la dirección de la obra, la verificación de mediciones, así como certificaciones y valoraciones económicas, entre otros aspectos (Tauriainen et al. 2016).

En el ejercicio del diseño y la dirección de la obra, los técnicos contarán con cierta autonomía, aunque estará restringida por las normativas municipales y las regulaciones técnicas pertinentes a cada caso del proyecto en cuestión, así como a la

idoneidad del edificio, que se relaciona con el uso que el promotor desee darle, y también a las dimensiones y presupuesto establecidos de manera coherente (Tauriainen et al. 2016).

Los problemas principales que suelen surgir en la relación entre arquitectos y promotor durante el desarrollo del proyecto y la construcción de la vivienda unifamiliar son (Delfín 2002):

- Las modificaciones. A menudo, el promotor, al inicio del proyecto, no tiene claro lo que realmente desea y va alterando el proyecto incluso durante su construcción.
- Las indefiniciones. El promotor cambia constantemente el proyecto, en ocasiones con consecuencias retroactivas.
- Las decisiones inapropiadas debido a la falta de conocimiento del promotor. Este no posee conocimientos técnicos y con frecuencia se deja orientar de forma general e incluso contradictoria por familiares, amigos y conocidos.
- La imposición de plazos. El promotor establece plazos sin criterio alguno y sin posibilidad real de cumplimiento.
- La gestión inadecuada del promotor. Al no tratarse de un promotor profesional con un objetivo económico definido, el autopromotor tiende a gestionar de manera ineficaz.
- La escasa diligencia en las decisiones del promotor, la falta de criterio y la toma de decisiones en un entorno de gran variabilidad representan puntos críticos en el desarrollo del proyecto.

Todas estas situaciones impactan en el proceso constructivo de la vivienda unifamiliar en todos sus niveles, en cuanto al proyecto que se va a construir según los requerimientos técnicos y económicos, y las necesidades y expectativas del promotor (Bustos 2015).

2.1.6.2 El proceso constructivo de una vivienda unifamiliar

El proceso comienza con el contacto inicial entre el promotor y el arquitecto elegido. Es posible que el promotor cuente entre sus relaciones personales con constructores o arquitectos, sin embargo, en numerosos casos esta no será la situación. Generalmente, se llevará a cabo una reunión casual, a menudo facilitada por el boca a boca, en la que una persona conocida del promotor facilitará esta conexión. Por lo general, este tipo de promotores no están familiarizados con oficinas de arquitectura ni con constructoras, ya que no han requerido anteriormente de sus servicios (Brioso et al. 2023).

En este inicio, se llevarán a cabo conversaciones preliminares y se establecerá un programa que guiará el camino desde las ideas iniciales hasta los estudios preliminares, el análisis urbanístico, e incluso la orientación sobre la compra del terreno si aún no se ha adquirido (Brioso et al. 2023).

Durante el desarrollo de estos proyectos de viviendas unifamiliares de autopromoción, el promotor comienza por centrarse en la localización, las vistas, la orientación y la cantidad de sol que recibirá su futura vivienda, además de sus preferencias personales. A menudo ocurre que el autopromotor no prestará atención a las

normativas urbanísticas, a las posibles vías de acceso para la construcción, a la posibilidad de conexiones a las redes de servicios, o factores geotécnicos, de los cuales muchas veces no tiene ningún conocimiento (Ferraó 2016).

Comúnmente, un autopromotor se basará en referencias de precios generales de construcción de otras casas que ha recibido de familiares, amigos o conocidos. Sin embargo, este enfoque carece de ningún criterio técnico claro. Suele creerse que, con un coste de unos cuantos euros por metro cuadrado, se puede construir una casa en aproximadamente 12 meses desde la compra del terreno, percepción que está lejos de toda realidad (García y González 2014).

Por tanto, al inicio del proceso, se revisarán las normativas urbanísticas y se examinará el estado legal del posible terreno mediante la ordenanza municipal. Esto implicará analizar aspectos como la edificabilidad, la ocupación, los retranqueos y los requisitos estéticos, siguiendo las regulaciones locales, así como otros factores relevantes como la influencia a algún organismo de ámbito nacional como son la dirección general de costas o la confederación hidrológica correspondiente, y categorizaciones de varias autoridades municipales relacionadas con el patrimonio, la cultura o el medio ambiente (García y González 2014).

Simultáneamente, se llevarán a cabo consultas con compañías suministradoras que proveen servicios para estimar los costes de urbanización necesarios para dotar a la construcción de los servicios básicos como agua, saneamiento, electricidad, telecomunicaciones, gas y acceso por camino o carretera para vehículos (Ferraó 2016).

Al mismo tiempo, se realizará un análisis preliminar geotécnico para identificar las características del suelo que pudieran hacer el proyecto inviable o aumentar excesivamente su coste, como son el riesgo de deslizamientos o cavidades subterráneas. Ignorar estos estudios iniciales antes de comprar el terreno puede causar problemas significativos desde un principio, haciendo imposible el desarrollo del proyecto. Por ello, también es esencial realizar una verificación topográfica y medir la superficie del terreno antes de adquirirlo (Brioso et al. 2023).

Una vez que se ha completado el estudio inicial del terreno y se han discutido entre promotor y arquitecto sus ventajas y desventajas, se procede a definir los objetivos del proyecto para comenzar el diseño de un anteproyecto. A continuación, se redactará un proyecto básico, se solicitará una licencia de obra mayor para la demolición o modificaciones necesarias, así como para la construcción de la vivienda (Ferraó 2016). La oficina técnica del municipio emitirá un informe en el que se señalará que varios aspectos normativos deben ser justificados; se rectificarán estas consideraciones en el proyecto básico y se presentará el proyecto de ejecución con las modificaciones necesarias, el cual será validado por el Colegio de Arquitectos del territorio correspondiente (Cruz-Machado y Rosa 2007).

El ayuntamiento enviará una notificación del informe técnico municipal. En el caso de España, las direcciones generales de patrimonio, cultura y medioambiente de la comunidad autonómica correspondiente deberán dar su aprobación al expediente. El alcalde del municipio donde se encuentre la parcela para la construcción emitirá una resolución concediendo la licencia de obras. A veces, el tiempo desde la solicitud

hasta la concesión de la licencia puede ser de aproximadamente un año, sin que el promotor pueda intervenir para facilitar la concesión. Una vez que se otorga la licencia, se podrán comenzar las obras (Ferrao 2016).

Mientras se esté elaborando el proyecto constructivo, llamado de ejecución y durante el lento trámite administrativo de obtención de la licencia de obras, se iniciará la búsqueda de empresas constructoras. Se pedirán ofertas a varios contratistas para encontrar empresas con la experiencia requerida y obtener entre tres y cinco presupuestos de aquellas que estén interesadas en evaluar económicamente el proyecto y presentar su oferta (Rocha y Dantas 2020).

En este tipo de proyectos, normalmente las exigencias en los pliegos de condiciones o regulaciones no son tan estrictas como en proyectos del sector público. Sin embargo, puede exigirse una normativa legal específica, pueden existir limitaciones por motivos territoriales o se pueden solicitar requisitos técnicos o certificados de calidad o medioambiente de las instalaciones (Brioso et al. 2023).

Se enviarán copias del proyecto junto con los términos contractuales a las empresas constructoras, y se llevarán a cabo reuniones y visitas al terreno, donde se explicará en detalle el proyecto, empresa a empresa. La lenta gestión urbanística proporciona un tiempo prudente para que las constructoras realicen un análisis exhaustivo del proyecto, que les permitirá revisar las unidades de obra y resolver posibles dudas. Las empresas interesadas enviarán su oferta, aportando un presupuesto. Una definición clara del proyecto disminuirá significativamente las discrepancias de los importes entre las distintas propuestas (Rocha y Dantas 2020).

En un primer examen, se pueden eliminar empresas si muchas de las unidades tienen precios más altos que las demás ofertas. A veces, la propuesta que presenta la constructora deja adivinar que está en una situación financiera difícil, y es posible que los aumentos de algunos precios sean causados por pérdidas en otros proyectos. A veces, después de un tiempo, se confirma esta circunstancia al conocer que esa empresa ha entrado en un proceso de insolvencia o concurso de acreedores (Rocha y Dantas 2020).

Por tanto, el rango de precios entre las propuestas que se analicen en detalle deberá ser bastante ajustado, no habiendo grandes diferencias entre la oferta más baja y la más alta. Desde este punto, el promotor y el arquitecto, dentro de los límites del encargo general definido por el promotor, organizarán una serie de reuniones con las empresas para revisar detalladamente los presupuestos, las planificaciones de la obra y los términos del contrato. Las empresas mostrarán una considerable reticencia a firmar contratos que incluyan retenciones sobre los importes certificados como garantía en beneficio del promotor. Al mismo tiempo, las constructoras, desde el principio propondrán modificaciones significativas al proyecto para adaptarse a sus intereses y capacidades (Brioso et al. 2023).

Este enfoque o táctica es bastante habitual en la edificación de viviendas unifamiliares, donde, bajo la justificación de minimizar costes y así beneficiar al promotor, las empresas constructoras intentan maximizar la eficiencia de sus propios recursos (normalmente la mano de obra de albañilería) que les aseguran actividad y un mayor beneficio económico en detrimento de tener que recurrir a subcontratistas

especializados como estructuristas, instaladores, carpinteros, etc. (Rocha y Dantas 2020). Esto provoca dudas en el promotor respecto a si los arquitectos han buscado soluciones innecesariamente costosas, sugiriendo que ellos, de manera desinteresada, podrían reducir los costes aplicando otras alternativas. Esto hace que, incluso antes del comienzo de las obras, se erosione la relación entre el promotor y la dirección facultativa, y surjan tensiones con la aparición de unidades de obra no contempladas inicialmente en el cambio propuesto por el contratista, modificaciones que no fueron valoradas previamente y con el contrato ya adjudicado; estos cambios darán lugar a precios nuevos que se discutirán bajo la presión de la ralentización o paralización de la obra, permitiendo al contratista manejarse con mayor facilidad y fuerza en la negociación (García y González 2014).

La decisión de adjudicación se restringe a empresas que cuenten con un tamaño adecuado, experiencia y características para llevar a cabo la obra propuesta. En este momento se realizará un análisis detallado por capítulo, unidad y desglose de precios. Se prestará atención especial a la ejecución y a los resultados en otros proyectos que posean las constructoras, así como a sus certificados de calidad y garantías presentadas (Ferraó 2016).

Con toda la información obtenida, se convocará una reunión entre el promotor y los arquitectos para formalizar la adjudicación de la obra a la empresa seleccionada. La decisión no será únicamente de carácter económico, ya que los factores comentados en el párrafo anterior también podrán influir en la elección (Brioso et al. 2023).

Es en este momento cuando se podrá considerar una reconsideración integral de la obra en colaboración entre el contratista y los arquitectos, incluyendo a las empresas subcontratistas que el contratista decida incorporar al proyecto (Rocha y Dantas 2020).

En esta revisión se otorgará especial atención a los siguientes aspectos (Ferraó 2016):

- Establecimiento de un criterio definido y aceptado por las partes sobre cómo se llevará a cabo la medición de cada elemento de la obra. Por lo general, no existirá un criterio uniforme para todas las unidades, y los pliegos de condiciones generales de construcción suelen contener criterios contradictorios o vagos, lo que provoca disputas en las certificaciones. Por esta razón, antes de la firma del contrato, se revisarán de manera consensuada.
- Evaluación de la medición de las unidades de obra, corrigiendo en el presupuesto del proyecto los errores identificados por el contratista.
- Análisis de las características específicas de los materiales previamente seleccionados junto con el promotor. Comprobación de la existencia y disponibilidad en el mercado, así como de las fechas de suministro, reemplazando aquellos que no vayan a estar disponibles en el momento preciso.
- Revisión de los rendimientos de ejecución de las unidades de obra y el plan de coordinación con los subcontratistas.

Como resultado de este examen, es probable que el presupuesto inicialmente aceptado, tras esta revisión, sufra modificaciones debido a los cambios y las

correcciones necesarias. El contrato de obra se formalizará basándose en este presupuesto revisado (Ferraó 2016).

Se pactará con el constructor un control sobre la ejecución de la obra para supervisar el proceso, comprometiéndose este a proporcionar la documentación pertinente y a implementar las medidas correctivas necesarias en caso de ser necesario ajustar desviaciones en coste y plazo (Ferraó 2016). Antes de iniciar las obras, se acordará el criterio a emplear para medir el avance de la obra. El más común es utilizar las certificaciones mensuales como indicador del avance del proyecto, lo que implica, un periodo de análisis mensual (Rocha y Dantas 2020).

La empresa constructora presentará un plan de obra que, tras ser supervisado por la dirección facultativa y aprobado por el propietario, se considerará la línea base del proyecto, al menos mientras no se realicen modificaciones. Este plan también deberá ser completamente coherente con el presupuesto del proyecto, de tal manera que se puedan asignar, como mínimo, las actividades principales dentro de la estructura de descomposición de los trabajos (García y González 2014).

Generalmente, a excepción del promotor, tanto el constructor como el equipo de arquitectos poseerán una experiencia considerable en la construcción y supervisión de proyectos de edificación (Brioso et al. 2023).

El proyecto dará inicio con la implantación de las casetas y almacenes de obra, la apertura del centro de trabajo, la instalación de infraestructuras auxiliares y la coordinación de la entrada de los subcontratistas encargados de las demoliciones, el movimiento de tierras y algunas canalizaciones enterradas (García y González 2014). Es importante destacar que, en un proyecto de construcción, tanto el movimiento de tierras como la preparación de la cimentación serán, particularmente, las actividades con una gran indefinición, ya que, aunque el estudio geotécnico mitigue en cierta medida esta incertidumbre, tal variabilidad en las características del suelo, hará que el promotor, sea consciente de que podría comenzar su obra con algún desfase en términos de coste y de plazo (Rocha y Dantas 2020).

El control periódico, mes a mes, es apropiado para proyectos con cierto tamaño, especialmente aquellos que se prolongan de 10 a 12 meses, el tiempo usualmente requerido para la edificación de una vivienda unifamiliar. Las certificaciones mensuales regulares son un estándar en este sector y permiten una supervisión adecuada del proyecto (Nassar 2021).

En los proyectos de autopromoción de viviendas unifamiliares, el arquitecto proyectista y director de obra no tendrá una posición dominante que le permita imponer condiciones a ninguno de los involucrados en cuanto a los costes y a los plazos. Carecerá de la capacidad de restringir al promotor ante sus pretensiones y modificaciones y no mantendrá vínculos contractuales con el contratista, lo cual le impedirá exigir la realización de las obligaciones que no estén directamente relacionadas con las estrictas funciones legales de la propia dirección de obra (Brioso et al. 2023).

2.1.7 Lean Construction

2.1.7.1 Introducción

La implementación de la metodología *Lean* ha conseguido mejoras significativas en la productividad, en la calidad, en la gestión de los desperdicios y en otros indicadores de rendimiento en diversos sectores. Proviene del *Toyota Production System* (TPS) y ha sido reconocido por líderes en gestión industrial de todo el mundo (Al Balkhy et al. 2021).

Desde 1990, debido al éxito de esta metodología en el sector industrial, se ha querido adaptar y aplicar algunas técnicas *Lean* en el sector de la construcción. Algunos investigadores ya han descrito los primeros resultados de su implementación en algunos proyectos como revolucionarios (Araque et al. 2019). Estos resultados incluyeron mejoras en la desviación de los costes de construcción, aumento de la productividad, la calidad, la seguridad, entornos colaborativos de trabajo, gestión de los almacenamientos, mejor organización de las obras, la planificación y la previsibilidad de los trabajos (Bajjou et al. 2017).

La implementación de la metodología *Lean Construction* está siendo más notable en unos países que en otros, donde todavía no se ha integrado a la gestión de proyectos de construcción, y, a su vez, no se ha podido mejorar resultados y prácticas en las obras (Kumar et al. 2020).

Con los sistemas tradicionales de gestión de la construcción, los sobrecostes y los retrasos son habituales por la falta de una planificación más colaborativa. Implementar técnicas de la metodología *Lean Construction* es la ocasión para combatir la baja productividad en los proyectos de construcción y conseguir una mayor eficacia en la gestión de las obras (Araque et al. 2019).

La mayoría de las obras se caracterizan por no cumplir los plazos de entrega, la falta de calidad y la presencia de sobrecostes. *Lean Construction* es una metodología que ofrece mejoras significativas en el sector de la construcción, es decir, es una metodología que sistematiza los procedimientos de la gestión y la planificación de las obras y que satisface la esperanza y la confianza de maximizar los resultados y el valor, entendiendo valor como todo aquello por lo que el promotor, propietario o cliente está dispuesto a pagar en su obra civil o edificio (Womack y Jones 1996; Howell 1999).

Varios factores afectan a los objetivos para conseguir los plazos de entrega de las obras. Los retrasos suelen producirse y están motivados principalmente por la falta de comunicación entre los participantes, la inexistencia de claridad de los requerimientos del proyecto y las malas interpretaciones habituales de los trabajos a realizar en el proceso constructivo (Darabseh 2019).

La filosofía *Lean* en general, tiene un propósito de generar gestiones colaborativas con el objetivo de conseguir mayores beneficios, mayor productividad y el aumento del valor. De tal manera, en la construcción, la gestión renovada de *Lean Construction* ofrecerá un enfoque contrario al ofrecido por los sistemas tradicionales de gestión de las obras (Aslam et al. 2020).

Los desperdicios en las obras, tales como los restos de materiales, las pérdidas de tiempo, el malgasto de recursos en general, se verán reducidos incluso en ocasiones eliminados utilizando la metodología *Lean Construction*, manifestando que la implementación del fenómeno *Lean* mantendrá una relación directa con la reducción de los diferentes tipos de desperdicios generados en las obras (Katar 2019).

La metodología *Lean*, en los últimos tiempos, está consiguiendo una aceptación y una puesta en práctica cada vez mayor por parte del sector de la construcción. Los casos de estudio implementados por los pioneros de la metodología en el sector de la construcción, aunque todavía no está muy extendido su uso (Goh y Goh 2019) ya señalan las ventajas de implementar técnicas de esta metodología en los proyectos de construcción (Demirkesen y Bayhan 2022). A pesar de que la metodología *Lean* es un fenómeno emergente en la gestión de proyectos de construcción, se está consiguiendo una reducción de los desperdicios y la mejora de la sostenibilidad en el sector de la construcción y se sigue realizando un esfuerzo por lograr aumentar estos beneficios, dado que todavía no existe conciencia del empleo de las prácticas adecuadas para lograrlo. Las empresas constructoras que tengan enfrentamientos y algunos problemas a la hora de implementar procesos *Lean* y no logren buenos resultados en el corto plazo, seguramente recurrirán a los métodos tradicionales, abandonando las nuevas prácticas que hayan sido recientemente implementadas (Meng 2019).

2.1.7.2 Los antecedentes y el origen de *Lean Construction*

En 1923, Henry Ford concibió un sistema de producción que no consideraba la necesidad de almacenar materias primas y productos terminados, sistema que requería una gestión activa de la demanda y que conceptualmente podría considerarse el antecedente del *Just in Time* (JIT), aunque realmente este sistema no llegó a ser implementado en aquel momento en sus factorías, probablemente por el hecho de que la demanda en aquel momento no tuviera el nivel de exigencia que comenzó a tener años más tarde (Issa y Alqurashi 2020).

En los años cincuenta la productividad en las plantas automovilísticas de Japón era muy inferior a la de Estados Unidos. Por otra parte, las empresas japonesas comenzaban a tener un importante problema de espacio y por tanto de almacenamiento de su producto terminado, los vehículos. Todo esto motivó que el jefe de Toyota, Taiichi Ohno, probablemente influenciado por las teorías antes comentadas de Henry Ford, se planteara optimizar los procesos que en ese momento se venían practicando (Issa y Alqurashi 2020).

Toyota, año tras año, fue perfeccionando su nueva metodología de producción partiendo del JIT y añadiendo nuevas técnicas y prácticas que dieron lugar a todo un sistema de mejora continua, lo que se conoce como el *Toyota Production System*, o por su acrónimo TPS (Rother 2010).

Desde el principio, evitar o reducir los desperdicios de los procesos de fabricación fue el concepto fundamental de este sistema TPS. Taiichi Ohno descubrió que parte de las actividades que realizaban en su cadena de producción que él mismo dirigía, los clientes no percibían que aportaran valor al producto final manufacturado y por lo tanto deberían ser mejoradas o eliminadas. Estos son los siete desperdicios caracterizados

por Taiichi Ohno a través de sus observaciones, causantes de la mayor parte de la pérdida de valor (Issa y Alqurashi 2020):

- La sobreproducción: producción de cantidades más grandes que las requeridas o más pronto de lo necesario; planos adicionales (no esenciales, poco prácticos o excesivamente detallados); mayor calidad de la requerida por el cliente.
- Las esperas o tiempos muertos: interrupciones de los trabajos provocadas por falta de datos, comunicaciones, órdenes o definiciones de planos, materiales, medios auxiliares, retraso de las actividades precedentes, aprobaciones pendientes, entrega de ensayos de laboratorio, problemas económicos como la falta de financiación, la escasez o deficiencias de la mano de obra, accesos dificultosos al área de trabajo, la interdependencia entre las actividades, contradicciones entre los documentos del proyecto, complicaciones logísticas y de transporte, falta de coordinación entre los equipos de producción, paradas de los trabajos por accidentes o por falta de seguridad.
- El exceso de transporte producido por el movimiento interno de los materiales (también se puede interpretar como traslado innecesario de documentos o datos). Por lo general, este exceso de transporte lo provoca una mala distribución y la falta de planificación de los requerimientos de materiales o de información, produciéndose horas muertas entre un trabajo y el que le sigue, desperdicio de energía eléctrica o de otros suministros, ocupación desordenada de los espacios disponibles y roturas de materiales durante el transporte.
- Los sobreprocesamientos innecesarios que causan el gasto excesivo de las materias primas, los equipos de producción, los consumos de energía, etc. (también se considera Sobreprocesamiento el exceso de control, vigilancia o duplicación de las inspecciones).
- Los almacenamientos innecesarios o antes de tiempo que provocan deterioro o pérdidas de material por las condiciones inadecuadas del recinto, (hurtos o actos vandálicos). El personal suplementario para vigilar o mantener la acumulación de material y los costes financieros por los intereses que se generan con los pagos a las compras anticipadas.
- Los movimientos ineficientes realizados por los trabajadores durante su jornada laboral, causados por las malas prácticas o métodos de trabajo inadecuados, falta de sistematización, mal acondicionamiento del lugar de trabajo, produciendo todos estos movimientos pérdidas de tiempo.
- Los defectos de calidad provocados por planos mal definidos de la estructura o de instalaciones, o por procedimientos constructivos incorrectos, falta de cualificación de la mano de obra. La falta de calidad conllevará consecuencias nefastas como la repetición de los trabajos o la insatisfacción de los clientes.

En cualquier caso, evitar el consumo innecesario de recursos, es la parte visible y más atractiva de la metodología *Lean*, pues es la antesala del incremento de la productividad y del incremento de los beneficios, pero no se deben focalizar todas las acciones en la reducción de los desperdicios, pues esta reducción realmente debería ser consecuencia del verdadero objetivo de la metodología *Lean* que es la creación de valor al cliente (Mossman y Ramalingam 2021).

Los buenos resultados del concepto *Lean Production* del *Toyota Production System* (TPS) rápidamente inspiró a otros sectores manufactureros, incluido al sector de la construcción. La denominación *Lean Construction* fue adoptada por el *International Group for Lean Construction* (IGLC) en su primera reunión en 1993 (Issa y Alqurashi 2020).

Lean Construction ha cambiado la concepción de cómo gestionar las obras persiguiendo la maximización del valor y la minimización de los desperdicios en la construcción (Koskela et al. 2019). Hace falta cambiar la cultura de cualquier empresa, utilizando métodos diferentes (Barathwaj et al. 2017). Este concepto maximiza el valor del producto al eliminar los desperdicios. La metodología *Lean Construction* aumenta la productividad, mejora la comunicación, la coordinación de las tareas propias de la construcción y reduce o elimina los trabajos con baja calidad y que deberían ser corregidos o demolidos y ser hechos de nuevo; en resumidas cuentas, esta metodología ejerce una influencia muy positiva durante todo el proceso constructivo (Gunduz y Naser 2019).

Cada empresa constructora, con el tiempo, genera su propia cultura de construcción y su propia experiencia de cómo hacer las obras, pero *Lean Construction* produce cambios positivos en la manera de gestionar tanto internamente como en cada proyecto y obra, y consigue que los profesionales de la construcción adopten, proyecto a proyecto, prácticas *Lean* en el sector (Schimanski et al. 2021).

Para concluir este apartado dedicado a la metodología *Lean Construction*, se pone de manifiesto que el enfoque *Lean* en la construcción actualmente continua en fase de desarrollo, no solo a nivel de cuerpo teórico, sino aún más en cuanto a la aplicación práctica del mismo, lo que supone un fuerte estímulo para seguir aumentando la implementación de sus técnicas.

2.1.8 El Sistema del Último Planificador

2.1.8.1 Introducción

La mayoría de las obras, hoy en día, presentan la dificultad de poder cumplir con los plazos, establecidos normalmente por el promotor, y que son cada vez más ajustados. Actualmente, la mayoría de las empresas de construcción se enfrentan a dificultades para poder cumplir con los plazos de entrega cada vez más rigurosos que suelen establecer los promotores. Esta dificultad se atribuye principalmente a la incertidumbre y a la variabilidad, que produce pérdidas en cualquier obra debido a interrupciones en los procesos de producción (Lagos et al. 2024).

El Sistema del Último Planificador (SLP) busca eliminar o disminuir los efectos de la variabilidad en los proyectos de construcción, basándose en una planificación con distintos niveles de detalle que ha demostrado un resultado considerable en empresas constructoras de varios países (Pérez et al. 2022).

Ballard (2000) sugirió que si se mejora la planificación de la producción se puede aumentar la productividad en las obras. El proceso de realizar una planificación de cualquier proyecto o iniciativa debe seguir una estructura compuesta por diferentes niveles de planificación de menor a mayor detalle: un plan inicial o de hitos, un plan

intermedio para la preparación de las tareas y un plan semanal más un control de la semana vencida para conseguir un seguimiento del avance de la obra.

Estos diversos niveles de planificación están conectados entre sí, y mediante la liberación de una serie de restricciones o impedimentos que no dejan comenzar o realizar las tareas convenientemente, se determina semana a semana, el plan semanal que estará en consonancia con el plan general de la obra o plan inicial. El objetivo de la planificación de cualquier proyecto será garantizar que las tareas a cumplir estén en sintonía con lo propuesto en la planificación (Ballard y Tommelein 2016).

El seguimiento de la planificación semanal en el SUP se lleva a cabo mediante un indicador conocido como PPC (porcentaje del plan completado), que refleja la relación porcentual entre el número de actividades realizadas durante un período determinado, normalmente una semana, y las actividades que cada equipo de producción se había comprometido a completar (Lagos et al. 2023).

2.1.8.2 El concepto *pull* de la producción

En una secuencia cualquiera de trabajo, entre una actividad que empieza antes (que se ha llamado 1) y la actividad que empieza inmediatamente después y depende de la primera (que se ha llamado 2), pueden ocurrir tres cosas:

- Que las actividades (1) y (2) estén sincronizadas y avancen al mismo ritmo. Esta situación sería la ideal.
- Que (1) vaya más rápido que (2), con lo cual se generará sobreproducción.
- Que (2) vaya más rápido que (1), con lo cual se generarán esperas.

El Sistema del Último Planificador pretende minimizar o resolver esta problemática mediante la planificación *pull*, planificando del final hacia el principio del hito marcado. La traducción literal de los verbos en inglés *pull* y *push* son los verbos antónimos en español “tirar” y “empujar” respectivamente. En el siguiente apartado se desarrollará la aplicación de este concepto.

2.1.8.3 Niveles de planificación del Sistema del Último Planificador

Glenn Ballard y Gregory Howell en 1992 crearon el Sistema del Último Planificador, que conceptualiza la construcción de un proyecto como un proceso de transformaciones con un flujo de trabajo enfocado en crear el máximo valor para el cliente, lo cual consigue una disminución de los desperdicios.

Una planificación maestra establece el alcance, lo que debe llevarse a cabo. Sin embargo, no todas las acciones sugeridas pueden ser ejecutadas debido a ciertas restricciones que lo impiden. Solo al eliminar todas las restricciones se podrá llevar a cabo una actividad. El objetivo del SUP es lograr una planificación a corto plazo confiable libre de restricciones (Ballard y Howell 2003).

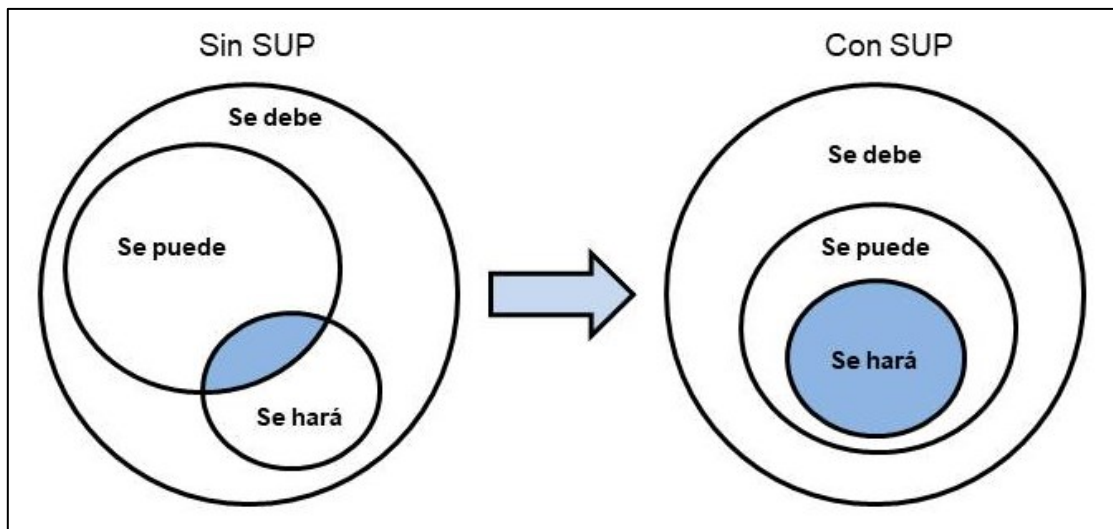
Según la figura 2.1, si la planificación se formula sin tener claro lo que se puede hacer, el trabajo efectivamente realizado será la intersección de ambos subconjuntos. Es fundamental reconocer que, debido a las restricciones que no se eliminan, no todo lo planificado será factible de ser ejecutado, lo que resultará en recurrentes retrasos

(Rodríguez et al. 2011). Los planificadores deben enfocar sus esfuerzos en eliminar las restricciones que obstaculizan el comienzo o el progreso de las tareas. Al ampliar el círculo del "se puede", se incrementarán las posibilidades del "se hará" (Pons 2018).

El SUP es una metodología de planificación y de control de la producción en las obras que pretende mejorar la relación entre las actividades que se deberían hacer, con las que se puedan hacer. Su propósito es proporcionar un flujo de trabajo confiable y facilitar un aprendizaje rápido a partir de los errores (Rodríguez et al. 2011).

De esta forma, se evitará que las tareas se interrumpan debido a alguna restricción no liberada, definiendo restricción como cualquier impedimento que afecte el flujo continuo de una actividad, tales como la falta de planos, carencia de materiales, problemas de calidad, condiciones de seguridad, protocolos, chequeos y controles (Retamal et al. 2020).

Figura 2.1. Círculos del “se debe, se puede, se hará”



Fuente: Adaptado de Rodríguez et al. 2011

Mediante la planificación y el control de la producción, el SUP pretende la mejora del cumplimiento de las tareas planificadas, al involucrar a todos los agentes en el proceso constructivo, buscando así una planificación más confiable (Ebbs y Pasquire 2018).

El SUP consta de una estructura jerárquica de niveles de planificación. La planificación inicial o maestra abarca todas las actividades del proyecto, identificando hitos, estableciendo tiempos de ejecución, actividades generales y los recursos necesarios para un desarrollo efectivo del proyecto (Lappalainen et al. 2023). El segundo nivel es la planificación intermedia, que crea un plan de trabajos más específico, indicando lo que puede realizarse en un periodo determinado, incorporando información actualizada sobre la situación de la obra y la posibilidad de la adquisición de los medios o los recursos necesarios. El tercer y último nivel de planificación consistirá en un plan a corto plazo, generalmente semanal, que proporciona el mayor nivel de detalle, seleccionando actividades sin restricciones y asignándolas de manera clara y específica a los responsables de su ejecución (Hamzeh et al. 2016).

El plan inicial y el plan de fases

En este nivel de planificación, el objetivo es clarificar el alcance y las expectativas del proyecto, así como identificar los hitos más importantes. Es esencial asegurar que todo el equipo comprenda de igual manera el trabajo a realizar, además de alinear los intereses y necesidades del proyecto (Ebbs y Pasquire 2018).

Tradicionalmente, existe una visión limitada sobre lo que se debe llevar a cabo al referirse a un plan inicial, y comúnmente se asocia con un diagrama de Gantt que abarca la totalidad del proyecto a construir. Sin embargo, un plan inicial integral basado en los principios *Lean* debe proporcionar al equipo de trabajo una comprensión común sobre los objetivos y entregables de la obra, permitiendo así un seguimiento adecuado de su evolución y alcance (Lappalainen et al. 2023).

Partiendo del plan inicial, que generalmente se presenta en forma de diagrama de barras o Gantt, el equipo del proyecto debe definir de manera precisa los hitos principales, de modo que los distintos individuos y grupos puedan alinear sus esfuerzos de manera efectiva (Schimanski et al. 2021).

De manera ideal, esta etapa inicial del SUP implica llevar a cabo una reunión para la elección de los hitos generales del proyecto en una etapa temprana, preferentemente entre dos y cuatro meses antes de comenzar la construcción del proyecto. Sin embargo, es importante señalar que esta práctica no siempre se puede llevar a cabo, ya que es factible que el equipo de subcontratistas no esté aún establecido; en la realidad, con frecuencia esta reunión se efectúa en una fecha muy cercana al comienzo de la obra o incluso después de que la obra ya se haya iniciado (Schimanski et al. 2021).

En esta etapa, es crucial reconocer las distintas fases que la obra atravesará, entendiendo que para cada una de ellas se deberá llevar a cabo lo que se denomina una planificación de fases (Alsehaimi et al. 2014).

En proyectos complejos que involucran numerosas actividades, el tradicional diagrama de Gantt puede resultar confuso para muchos de los miembros y partes interesadas del proyecto. Por ello, es esencial emplear otros formatos y representaciones que faciliten la comprensión del plan de trabajo y que transmitan de manera clara, visual y accesible los hitos fundamentales, entregas parciales y estrategias de la planificación (Castillo et al. 2016).

El plan inicial emanará de una primera planificación hecha por el jefe de obra y presentará las pautas de colaboración de todas las actividades que integran la obra. Este plan establecerá fechas para los objetivos definidos, es decir, definirá metas y permitirá identificar los hitos de control del proyecto (Howell y Koskela 2000).

La estructura fundamental de los trabajos se establece dividiendo la planificación en segmentos o áreas, definiendo las secuencias de sus actividades. El plan inicial debe reflejar la viabilidad de concluir la obra dentro del tiempo fijado, resaltar los hitos clave que requieren una preparación más exhaustiva, y formular estrategias para la buena ejecución de la obra (Pons y Rubio 2021).

Este nivel de planificación es esencial para garantizar que el SUP genere los resultados esperados. El plan inicial debe elaborarse de tal manera que represente con precisión el alcance real de la obra, dado que se supervisarán las actividades que evidencien la manera efectiva en que se trabaja (Castillo et al. 2016).

El propósito de este nivel de planificación también es especificar las tareas a realizar para culminar cada fase de la obra. Para ello, es crucial la participación de todos los responsables de cada actividad de la obra, de forma que comprendan y se coincida en los objetivos y las estrategias para llevar a cabo la fase que se esté planificando. Al concluir esta etapa de planificación, se tendrá una planificación de los trabajos respaldada por todos los profesionales participantes, en el que también se detectarán las restricciones más relevantes de la gestión de la obra (Echegaray et al. 2009).

Para llevar a cabo la planificación por fases, es común utilizar una técnica conocida como *pull session*, que se explicará a continuación.

La planificación *pull*:

La construcción ha seguido durante mucho tiempo un modelo de producción *push* (traducción directa de empujar al inglés), donde se impulsan tareas a lo largo del plan de producción sin certeza de su ejecución. Esto puede deberse a problemas comunes como la escasez de personal, la insuficiencia de información, la falta de materiales, la correcta conclusión de tareas anteriores y la disponibilidad del área de trabajo, entre otros factores. (Daniel et al. 2015).

Por el contrario, en el caso de una planificación *pull* (tirar), se solicita al equipo encargado de la actividad anterior que se comprometa con su ejecución. Este concepto ha sido explicado en el apartado 2.1.8.2, “el concepto *pull* de la producción”. El objetivo global de esta modalidad de planificación es proporcionar una visión comprensible del proyecto para que todas las partes involucradas comprendan el esquema de trabajo (Lagos y Alarcón 2020).

Dicha técnica permite la detección, en el momento más temprano, de las restricciones que poseen las actividades y cualquier asunto que impida el inicio o progreso de una actividad, además de señalar mejoras que faciliten una mayor comprensión del plan de obra. Se requiere la participación de todos los representantes de los subcontratistas para la fase que se desee planificar, especialmente si desde el inicio ya se prevé que no va a ser posible planificar el proyecto completo en una única reunión. En ciertos casos, puede ser beneficioso e incluso necesario involucrar al promotor y a la dirección de la obra (Hamzeh et al. 2008).

Será fundamental proporcionar la información y documentación del proyecto necesaria para que los participantes estén debidamente preparados para el día de la reunión (Pons y Rubio 2021): la descripción de las tareas, los hitos que se abordarán, las estrategias de planificación consideradas, las actividades principales contempladas, los volúmenes de obra, los rendimientos y las capacidades de los equipos, los planos, las especificaciones técnicas, los recursos críticos identificados, y cualquier información adicional relevante que puedan necesitar los participantes o sea solicitada por ellos (Hamzeh et al. 2008).

Durante la ejecución de las obras, se llevarán a cabo tantas sesiones *pull* o actualizaciones de las anteriores como sea necesario para asegurar el cumplimiento de los diferentes hitos intermedios y el plazo de entrega final (Schimanski et al. 2021).

En estas reuniones se utilizarán tarjetas tipo *Kanban* que se irán colocando, una a una, para formar un mural. A cada subcontratista, especialidad o responsable se le atribuirá un color específico de tarjeta. Estas tarjetas deberán ser completadas, especificando la actividad, el responsable de realizarla, el número de miembros del equipo de producción que desarrollarán la actividad, los impedimentos y limitaciones, las restricciones, que ya se detecten en ese primer momento, y la duración en días de la ejecución de cada actividad (Hamzeh et al. 2008). Cada subcontratista o especialista debe encargarse de rellenar y completar su propia tarjeta. Las actividades representadas en cada tarjeta no deberán tener una duración superior a los diez o quince días; en el caso de que una actividad supere esta duración se deberá dividir en dos tarjetas. En el mural confeccionado se identificarán tres secciones principales: la duración de las actividades, las áreas en el caso que las haya o se puedan distinguir, los equipos de producción o subcontratistas, y las actividades, tareas e hitos clave de las fases planificadas, definidas de una manera reducida pero muy clara para que cualquier participante en cualquier momento de la sesión pueda identificarla (Hamzeh et al. 2016).

Es aconsejable iniciar las sesiones *pull* con conversaciones acerca de las expectativas del proyecto y la introducción de los participantes, especificando el papel que desempeña cada uno (Mossman y Ramalingam 2021). Desde ese instante, se activará en mayor medida la participación de los asistentes a la reunión. Se incentivará un intercambio colaborativo entre el jefe de obra, el encargado, los capataces y el resto de proveedores y colaboradores para definir de forma clara las relaciones de dependencia entre las actividades, las limitaciones, los requerimientos, las oportunidades de mejora y la transferencia del avance de las obras de un subcontratista a otro. Cada una de estas restricciones, en particular aquellas que impacten en la ruta crítica, deberán ser detectadas y registradas en un documento que se podrá denominar “estado de las restricciones”. Este registro incluirá el nombre de la persona o entidad encargada de eliminar la restricción, así como las fechas en que se detectaron y se resolvieron (Ebbs y Pasquire 2018).

Durante una misma reunión, es posible llevar a cabo la planificación *pull* de múltiples hitos o áreas clave. Si no es factible en una sola sesión planificar la totalidad de la ejecución de la obra, se abordarán las fases pendientes en sesiones posteriores, dependiendo de la complejidad del proyecto (Mossman y Ramalingam 2021).

Realizar la planificación, retrocediendo del final hacia el principio (según el concepto *pull*), de la derecha a la izquierda de un mural hipotético, permitirá al equipo de planificadores considerar sus requerimientos y limitaciones de manera más natural. Al pensar las necesidades del final hacia el principio, se estimula el pensamiento creativo, superando hábitos, automatismos y vicios adquiridos con las diferentes experiencias de obras anteriores, de pensamiento en el momento de planificar (Koskela 2000).

Los integrantes de la sesión deben observar y comprender los flujos de trabajo y la planificación de sus compañeros, discutiendo lo que cada equipo de producción requiere del resto a medida que avanza la *pull session*. Este enfoque de planificación *pull* permite que el equipo aborde de manera explícita el volumen de trabajo que se puede o se debe realizar en cada momento y lugar (Ballard y Tommelein 2021). Además, brinda la oportunidad a los miembros del equipo de reconocer sus relaciones colaborativas. En ocasiones, actuarán como receptores del trabajo adquirido de la actividad anterior, y en otras se comportarán como proveedores, entregando el trabajo acabado al subcontratista siguiente, generando así una cadena de tareas y compromisos necesarios para alcanzar los establecidos (Pasquire 2012).

Es fundamental que los participantes de la sesión comuniquen los requisitos necesarios para la transición entre actividades. Esto supondrá identificar las condiciones que deben cumplirse antes de que la siguiente subcontrata inicie su labor, evitando así malentendidos entre las distintas partes y rupturas o interrupciones en el flujo continuo de la producción. Además, es crucial asegurar que todo este proceso se administre adecuadamente para contribuir a la anticipación y eliminación de los problemas y permitir al equipo tener cada vez más confianza en el plan confeccionado (Priven y Sacks 2013).

Un error muy común es llevar a cabo una planificación *pull* y dejar de realizar las posteriores revisiones o comprobaciones periódicas. Es necesario revisar estas planificaciones semanalmente para asegurar que, además de cumplir con los compromisos establecidos para la semana, la construcción del proyecto se mantenga dentro de los plazos y de los acuerdos establecidos en la planificación *pull* de cada fase (Ballard et al. 2009).

Por último, será imprescindible examinar la secuencia de los trabajos en su orden natural, de inicio a fin (de izquierda a derecha en el hipotético mural anteriormente mencionado) para verificar la secuencia lógica de la construcción, ajustar los tiempos de cada actividad según el plazo disponible, alcanzar el consenso entre todos los equipos de producción y garantizar el compromiso de llevar a cabo la planificación de la obra (Lagos et al. 2023).

La planificación intermedia

La planificación intermedia constituye un nivel de planificación del SUP que su función principal es preparar los trabajos potencialmente ejecutables, garantizando que las tareas a realizar sean ejecutables al identificar y eliminar las restricciones antes de que se conviertan en un factor limitante (Lagos et al. 2023).

Este nivel intermedio de planificación consiste en desarrollar un plan a medio plazo extrayendo información del plan inicial, que abarcará todas las actividades a llevar a cabo en un intervalo de entre cuatro y ocho semanas (lo que recibe el nombre de ventana de tiempo). La planificación intermedia se actualizará semanalmente, siempre identificando nuevas actividades para las semanas siguientes, lo que permitirá que el equipo de obra tome las acciones necesarias para asegurar que el trabajo esté preparado para ejecutarse en la semana planificada (Castillo et al. 2018). La planificación intermedia abarca un intervalo temporal a futuro, semana a semana, lo que permitirá obtener una visión más clara sobre las actividades que se llevarán a

cabo en ese período establecido. Para ello, es fundamental coordinar y gestionar todo lo requerido para que estas actividades se lleven a cabo, así como la preparación para su ejecución en el tiempo definido. Esto se logrará eliminando todos los impedimentos que afecten el desarrollo de las actividades planificadas para las semanas siguientes. Las actividades liberadas de restricciones formarán parte de un “inventario de trabajo ejecutable” (ITE), del cual se irán trasladando semanalmente las actividades preparadas, una vez corresponda su inicio inminente, a la planificación semanal (Ballard y Howell 2003).

La función primordial de este nivel de planificación es generar y gestionar la continuidad de los trabajos. Es esencial que el trabajo cuente con una secuencia ejecutable que prevenga los “tiempos de espera” entre los equipos de producción. El control sobre el flujo de trabajo implica la transferencia de tareas de un equipo de producción a otro. Este nivel de planificación asume la responsabilidad de dicho control (Ballard y Tommelein 2016).

La ventana temporal se seleccionará de acuerdo con las características específicas de cada proyecto, de las características particulares de la planificación y de los tiempos de respuesta para la obtención de los recursos. Ciertas tareas presentan largos tiempos de respuesta en su abastecimiento, lo que implicará un extenso lapso desde que se ordenan los recursos hasta que son recibidos. Estos tiempos de respuesta deben ser detectados en el primer nivel de planificación, la planificación inicial, para cada actividad que forme parte de este plan (Alarcón et al. 2014).

Las actividades se introducirán, semana a semana, en la ventana de tiempo y avanzarán hasta que puedan ser transferidas al ITE, siempre y cuando todas sus restricciones hayan sido resueltas y las actividades estén organizadas en la secuencia adecuada para su ejecución. Hasta que los planificadores no identifiquen y resuelvan todas las restricciones en cada actividad, no será posible su incorporación en el ITE. El objetivo es lograr un inventario de trabajos compuesto únicamente de actividades que sean realmente ejecutables sin obstáculos (Koskela et al. 2003).

Los planes de trabajo semanales se compondrán de las actividades del ITE, lo que incrementará la productividad de quienes reciben las órdenes para ejecutar dichas actividades, mejorando así la fiabilidad del flujo de trabajo para el siguiente equipo de producción (Retamal et al. 2020).

A continuación, se presentan los procesos específicos de la planificación intermedia (Retamal et al. 2020):

- la identificación de las actividades
- el equilibrio entre la carga de trabajo y la capacidad
- el sistema *pull*
- el análisis de las restricciones
- la conformación del ITE

La identificación de las actividades:

Consiste en la evaluación de la secuencia de las tareas y en el desarrollo minucioso de los métodos de ejecución. Aunque este aspecto se toma en cuenta durante la

implementación del plan inicial, este nivel de planificación resulta más oportuno para llevar a cabo dicha evaluación, dado que el nivel intermedio de planificación cuenta con mayor grado de detalle en comparación con el plan inicial. Este nivel de especificación de las tareas permitirá aclarar las restricciones que afectan a la realización de cada actividad en particular (Ebbs y Pasquire 2018).

De este proceso se consigue un grupo de actividades planificadas para un determinado periodo. Estas actividades estarán vinculadas a un grupo de impedimentos, cuya liberación determinará la posibilidad de la ejecución de cada actividad. Estos impedimentos llamados restricciones incluirán los requisitos previos y los recursos necesarios. A medida que se definan con mayor claridad los procedimientos constructivos a emplear para la realización de las actividades proyectadas, se podrán identificar más fácilmente y con mayor grado de acierto los problemas que puedan surgir para completar cada una de ellas. De este modo, se garantizará en mayor medida que las actividades no se vean interrumpidas por alguna restricción existente no resuelta (Ebbs y Pasquire 2018).

El equilibrio entre la carga laboral y la capacidad:

La carga laboral se refiere al conjunto de tareas y obligaciones que se asignan y que debe llevar a cabo un profesional concreto en un tiempo determinado. La capacidad, por su parte, es el trabajo que un equipo de producción puede ejecutar en un periodo específico. Lo óptimo es que la carga laboral asignada a un equipo de producción se ajuste perfectamente a la capacidad que el equipo posea para llevarla a cabo (Lagos et al. 2023).

La planificación intermedia crea un inventario de trabajo ejecutable, el ITE, formado por actividades que deben ser asignadas semanalmente a cada equipo de producción. Se necesita un cálculo estimativo de la carga de trabajo de todas las actividades del plan que llevará a cabo cada equipo de producción y de las posibilidades de cada uno para garantizar la terminación de los trabajos (Alarcón et al. 2008).

Sin importar la precisión del cálculo de la carga y de la estimación de la capacidad, ambos pueden experimentar variaciones. La capacidad puede ser ajustada para alinearse con la carga o viceversa. Un asunto habitual será que carga tendrá que ser adaptada para hacerla coincidir con la capacidad del equipo de producción debido a los retrasos o a las aceleraciones en el flujo de otros trabajos (Ballard y Tommelein 2016).

La armonización entre las demandas y las capacidades comenzará a abordarse durante la planificación intermedia. Sin embargo, en ese nivel de planificación solo se podrá tener una idea general sobre los recursos necesarios para llevar a cabo las tareas, sin especificar qué equipo particular en concreto será utilizado. Esta información se aclarará con total profundidad con la planificación semanal, lo cual hará imprescindible evaluar en la medida de lo posible este aspecto en los otros dos niveles de planificación anteriores (Ballard y Tommelein 2021).

El sistema *pull*:

Un compromiso colectivo a la hora de planificar fomentará la creación de una relación colaborativa entre el equipo de obra y los equipos de producción, los diversos subcontratistas cuyas propias actividades son interdependientes con otras, obligándose mutuamente a cumplir los compromisos establecidos. De esta forma, se produce el efecto *pull*, que como ya se describió anteriormente, consiste en aportar el trabajo completado desde los equipos de producción anteriores, especificando cantidad, momento y ubicación requerida (Ballard 2000).

Es la actividad sucesiva en la "cadena de suministros" o flujo de tareas la responsable de establecer el ritmo y demandar recursos, a diferencia de lo que acontece en el método tradicional, donde las actividades previas empujan la producción hacia las siguientes, lo cual genera ineficiencias y excesos, cuellos de botella, acumulación de inventarios y periodos de espera de los siguientes equipos de producción a entrar (Lappalainen et al. 2023).

Este es un sistema de regulación de la producción en el que las tareas posteriores (tanto en las mismas instalaciones como en otras distintas) emiten señales sobre sus requerimientos hacia las actividades anteriores dentro de la cadena de tareas, especificando qué trabajo debe ser realizado, la cantidad, el momento de comenzar y la duración, y el lugar en el que se requieren la realización de estas tareas (Koskela 2000).

Un sistema *pull* buscará suprimir el exceso de inventario y la sobreproducción. Se contrapone al modelo de producción tradicional *push*, que se basa en la producción con la mayor velocidad posible de las actividades en ejecución, moviendo o empujando a los equipos de producción al siguiente proceso sin considerar el ritmo de trabajo de dicho proceso siguiente. En cambio, un sistema *pull* sincroniza la producción entre equipos con la demanda efectiva, lo que implica que los productos se vayan fabricando únicamente cuando sean necesarios (Pasquire 2012).

El análisis de las restricciones:

Sobre cada actividad incorporada en la planificación intermedia, es esencial identificar las restricciones que obstaculizan su ejecución. Las restricciones más frecuentes en el ámbito de la construcción son (Pons y Rubio 2021):

- El diseño de las actividades que no esté bien definido ya sea debido a inconsistencias de especificaciones y planos, o por omisiones y modificaciones.
- Los materiales para llevar a cabo una actividad deben estar disponibles en la obra antes del inicio planificado de la misma.
- La disposición de la mano de obra que tiene que realizar los trabajos.
- Los medios auxiliares y el equipamiento necesarios para ejecutar una actividad en el momento adecuado.
- Los prerrequisitos, las tareas que deben ser completadas antes de que inicie una nueva actividad.
- Calidad, criterios de acabado, requeridos y evaluados posteriormente.

Para actividades especiales, pueden existir restricciones adicionales distintas a las mencionadas anteriormente, tales como inspecciones, autorizaciones, entre otras. En tales situaciones, es imprescindible incluir estas restricciones en el listado y llevar a cabo su correspondiente seguimiento para su resolución (Hamzeh et al. 2016).

Asimismo, a las tareas se le asignará un encargado de la ejecución y un vigilante de control del cumplimiento. Estos deberán eliminar los impedimentos asociados a la actividad para que se lleve a cabo conforme a lo planificado. También es aconsejable establecer las fechas propuestas de inicio y finalización de cada actividad (Hamzeh et al. 2016).

El objetivo principal del análisis de restricciones es examinar las razones por las cuales una actividad no puede llevarse a cabo, identificar las restricciones que impiden su ejecución y formular un plan que permita resolverlas (Bellaver et al. 2022).

El primer paso para eliminar las restricciones será el de una concienzuda revisión, que implica evaluar el estado de las actividades en relación con sus limitaciones y la posibilidad de su eliminación antes del día de inicio planificado, a partir de lo cual se podrá decidir si es conveniente adelantar o retrasar esas actividades con respecto al plan de obra inicial (Hamzeh et al. 2016). Este proceso permitirá identificar problemas con antelación, otorgando tiempo suficiente para solucionarlos y evitar demoras en el inicio planeado de cada actividad (Lagos y Alarcón 2021).

Es fundamental llevar a cabo los movimientos pertinentes para eliminar las restricciones en las tareas, de modo que logren iniciarse en la fecha establecida. La eliminación de restricciones estará profundamente conectada con los plazos necesarios de contestación de los colaboradores implicados en dicha tarea. Por esta razón, se tendrá que conocer el plazo de contestación posible que ofrezca el proveedor o subcontratista, el cual, como se mencionó anteriormente, debe ser inferior al intervalo, a la ventana de tiempo establecida en la planificación intermedia (Ballard y Tommelein 2016). Posteriormente, se deberá solicitar al proveedor, la certeza sobre el momento en que se dispondrá de los suministros requeridos para llevar a cabo el trabajo en el que se emplearán. Si es necesario, se podrá acelerar el proceso, lo que conllevará la incorporación de recursos adicionales para reducir los tiempos de respuesta (Ballard y Tommelein 2021).

El inventario de trabajo ejecutable:

Una vez que las restricciones de una tarea se hayan eliminado, esta se añadirá de inmediato a una lista de actividades que se podrán incluir en la planificación a corto plazo, la planificación semanal. Este listado se denomina “inventario de trabajo ejecutable” (ITE).

Si alguna tarea de la planificación semanal no puede llevarse a cabo, o si ciertas actividades se realizan antes de lo planeado, se ofrecerán otras tareas incluidas en el ITE, de modo que se podrá evitar posibles interrupciones de los equipos de producción, y no se verán obligados a realizar tareas al azar que se aparten de la secuencia planificada, lo que podría dar lugar a trabajos más costosos o defectuosos. Las actividades preparadas para ser ejecutadas deberán satisfacer los mismos

estándares de calidad que las actividades de la planificación semanal (Lagos et al. 2023).

Una vez que se haya actualizado el ITE, se procederá a realizar, semana a semana, la planificación semanal, que consistirá en seleccionar las actividades de la secuencia de trabajo planificada que estén contenidas en el ITE y que se podrán llevar a cabo en la siguiente semana venidera (Lagos y Alarcón 2021).

La planificación semanal

La planificación semanal es el nivel de planificación con el detalle más elevado que se presenta antes de la realización de las actividades. Es elaborada por los profesionales que participan de manera directa en la ejecución de las tareas. Esta planificación representa un compromiso que se limita únicamente a aquellas actividades que pueden ser realizadas, eligiendo solo aquellas que están incluidas en el inventario de trabajo ejecutable (ITE), seleccionando qué actividades se llevarán a cabo en la siguiente semana venidera desde el listado de las que es factible su ejecución (Bellaver et al. 2022).

El propósito de este nivel de planificación es realizar el seguimiento de los equipos de producción, consiguiendo de manera gradual actividades de mayor calidad mediante el aprendizaje constante y la puesta en práctica de las medidas correctivas (Bellaver et al. 2022).

Evaluación de la fiabilidad del plan:

La retroalimentación es un componente crítico en el SUP. Comprender las razones por las cuales no se logra el cumplimiento de la planificación semanal ayuda a optimizar el sistema. Para ello, el porcentaje del plan completado (PPC) funciona como un buen indicador del grado de la preparación de las actividades. El PPC representa la proporción de actividades culminadas durante la semana presente que fueron planificadas la semana anterior, en relación con el total de actividades previstas para esa semana. Cada tarea se da por completada únicamente si se ha llevado a cabo en su totalidad. Si no es así, se considera como no realizada. Si la actividad está totalmente ejecutada se le asignará un valor de “1”, y si no se pudo concluir según lo planeado, se le asignará un “0” (Hamzeh et al. 2016).

Después de identificar las actividades que no se completaron, se tienen que determinar las razones de no cumplimiento (RNC). El análisis de las RNC es una técnica para detectar los fallos en el sistema de planificación y adoptar las soluciones, ya que las RNC pueden ser causadas por la mano de obra, por la calidad de los materiales o otras causas que pueden ser internas o externas a la obra, además de posibles errores en la ejecución del trabajo o deficiencias a niveles organizativos o en los propios procesos constructivos (Pasquire 2012).

Entre las RNC más habituales en la planificación semanal se pueden señalar las siguientes: una planificación inadecuada, la falta de disponibilidad del sitio, planos incorrectos, escasez de mano de obra propia o subcontratada, problemas de diversa índole con subcontratistas, dificultades con proveedores, insuficiencia o mal funcionamiento de los medios auxiliares, bajo rendimiento de la mano de obra,

escasez de materiales, mala ejecución de las tareas, indefiniciones o modificaciones del proyecto, cambios en las prioridades, condiciones climáticas, falta de permisos, etc. Sea cual sea la razón del incumplimiento, lo crucial será aprender de ello para evitar, en la medida de lo posible, que se repita en el mismo proyecto y en el futuro (Lappalainen et al. 2023).

2.1.8.4 Las etapas para la implementación del SUP en una empresa constructora

El SUP, al ser una metodología que se adapta fácilmente a los procesos productivos en el ámbito de la construcción, permite obtener resultados de manera rápida, lo que hace que los empleados de la compañía puedan reconocer las ventajas de su adopción. La estrategia más eficaz para llevar a cabo una implementación exitosa de este sistema basado en la metodología *Lean* consiste en comenzar la implementación por un proyecto concreto y específico y, después de realizar las adaptaciones pertinentes a sus condiciones particulares, ampliar su aplicación proyecto a proyecto hasta conseguir hacerlo llegar a toda la organización. A medida que la implementación se desplaza de los proyectos hacia la alta dirección, será fundamental que las estrategias de apoyo y asistencia al sistema sean preparadas, coordinadas y comunicadas desde la gerencia o la dirección técnica hacia los diversos proyectos y a sus respectivos equipos de obra, culminando la implementación involucrando a todos los integrantes de la empresa.

Persuadir a un grupo considerable de trabajadores es una tarea muy compleja que requiere de un tiempo considerable, porque es fundamental conseguir que todos los empleados reconozcan y comprendan que el director o el gerente de la empresa y el resto del organigrama están igualmente comprometidos con esta metodología, motivándose e inspirándose mutuamente para alcanzar los resultados esperados (Ballard et al. 2009).

Las etapas de la implementación del SUP se corresponderán con los niveles de planificación explicados en los apartados anteriores a los que se añadirá una etapa preliminar: la formación y el entrenamiento del personal; esta etapa será crucial para llevar a cabo exitosamente el cambio de sistema de planificación dentro de la organización. Por tanto, las etapas identificadas serán (Pons y Rubio 2021):

- Etapa I: la formación y el entrenamiento de los empleados
- Etapa II: el plan inicial
- Etapa III: la planificación intermedia
- Etapa IV: el plan semanal

Dado que se trata de una nueva metodología de trabajo, se sugiere llevar a cabo una implementación del SUP de manera progresiva de manera que las distintas partes del sistema se irán incorporando poco a poco hasta alcanzar su total implementación. La implementación de las sucesivas etapas dependerá de la circunstancia en que se encuentren las obras en el momento de querer comenzar la implementación del sistema. Si las obras no han comenzado, se seguirá el orden propio del sistema. En cambio, si la obra ya está avanzada y en ejecución, se iniciará con la implementación de las etapas finales, mientras que la formación y el entrenamiento del personal se irán adaptando a cada contexto (Ballard y Tommelein 2021).

Etapa 1: la formación y el entrenamiento de los empleados

Para lograr una implementación eficaz del SUP, resultará esencial que un mando intermedio dentro de la empresa constructora adquiera una comprensión profunda de este sistema, su funcionamiento y su puesta en práctica. La gerencia de la empresa deberá respaldar a este mando proporcionándole asistencia a cursos donde pueda obtener un buen aprendizaje sobre la implementación y el funcionamiento del SUP. Durante cursos teóricos y talleres prácticos, el futuro formador podrá conectarse con otros profesionales planificadores que cuenten ya con más experiencia en el sistema en sus respectivas organizaciones, quienes podrán ofrecer orientación y recomendaciones sobre la implementación del SUP (Pons y Rubio 2021).

La formación de los empleados:

Uno de los procesos esenciales en la implementación del SUP es la formación, la cual aportará la teoría necesaria para que todo el personal sea consciente y comprenda los objetivos y los métodos para alcanzarlos. La formación es un proceso crucial para provocar un cambio no solo en la percepción de los implicados hacia la aplicación del sistema, sino también en la adopción de un nuevo enfoque laboral (Ballard y Tommelein 2016).

La formación se llevará a cabo en talleres organizados por la dirección de la empresa, bajo la supervisión de un formador planificador y deberán abarcar tanto la teoría como la práctica, para asegurar una mayor asimilación del contenido por parte de los asistentes. Para que la retención del conocimiento sea efectiva, será necesario, además de prestar atención y escuchar la teoría también se tendrá que aplicar, paso a paso, lo aprendido (Ballard y Howell 2003).

Los talleres tendrán que comenzar en el instante en que los equipos responsables de la obra se citen en reuniones para acostumbrarse a las especificaciones propias del sistema. Posteriormente, se deberán realizar breves presentaciones sobre los componentes del SUP a los nuevos miembros del equipo que se incorporen una vez iniciada la obra, antes de que comiencen a desempeñar sus labores, de tal manera que todo el personal se sienta involucrado en el reto que supone un cambio en la gestión y que de esta manera puedan sentir que comparten la misma meta (Retamal et al. 2020).

Cuando se presenten los motivos para realizar un cambio de gestión, en este caso en la manera de planificar las obras, de forma clara y sencilla, los participantes los comprenderán mejor, y al notarse y verse partícipes en estas acciones, aumentarán su disposición para aumentar la colaboración. De todas formas, no se puede pretender que, de la noche a la mañana, los participantes asimilen una nueva metodología para planificar su trabajo (Retamal et al. 2020).

El entrenamiento de los empleados:

El otro elemento crucial para alcanzar una buena implementación será el entrenamiento, que consistirá en poner en práctica la teoría aprendida durante la formación, y aplicar esos conocimientos sobre el SUP en el sitio de trabajo, en la obra.

Sin esta parte de la implementación del sistema, todo el empeño realizado en la formación será en vano (Ebbs y Pasquire 2018).

La formación será conducida por un formador responsable, quien se encargará de la implementación del SUP; sin embargo, el individuo a cargo de la puesta en práctica en cada proyecto será el jefe de obra, quien normalmente deberá contar con el apoyo de un asistente para que de este modo no se descuiden las responsabilidades tradicionales y se asegure un desarrollo adecuado de la obra (Pasquire 2012).

La formación se llevará a cabo siguiendo un protocolo en el que el jefe de obra asumirá el papel de entrenador. Los participantes de la formación (el encargado de obra, los capataces y los subcontratistas) deberán poseer la información más completa y relevante para abordar los momentos y las decisiones que tengan que ir resolviendo, dado que son los máximos responsables de las tareas particulares de la obra. El jefe de obra colaborará supervisando sus actividades, el método que aplican, proporcionando consejos que permitan mejorar la ejecución de las obras de acuerdo con la capacitación que vayan recibiendo. En lugar de simplemente ir impartiendo los conocimientos, el jefe de obra facilitará que el resto del equipo de obra aprenda la aplicación del sistema progresivamente partiendo de su propia experiencia (Pasquire 2012).

Etapas 2: el plan inicial

Encuentro inicial de coordinación:

Al comienzo de la implementación de cualquier sistema, es crucial familiarizarse con el equipo de profesionales que estará involucrado. Para ello, se llevará a cabo una primera reunión de toma de contacto con la nueva etapa que va a ser implementada. Esta será dirigida por el formador encargado de la planificación y para comenzar se proporcionará una breve descripción de los principios subyacentes al SUP, los componentes que lo forman y los parámetros que se pretenden obtener (Hamzeh et al. 2016).

El nivel de detalle facilitado en la explicación debe ser bastante elemental. No se enfatizará en los nombres de los componentes del SUP, aunque sí se explicará la naturaleza de cada uno. Se señalará que cada actividad presenta restricciones que pueden obstaculizar su ejecución y se deberá centrar la atención en monitorear las restricciones para superarlas y conseguir que las tareas se realicen en el día establecido. Se informará sobre los indicadores que se evaluarán y los resultados esperados. Dada la importancia de este indicador, se debe aclarar que el PPC está destinado a medir los compromisos adoptados para una planificación a corto plazo más precisa en beneficio de la mejora de la producción y que no se empleará como un mecanismo de control o castigo, ni para verificar si se puso suficiente empeño por parte de los trabajadores con la intención de sancionarles (Ebbs y Pasquire 2018).

El principal impedimento para realizar una implementación efectiva del SUP es el temor al cambio. Esta problemática se manifestará con síntomas como la falta de disposición para asumir responsabilidades, la resistencia a incluir a los proveedores y al resto de colaboradores en las reuniones semanales de planificación, o el rechazo hacia los componentes del SUP y su aplicación en la obra. La estrategia consistirá en

introducir gradualmente los conceptos del SUP, de manera que los trabajadores los vayan aplicando y aprendiendo, impartiendo acciones que faciliten la implementación de los distintos elementos del sistema (Xiaosheng y Hamzeh 2020).

Cada proyecto se revisará de manera más concreta y se establecerán los procedimientos para llevar a cabo las distintas tareas dentro del plazo fijado. Se coordinarán los recursos humanos, se organizarán los recursos materiales, la utilización de equipos auxiliares y maquinaria, y se precisarán aspectos fundamentales para la construcción, con el fin de evitar decisiones improvisadas que puedan impactar en el avance de la obra (Xiaosheng y Hamzeh 2020).

De esta forma, se podrán establecer los hitos del proyecto, se gestionarán las secuencias de trabajo y se tomarán todas las decisiones necesarias para llevar a cabo el proyecto conforme a los plazos estipulados y los requerimientos del cliente. En esta reunión será indispensable la participación del formador planificador, del jefe de obra, del encargado, del responsable de las adquisiciones, para coordinar las compras y las entregas de los materiales, y a ser posible, también la de los subcontratistas (Alsehami et al. 2014).

Es fundamental resaltar que no se pretende imponer las tareas a realizar cada semana, sino que se requiere el compromiso de todos los involucrados y la capacidad de decisión cuando una actividad planificada no pueda llevarse a cabo, con el fin de lograr una planificación confiable y transparente (Alsehami et al. 2014).

Análisis de la planificación inicial:

La planificación inicial abarcará el alcance, “lo que se debe realizar”; las decisiones cruciales que se tomarán en la obra por los profesionales responsables (Alarcón et al. 2014). Como se mencionó en apartados anteriores, mediante un enfoque de planificación *pull* se obtendrá una perspectiva global del alcance del proyecto, asegurando que todos los participantes interpreten y sean conocedores de las tareas a realizar en la consecución de la obra (Hamzeh et al. 2016).

El planificación inicial o plan maestro debe elaborarse considerando los rendimientos específicos de cada subcontratista para las distintas actividades a llevar a cabo, valorando tanto la ejecución como la viabilidad de su realización (Hamzeh et al. 2016).

La identificación de hitos:

Un aspecto crucial en el análisis del plan inicial es la identificación de los hitos que servirán para supervisar la ejecución de la obra, los cuales facilitarán el cálculo y estimación de los tiempos de consecución de cada uno de ellos durante la ejecución de las obras. Estos hitos serán útiles para comprobar la eficacia de la planificación y se podrán ajustar las estrategias o el replanteo de las actividades para anticiparse a su incumplimiento de plazo de entrega marcado (Castillo et al. 2016).

Los hitos serán establecidos conforme a ciertos criterios que deberán ser detallados por los responsables de la planificación. La elección de estos hitos ayudará a realizar un control más efectivo de la consecución total de la obra y una mejor organización durante su ejecución. Para decidir el día de cumplimiento de un hito, será fundamental

evaluar la viabilidad de su cumplimiento y explorar los procesos que facilitarán alcanzar los compromisos pactados (Xiaosheng y Hamzeh 2020).

Etapa 3: la planificación intermedia

La planificación intermedia constituye el segundo nivel en la propia jerarquía del SUP y destaca las actividades que deben llevarse a cabo en el corto plazo, con el propósito de establecer un horizonte de planificación, buscando anticipar los problemas que puedan surgir al intentar ejecutar una actividad en la fecha prevista. El período llamado ventana de tiempo establecido para preparar estas tareas dependerá de la rapidez de respuesta de los proveedores y los subcontratistas (Pasquire 2012).

Definición de la ventana de tiempo:

La ventana de tiempo se refiere al periodo durante el cual se evaluarán las restricciones que las actividades puedan tener para su realización, permitiendo así su liberación con la debida antelación. Una vez finalizada la semana actual o presente, se incorporará una siguiente semana, permaneciendo constante el número de semanas de la ventana temporal (Ebbs y Pasquire 2018).

Para establecer el número de semanas que abarcará la ventana temporal, será fundamental examinar las diferentes gestiones de las adquisiciones del proyecto. Ciertas tareas presentan periodos de preparación y respuesta prolongados, lo que implicará un extenso intervalo desde el momento de la solicitud de los recursos hasta su recepción. Por ejemplo, si algún proveedor tiene un periodo de respuesta de seis semanas, será necesario que la ventana de tiempo esté fijada en seis semanas como mínimo durante toda la obra. Estos intervalos de resolución deben ser detectados y determinados en el plan inicial, abarcando cada tarea que forma parte del plan inicial (Xiaosheng y Hamzeh 2020).

En el contexto de un proyecto típico, la ventana de tiempo podrá oscilar entre cuatro y ocho semanas que se deben contabilizar desde el principio hacia el final de la obra, por tanto, la semana 1ª será la más inmediata en el tiempo. Será esencial mantener un número constante de semanas, por lo que, al finalizar una semana, deberá ser añadida la siguiente semana a la planificación para asegurar que siempre se cuente con el mismo número de semanas para realizar este tipo de planificación (Pasquire 2012).

Reuniones de organización y planificación:

Las reuniones de organización deben llevarse a cabo semanal o quincenalmente, según las condiciones del proyecto y el estado de la obra, e incluirán la participación del formador planificador, el jefe de obra, el encargado, los capataces y, de ser posible, los subcontratistas y proveedores. En estas reuniones se discutirán y comprobarán aspectos cruciales para el avance de la obra, tales como la planificación a largo plazo, las deficiencias o las malas ejecuciones y otros problemas que, por ejemplo, solo puedan ser resueltos por la dirección del proyecto (Lappalainen et al. 2023).

Es vital que el día y la hora establecidos para estas reuniones se mantengan en el tiempo y sean cumplidos rigurosamente con puntualidad como un reflejo del

compromiso de todos los participantes con la implementación del SUP (Hamzeh et al. 2016).

Definición de actividades y responsables:

Al elaborar este nivel de planificación, es crucial que las tareas recién incorporadas estén claramente definidas, incluyendo sus respectivas duraciones, fechas de inicio y finalización, así como cualquier dato necesario para realizar un análisis de las restricciones sin omisión de información. Esto permitirá identificar los materiales, la maquinaria o la mano de obra requeridos para su ejecución. Este aspecto es fundamental, ya que proporcionará un detalle que facilitará la identificación de los impedimentos para llevar a cabo una actividad específica, lo que en el argot del SUP se ha venido llamando como las restricciones (Schimanski et al. 2021).

Se designarán a las personas responsables de organizar el desarrollo de cada tarea, lo que permitirá hacer un buen seguimiento de su progreso. Es aconsejable que el responsable sea quien ejecute directamente cada actividad, dado que es quien tiene el conocimiento más profundo sobre la misma (Ebbs y Pasquire 2018).

Equilibrio entre la carga y la capacidad de trabajo:

El objetivo principal de equilibrar la carga y la capacidad es que la carga de trabajo planificada no exceda la producción máxima que pueda desarrollar la mano de obra, ni de la adquisición de los materiales disponibles, ni de la disponibilidad de la maquinaria (Schimanski et al. 2021).

Habitualmente, se asigna una carga de trabajo a cada equipo de producción en función de los promedios históricos más favorables disponibles dentro de la empresa, aunque estos datos suelen incluir un alto nivel de pérdidas. Al comenzar con el nuevo sistema de planificación, esta técnica puede ser utilizada, ya que no existen otros datos más confiables al respecto en ese momento; sin embargo, a medida que se obtengan nuevos resultados, estos retroalimentarán el conocimiento y se irán empleando para los nuevos y sucesivos cálculos futuros de carga. Un aspecto relevante es que esta retroalimentación se realice con datos reales específicos de la empresa, obtenidos en las propias obras, utilizando rendimientos reales, lo que asegurará la fiabilidad de las planificaciones al organizar los recursos propios y externos de manera óptima (Lappalainen et al. 2023).

A pesar de que las estimaciones de carga y capacidad puedan ser muy precisas, es posible ajustar la carga para equipararla a la capacidad y viceversa. Considerando las ventajas de mantener una productividad constante, se podrá ajustar la carga de trabajo según la capacidad de los equipos de producción. Sin embargo, esta no será la situación cuando existan urgencias por entregas hitos planificados en plazos específicos. La carga de trabajo podrá ser ajustada para equilibrar la capacidad de producción debido a las fluctuaciones en el ritmo de trabajo, los retrasos o las aceleraciones. Un sistema pull contribuye a la optimización y nivelación de la carga de trabajo, ya que los equipos de producción podrán indicar y orientar sobre sus necesidades, ajustando sus solicitudes para conseguir el cumplimiento y la entrega de las actividades planificadas en el tiempo previsto (Pasquire 2012).

Es fundamental transmitir a los subcontratistas la relevancia de cumplir los plazos establecidos y el fomentar el compromiso con la transformación que en las obras se estará implementando, logrando que por su parte ayuden a mantener un equilibrio adecuado entre la carga de trabajo y su capacidad de producir, par, de esta manera, si fuera necesario, quieran incrementar dichos parámetros para alcanzar el progreso requerido (Ebbs y Pasquire 2018).

Evaluación de restricciones y asignación de responsables:

Llevando a cabo un examen estricto de las restricciones, una vez que las tareas del periodo asignado, la ventana de tiempo, estén determinadas, se deberán identificar todos los obstáculos e impedimentos a los que dichas tareas se puedan enfrentar para su realización, (Schimanski et al. 2021).

La liberación de las restricciones implicará marcar directrices, cumplir con prerequisites o conseguir los recursos involucrados. Las restricciones que liberar más frecuentes serán la disponibilidad del sitio, de los materiales, del personal, de las definiciones, de los equipos y herramientas, de la ejecución inadecuada del trabajo, de las actividades anteriores no culminadas, solicitudes, supervisiones, concesiones y verificaciones, entre otras.

Si durante la reunión semanal no se dispone de suficiente tiempo para realizar una correcta y completa gestión de las restricciones, se deberá buscar un tiempo o una nueva reunión específica para tratar estos asuntos dada su vital importancia para el buen funcionamiento del SUP. Por tanto, el tiempo destinado a este análisis de los diversos impedimentos deberá ser el suficiente, y se podrá agendar un nuevo encuentro incluso en la misma semana, dado que es fundamental este paso para asegurar el éxito en la implementación del SUP (Castillo et al. 2016).

Inventario de trabajo ejecutable:

Las actividades serán incorporadas en la planificación intermedia durante la primera semana venidera, teniendo aún por delante el resto de semanas de la correspondiente ventana de tiempo para ser liberadas de todas las restricciones. La gestión de estas restricciones irá avanzando progresivamente, semana tras semana, hasta que las actividades que consigan liberarse completamente de ellas puedan ser incorporadas al ITE, el inventario de trabajo ejecutable, pero solo si todas las restricciones han sido resueltas y se encuentran en un orden adecuado, y la probabilidad de consecución de estas actividades es muy alta. En el caso de que todavía existiera alguna restricción en alguna de estas tareas, no podrían llevarse al inventario y tendrían que seguir en el registro de tareas con restricciones hasta lograr liberarlas. Desde este ITE es desde donde se trasladarán las tareas al plan a corto plazo o plan semanal para su realización.

Se puede dar el caso de que, durante el análisis de las restricciones de cada tarea, que se llevará a cabo durante la planificación intermedia, podrían identificarse más actividades sin restricciones que las que se incluirán en la planificación semanal inmediata. Entonces, si alguna actividad en la planificación semanal durante la semana en curso no pudiese ejecutarse, sin importar el motivo, o si se llevan a cabo ciertas actividades antes de lo previsto, se podrán asignar e incorporar al plan semanal

estas actividades sin restricciones incluidas en el ITE para evitar que los equipos de producción sufran retrasos o esperas o permanezcan inactivos. Estas actividades serán fundamentales para ayudar a mantener un flujo de trabajo estable. Estas actividades, que podrían llamarse suplentes y que estén listas para ser ejecutadas, deberán cumplir con los mismos estándares de calidad que las actividades planificadas en un principio para ser ejecutadas en la semana (Ebbs y Pasquire 2018).

Etapas 4: la planificación semanal

El SUP considera a los encargados y a los capataces como unos de los máximos responsables de la planificación, dado que son quienes gestionan de manera directa la ejecución de las obras y tienen la responsabilidad de identificar el orden de las actividades a realizar. La planificación semanal debe presentar un nivel de detalle muy elevado antes del inicio de cualquier trabajo. Quienes llevarán a cabo el plan a corto plazo o plan semanal normalmente serán el encargado y el jefe de obra; estos tendrán que verificar las tareas que se completaron y las que no, y tras calcular el porcentaje del plan completado (PPC), serán los responsables de reorganizar las tareas que no se pudieron ejecutar o que no se completaron totalmente la semana anterior, incorporándolas a la nueva semana (Lappalainen et al. 2023).

Las reuniones de organización tienen como objetivo reunir a todos los responsables de la ejecución de tareas con el fin de acordar qué actividades se planificarán para la semana siguiente, lo que facilitará un compromiso total para su desarrollo. Asimismo, se examinarán las razones por las que cualquier actividad no fue concluida, lo que permitirá evitar los mismos errores más adelante en el futuro (Lagos et al. 2023).

El jefe de obra deberá comunicar al encargado, a los capataces y demás subcontratistas sobre el día y la hora fijados para la siguiente reunión semanal. Es preferible que este momento del día sea constante durante la obra cada semana dando de esa manera prioridad a esa reunión frente a las demás para brindar la atención necesaria y reflejar el compromiso establecido con la implementación (Hamzeh et al. 2016).

La reunión semanal debe ser concisa y abordará los aspectos clave según un guion establecido por el jefe de obra. Se debe elaborar un documento de planificación con las tareas asignadas a cada responsable de los equipos de producción, el cual se entregará durante la reunión; se analizarán individualmente las actividades a realizar para evaluar su viabilidad de ejecución en la obra, siendo ellos los responsables de aprobar las actividades para su inclusión en la planificación semanal. Se revisará lo ejecutado la semana vencida, se calculará el valor del indicador PPC, y se justificarán y se comenzarán a resolver las razones de no cumplimiento (RNC) de las tareas no finalizadas (Lagos et al. 2023).

Estas reuniones darán lugar a conversaciones sumamente productivas para todos los participantes, ya que se abordarán los problemas que hayan surgido a lo largo de la semana y se evaluarán las soluciones ya implementadas y las nuevas a implementar. Al colaborar y analizar la planificación sugerida y proponer modificaciones de acuerdo con lo que consideren viable, los participantes desarrollarán un sentido de compromiso que les permitirá sentirse más integrados en todo el proceso (Schimanski et al. 2021).

Con la valoración de la semana vencida y teniendo en cuenta el ITE elaborado para la semana próxima, cada uno de los planificadores presentará las actividades planificadas para esa semana, y se llevará a cabo un análisis de las tareas que se ejecutarán, examinando la secuencia, equilibrando la carga de trabajo y la capacidad de producción con los responsables de cada tarea, además de verificar si la labor seleccionada es la apropiada. A ser posible se establecerán actividades que estarán reservadas para eventualidades y de esta forma se asumirán los compromisos semanales con el equipo de la obra (Priven y Sacks 2013).

En cada reunión semanal, se deberá abordar de manera abierta la planificación intermedia, el inventario de trabajo ejecutable (ITE) y finalmente la planificación semanal, sin que el formador planificador o el jefe de obra impongan sus órdenes. Este enfoque contribuirá a que los participantes de la planificación de la obra se sientan más involucrados (Lagos y Alarcón 2021).

La planificación semanal se compondrá de una selección de actividades contenidas previamente en el ITE. Se elegirán las tareas que se tengan que ejecutar en la próxima semana basándose en lo que se sabe que puede ser realizado. Solo estas actividades serán incluidas en la planificación a corto plazo, lo que contribuirá a mantener un flujo de producción con menor incertidumbre y variabilidad, estableciendo un flujo más confiable para los equipos de producción (Lappalainen et al. 2023).

La descripción minuciosa de las actividades o de las tareas facilitará una mejor comprensión de estas por parte de quienes las ejecutarán, lo que contribuirá a conseguir la finalización total de dichas actividades y, en consecuencia, incrementará el PPC semanal.

Los asistentes a la reunión del plan a corto plazo consensuarán las actividades del ITE que desean llevar a cabo en la próxima semana, asignando a cada tarea un responsable. Este profesional adoptará el compromiso de obtener los recursos y tener su actividad lista según las decisiones y los compromisos adoptados en la planificación establecida. De esta manera, las tareas que se registren en la planificación a corto plazo representarán efectivamente lo que se va a realizar (Priven y Sacks 2013).

Un aspecto fundamental en la planificación semanal será el grado de compromiso que manifiestan los equipos de producción hacia la aplicación del SUP. En la medida en que no haya un verdadero compromiso por su parte, no tendrá sentido esforzarse por poner en práctica este sistema, dado que se fundamenta en este principio de colaboración de todas las partes. Será crucial verificar si la persona encargada de realizar la actividad posee las competencias necesarias para llevar a cabo el trabajo, en lugar de imponerle una tarea sin determinar su capacidad para cumplirla. La imposición de una actividad puede hacer que la persona responsable no se sienta parte del equipo, lo que afectará negativamente a la consecución del sistema (Lagos et al. 2023). La finalidad es garantizar que el profesional responsable de la ejecución del trabajo adopte el compromiso de realizarlo y, en caso de que considere que no podrá cumplir por alguna razón, lo comunique adecuadamente con la suficiente antelación. La responsabilidad adquirida que asume al afirmar que podrá realizar una actividad no tiene como propósito señalarlo ni llamarle la atención en caso de que no complete la tarea al final de la semana; en cambio, el objetivo es fomentar un mayor

grado de compromiso, ya que entenderá que sus decisiones impactan no solo en sí mismo y en su trabajo, sino también en toda la cadena de producción que depende de su contribución y que requiere de la terminación y entrega de la tarea a la que se ha responsabilizado cumplir (Lappalainen et al. 2023).

Por otra parte, para evaluar la fiabilidad de la planificación, es necesario establecer ciertos indicadores que sean medidos por el jefe de obra y el formador de la implementación del SUP. Los indicadores servirán para evaluar la influencia que tiene el SUP en la ejecución de la obra y en su resultado (Lagos y Alarcón 2021).

Todos los indicadores analizados semanalmente serán documentados para posteriormente compilar estadísticas con los datos sobre la evolución que haya transcurrido a lo largo de la obra. Es fundamental evaluar lo ejecutado de cada planificación semanal para determinar su fiabilidad y verificar si la implementación está suponiendo mejoras. Esto implica comparar las actividades que deberían llevarse a cabo conforme a la planificación a corto plazo con las que efectivamente se realizaron, demostrándose de esta manera, semana a semana, la confiabilidad del SUP (Lappalainen et al. 2023).

La evaluación del PPC se llevará a cabo para cada actividad planificada. Una vez que se finalice el trabajo, se asignará un “1” a la actividad que se haya completado en su totalidad y un “0” a aquellas que no alcancen esa meta. Se contarán todos los resultados y se dividirán por la cantidad total de actividades planificadas. La evolución del PPC se podrá ilustrar en un gráfico, permitiendo analizar la variabilidad durante la ejecución de la obra. Esta evaluación brindará la oportunidad de reflexionar sobre el grado de acierto de los planificadores (Lagos y Alarcón 2021). El cálculo del PPC ha sido definido con todo detalle en apartados previos.

Al ser más autocríticos los participantes de la obra, los fallos podrán corregirse con mayor facilidad. Las razones de no cumplimiento (RNC) se localizarán y se clasificarán asignadas a causas predefinidas que faciliten la detección de razones para no ejecutar las actividades y para abordar estas situaciones de inmediato, evitando así que se transformen en “cuellos de botella” que generen retrasos acumulativos. Si esta identificación y documentación no se efectúan con seriedad, se incrementará la probabilidad de que estas razones vuelvan a suceder en un corto plazo. El registro de las RNC debe completarse con una descripción que explique el motivo real, de modo que los participantes de la planificación puedan implementar las soluciones necesarias para prevenir futuros errores en la ejecución (Lagos et al. 2023).

Realizar un buen análisis semanal de las RNC permitirá identificar las causas y las razones detrás de la falta de acierto en la planificación, ya que un motivo detectado en un primer momento podría ser el efecto de otras cuestiones en un primer momento pasadas por alto. Por tanto, la razón no será siempre por restricciones sin resolver, sino que también podrán ser el resultado de actitudes o falta de cumplimiento de compromisos de los participantes, entre otros factores. Estas causas requerirán la intervención urgente de la dirección de la empresa, dado que indicarán que las motivaciones, los estímulos y alicientes en un primer momento propuestos para comprometer a los trabajadores no estarán dando los resultados esperados o será que

han quedado desactualizados, lo que sugerirá la necesidad de renovar y desarrollar nuevas directrices motivacionales alternativas (Lagos et al. 2023).

2.2 Revisión de la literatura del Sistema del Último Planificador

Mediante una revisión del estado del arte se identificaron y se analizaron los estudios realizados por otros investigadores en torno al Sistema del Último Planificador (SUP) y a todo lo que tenía que ver con su implementación. Con el fin de mantener actualizado el estado del arte durante toda la investigación, se realizaron sucesivas iteraciones del proceso de revisión, en concreto hasta el 30 de junio de 2024, de manera que, la literatura encontrada interactuó con la investigación desde el inicio hasta un momento muy avanzado de la misma, es decir en todas sus partes, provocando modificaciones incluso en su diseño.

Seguidamente se podrá observar cómo la investigación académica existente analiza la mejora del cumplimiento de las variables de resultado referentes al coste y al plazo de entrega de las obras, con la implementación del SUP en comparación con los sistemas tradicionales de planificación y control habitualmente utilizados por las empresas constructoras, explicando las causas y los problemas encontrados (Yu et al. 2019; Kabirifar y Mojtahedi 2019).

2.2.1 Visión actual de la producción en la construcción

La construcción es altamente compleja ya que implica la colaboración de múltiples agentes para llevar a cabo actividades que requieren un uso intensivo de recursos, especialmente mano de obra, que constituyen actividades altamente interrelacionadas y con planificaciones de actividades que se extienden a lo largo de varios meses, incluso años (Brissi y Debs 2019; Lagos et al. 2022).

Algunos investigadores llevan estudiando mucho tiempo cómo la incertidumbre dada en las obras genera una variabilidad mayor que en otros sectores y cómo afecta negativamente en la dinámica de la construcción y provoca una tendencia de desviaciones en el alcance, del coste y del plazo en las obras si no se controlan adecuadamente (Grau et al. 2019; Gómez-Cabrera et al. 2020; Przywara y Rak 2021). Con unas condiciones tan cambiantes, la incertidumbre y la variabilidad aumentan considerablemente, lo que afecta de manera significativa al desarrollo y a la entrega de las obras (Araya 2020).

Tradicionalmente, los jefes de obra seleccionan un enfoque de gestión utilizando unos planes iniciales altamente detallados y un control de la planificación mediante sistemas orientados a los resultados, fundamentalmente el coste y el plazo (Kim y Ballard 2010). Sin embargo, algunas investigaciones han demostrado que el uso de planes fijos, la falta de colaboración entre los distintos agentes, la escasa participación de los proveedores y de los subcontratistas en las actualizaciones de las planificaciones y la escasez de indicadores orientados a procesos, impiden que los equipos de obra saquen partido de las oportunidades de una mejor planificación para abordar el problema de la incertidumbre y la variabilidad (Kim y Ballard 2010; Lagos et al. 2022).

Muchos autores han criticado la capacidad de los métodos tradicionales para gestionar de manera eficiente los proyectos de construcción para evitar o reducir la variabilidad

en las obras (Ballard y Tommelein 2016). Se utilizan planes muy detallados con holguras de tiempo preestablecidas para hacer frente a la incertidumbre, y se emplean indicadores orientados a resultados de desviaciones de coste y de avance de obra tomando como referencia el presupuesto contractual inicial y el plan de obra previsto (Koskela et al. 2003). Esta falta de indicadores orientados a procesos puede conducir a una mala gestión debido a decisiones tardías y acciones correctivas implementadas de manera ineficaz (Lagos y Alarcón 2020).

La visión tradicional de la producción en la construcción establece que los avances de obra sólo se consiguen a través de la transformación de los suministros y de la mano de obra (Koskela et al. 2003). En consecuencia, el proyecto se puede dividir en varias transformaciones cada vez más detalladas según las limitaciones de los recursos y los objetivos del proyecto para obtener un plan de obra que refleje el importe de la producción necesaria para completar la obra en un plazo y un presupuesto determinados (Koskela 1999). Mediante planes de obra muy detallados se representa la mejor secuencia posible de la ejecución de las actividades de transformación (Lagos y Alarcón 2020). Dado que los buenos resultados se logran al completar estas transformaciones, la atención de la gestión de los jefes de obra se centra en ejecutar las actividades de la manera más eficiente posible; en otras palabras, completar el alcance del proyecto lo más rápidamente posible y con el menor consumo de recursos (Howell y Koskela 2000).

La gestión tradicional de proyectos de construcción, basada en la transformación de los recursos, parte del supuesto de que los planes de obra deben ser invariables siempre que se cumplan los presupuestos. Dado que, como ya se ha dicho anteriormente están orientados a los resultados, la mayoría de los indicadores de control o indicadores clave de rendimiento utilizados miden el grado de cumplimiento del avance de obra y la desviación del coste planificado (Power y Taylor 2019). Se hace un seguimiento del cumplimiento del presupuesto contratado y del plazo midiendo la desviación del coste y del plan de obra, que se obtienen de la planificación inicial del proyecto y se comparan con el presupuesto final, el plan de obra y el coste real (Laakkonen 2023).

Este tipo de gestión de proyectos presenta tres limitaciones. En primer lugar, los indicadores orientados a resultados pueden ocultar variaciones en el plan de obra, ya que el dato obtenido por todas las actividades del proyecto se agrega en un solo indicador, promediando y compensándose así la variabilidad de las diferentes actividades. En segundo lugar, estos indicadores necesitan de desviaciones significativas para que se manifiesten o queden reflejados en el plan de obra o del coste planificado para poder alertar sobre la necesidad de una acción correctiva. Y en tercer lugar, las estimaciones de las duraciones esperadas y del presupuesto son menos precisas en las primeras etapas de la construcción del proyecto cuando la incertidumbre es mayor (Alarcón et al. 2014), y los márgenes estimados pueden ser insuficientes si no se ajustan con datos más concretos (Laakkonen 2023). Por lo tanto, algunos autores han recomendado que se complementen con indicadores orientados a procesos, como son los indicadores de cumplimiento de lo planificado o la variabilidad de la producción (Alarcón et al. 2014; Arditi y Gunaydin 2019).

A lo largo de los años, muchos autores han abordado las causas de las desviaciones de coste y plazo de los proyectos de construcción (Assaf y AlHejji 2006; Arditi y Gunaydin 2019). Algunos estudios han descubierto que entre el 50 y el 70% de las obras experimentan sobrecostes que van del 10% al 30% (Assaf y AlHejji 2006; Ullah et al. 2017). Otros estudios basados en entrevistas y encuestas han encontrado más de 70 causas empíricas de desviaciones de coste y del plazo de entrega de las obras (Akinsiku y Akinsulire 2012; Sambasivan y Soon 2007), agrupadas en nueve grandes categorías: la inexperiencia, las interdependencias, la falta de recursos, la productividad, el diseño, la financiación, la mala planificación, la falta del cumplimiento de los subcontratistas y la débil comunicación (Sambasivan y Soon 2007). En algunos marcos teóricos basados en revisiones de la investigación académica sobre las causas de las desviaciones, se encontró que las principales causas se corresponden en gran medida con las categorías antes mencionadas, involucrando en esta problemática a promotores, proyectistas, constructoras, subcontratistas y proveedores de los diferentes recursos (Ullah et al. 2017).

La mayoría de los indicadores de control de la construcción se basan en la cantidad de trabajo realizado, la eficiencia y la eficacia en el logro de los objetivos, mientras que pocos indicadores se centran en la cantidad, la composición y el impacto de los problemas recurrentes, lo que ayudaría a detectar y prevenir las desviaciones de coste y de plazo en la entrega de las obras (Hamzeh et al. 2019; Samad et al. 2017; Lagos et al. 2020).

Los jefes de obra se enfrentan con limitaciones al planificar las obras debido a la complejidad y a factores internos o externos que pueden causar las variaciones de la planificación, como la financiación, los suministros, la mano de obra o la productividad (Howell et al. 1993). La respuesta o solución tradicional para gestionar la incertidumbre ha sido colocar holguras entre las actividades, es decir, permitir que ocurra una variación determinada de tiempo o de coste sin que llegue a afectar al plan aparente de obra (Ballard 2000). De esta forma la variabilidad aumenta a lo largo del avance de las obras y estas holguras de tiempo la absorben e impiden su detección en un primer momento hasta que las desviaciones son muy significativas respecto del plan de obra (Zegarra y Alarcón 2017).

Un control sistemático basado en indicadores clave de rendimiento es fundamental para prevenir desviaciones de coste y ajustar los planes de obra (Chan y Chan 2004). Como se ha comentado, el control tradicional en las obras utiliza indicadores orientados a resultados para abordar el control del coste y del plazo. La mayoría de los indicadores tradicionales evalúan desviaciones del plan de obra y del presupuesto contratado (Laakkonen 2023).

El uso de indicadores orientados a resultados ha sido criticado por considerar que se trata de un control tardío que mide los resultados en lugar de medir los procesos (Toor y Ogunlana 2010). Además, depender de holguras tanto de plazos como de costes, impide la detección temprana de las señales que manifiesta la variabilidad, porque se pueden ir consumiendo estas holguras y los objetivos aún se podrán lograr, pero el margen para absorber o mitigar futuras variaciones se habrá reducido.

Los indicadores orientados a comprobar los procesos pueden ayudar a controlar la variabilidad durante la ejecución de las obras. Su uso complementario con indicadores orientados a resultados de coste y de plazo es una práctica muy poco común y lo habitual en la gestión de la construcción es la dependencia estricta de indicadores orientados a los resultados, sobre todo las desviaciones del coste y del plazo de entrega de las obras (Toor y Ogunlana 2010).

2.2.2 El SUP como sistema de planificación y control de la producción

El SUP es un sistema de planificación y control de la producción altamente eficaz que forma parte de la metodología *Lean Construction* (Ballard y Howell 2003). El trabajo que ejecutar se planifica con un nivel de detalle cada vez mayor según sea necesario para la preparación de las actividades y solo se incluyen en el plan semanal de ejecución actividades que se han eliminado todas las posibles restricciones (Ballard y Tommelein 2016). Tiene como objetivo aumentar la confiabilidad de la planificación a través de un esfuerzo colaborativo para estabilizar el flujo de trabajo (Alarcón et al. 2014). Una manera recomendable de que las empresas de construcción comiencen su recorrido *Lean* es, sin duda, implementando el SUP (Koskela et al. 2003).

El SUP toma su nombre del concepto “los últimos planificadores”, el personal directo a cargo de la preparación y ejecución de los trabajos en la obra (Ballard y Howell 2003). Los “últimos planificadores” son los verdaderos planificadores responsables directos o indirectos de la ejecución de actividades, mediante la identificación y la eliminación de restricciones relacionadas con los suministros de materiales, los medios auxiliares, la información, la mano de obra u otros condicionantes (Retamal et al. 2020). En lugar de depender de un enfoque tradicional en el que las primeras actividades condicionan a las siguientes, estos planificadores consiguen compromisos en los que el cumplimiento de la ejecución y la confiabilidad del plan se facilitan mediante evaluaciones y preparaciones colaborativas del trabajo (Ebbs y Pasquire 2018; Lagos et al. 2023).

El SUP ha demostrado ser muy beneficioso en la gestión de las obras, aumentando la productividad en las obras, reduciendo la variabilidad y mejorando los resultados de coste y plazos de entrega (Alarcón et al. 2008; Ballard y Tommelein 2016).

Mediante el SUP se consigue un seguimiento de la planificación sistemático con métodos y técnicas, con sus respectivos indicadores enfocados a analizar los procesos. De esta forma se prepara, se ejecuta y se va controlando el avance de la obra. Sustituye las planificaciones rígidas realizadas por un jefe de obra en solitario por planificaciones colaborativas en las que se marcan los compromisos de las tareas a ejecutar (Ballard y Tommelein 2016).

Según Ballard (2000), la clave de una buena planificación de la producción es una buena definición de las actividades, la selección correcta de las órdenes de trabajo y las cargas de trabajo adecuadas, esto es, las cargas razonables de trabajo elegidas para ser ejecutadas de acuerdo con la capacidad de cada equipo de producción (Lappalainen et al. 2023).

El avance en la ejecución de las actividades depende en gran medida de la finalización de otras actividades (Koskela 2000). El desafío de coordinar y gestionar los recursos genera problemas que frustran la ejecución oportuna de las obras. El SUP sistematiza

la planificación y el control, utilizando ciclos colaborativos cortos para identificar el trabajo requerido, planificarlo en consecuencia, prepararlo y establecer compromisos de ejecución controlados semanalmente para determinar las acciones correctivas requeridas (Ballard y Tommelein 2016; Lagos et al. 2022).

El SUP sigue estos cinco principios (Ballard et al. 2009):

- El detalle de la planificación solo aumenta cuando es necesario planificar preparar, comprometer o ejecutar actividades
- La planificación debe ser un esfuerzo colaborativo
- El trabajo futuro se realiza eliminando restricciones
- Se comprueba el cumplimiento de los compromisos para evaluar la confiabilidad
- Se deben eliminar sistemáticamente las fuentes de problemas recurrentes

Estos principios dan lugar a algunos de los componentes más importantes del SUP como son (Ballard y Tommelein 2016; Ebbs y Pasquire 2018):

- La planificación intermedia
- La gestión de las restricciones y la preparación del trabajo
- La planificación a corto plazo
- La evaluación de la confiabilidad y la recopilación de RNC
- La implementación de las acciones correctivas

En las diferentes investigaciones sobre la implementación del SUP se ha encontrado que con el uso del SUP se consigue un aumento de la productividad y de la seguridad en la construcción, y en la ejecución de las obras, como la reducción de los retrabajos y de los tiempos de entrega (Xiaosheng y Hamzeh 2020; Schimanski et al. 2021).

En definitiva, el SUP pretende conseguir estos cuatro objetivos:

- Garantizar una estrecha coordinación de las actividades de “abajo hacia arriba” entre los planificadores y el nivel de gestión, a través de reuniones colaborativas de planificación y control de las obras (Priven y Sacks 2013).
- Estabilizar el flujo de trabajo a través de la planificación intermedia y el proceso de preparación, en el que los planificadores conciben un plan anticipado normalmente de cuatro a ocho semanas para buscar restricciones futuras y planificar acciones para poder eliminarlas con anticipación, para aumentar la lista de actividades ejecutables a medio plazo del inventario de trabajo ejecutable, ITE (Hamzeh et al. 2008).
- Garantizar que se cumple lo planificado mediante la planificación a corto plazo, generalmente el plan de una semana, basada en compromisos que tienen en cuenta y consideran la capacidad de los trabajadores, la preparación y la prioridad de las actividades (Mossman 2018).
- Utilizar un enfoque de control sistemático que permite implementar acciones correctivas basadas en el cumplimiento y aprovechamiento de las oportunidades de la planificación presentadas en el ITE (Ballard y Tommelein 2016).

Algunos estudios han demostrado que la implementación del SUP se correlaciona positivamente con planificaciones más robustas, la gestión del conocimiento, el aprendizaje y la resolución de problemas, entre otros (Castillo et al. 2016; Herrera et al. 2018).

Numerosos estudios de casos ilustran mejoras de la productividad con la implementación del SUP, pero muchas implementaciones se consideran incompletas o no cumplen los objetivos, principalmente debido a dificultades con la interpretación del propio sistema (Ebbs y Pasquire 2018) junto a una implementación ineficaz (Bellaver et al. 2022; Lappalainen et al. 2023).

2.2.3 El porcentaje del plan completado

El porcentaje del plan completado (PPC) mide el grado de acierto que se tiene cuando, tras un proceso sistemático de preparación de tareas y de planificación semanal de las tareas preparadas se intentan ejecutar en la semana establecida dentro de un plan global. Su cálculo se realiza como el número de compromisos realizados entre el total de actividades o tareas que se planificaron para esa semana (Lagos y Alarcón 2020).

El SUP es uno de los indicadores del SUP más utilizado (Lappalainen et al. 2023). Además, se ha demostrado que existe una correlación por la cual cuanto antes se comienza a medir el PPC, mayor será la probabilidad de conseguir un proyecto exitoso (Murguía et al. 2016; Lagos y Alarcón 2020).

Según Ballard y Tommelein (2016), el valor numérico del PPC se considera una medida de la confiabilidad del flujo de trabajo, una medida que se correlaciona con la productividad y el avance del proyecto, y también una medida de la capacidad del equipo de obra para planificar y ejecutar el trabajo de manera confiable. El PPC también se considera a menudo una señal de la confiabilidad de las promesas que los agentes participantes del proyecto se hacen entre sí (Koskela et al. 2010; Lappalainen et al. 2023).

Algunos investigadores coinciden ampliamente en que la clave del PPC es la medición de la fiabilidad de las promesas entre los agentes (Howell et al. 2004; Fauchier y Alves 2013). Aslam et al. (2020) realizaron una extensa revisión bibliográfica de estudios relacionados con el SUP entre 1992 y 2019 y presentaron valores medios de PPC de 16 casos. En base a estos estudios de caso, estimaron que el valor medio del PPC obtenido era de aproximadamente del 68% y reconocieron que estaba por debajo de sus expectativas. Como consecuencia de esto, propusieron buscar y eliminar los principales obstáculos en la implementación del SUP para conseguir la mejoraría del PPC (Lappalainen et al. 2023).

Actualmente el PPC es el indicador predominante del SUP, generalmente asociado con una planificación efectiva del trabajo semanal y una implementación exitosa del SUP. Sirve como indicador de la confiabilidad de la planificación del trabajo semanal (El Samad et al. 2017). Aunque Alarcón et al. (2014) observaron que, para conseguir proyectos exitosos, no es suficiente poseer altos valores medios de PPC, sino que también es esencial que sea estable. Un buen indicador de su estabilidad es la desviación típica que indica la dispersión o variabilidad de los datos en torno a su media. Por tanto, la evaluación del PPC promedio y su desviación típica a lo largo de

la ejecución de la obra pueden ayudar a evaluar el cumplimiento del plan de obra esperado (Alarcón y Calderón 2003; Lagos et al. 2019).

Algunas investigaciones muestran un aumento del PPC estadísticamente significativo cuando el SUP se implementa más intensamente y que los proyectos con un PPC más alto y más estable tienen mayores probabilidades de tener mejores resultados en términos de cumplimiento del plazo de entrega de las obras (Alarcón et al. 2014; Ballard y Tommelein 2016; Lagos et al. 2019).

Otros investigadores han encontrado correlaciones positivas entre el PPC, sus índices de productividad y el cumplimiento de los plazos en periodos concretos de las obras (Kim et al. 2016; Leal y Alarcón 2010; Liu et al. 2011), pero no han podido determinar correlaciones altas entre el PPC promedio de una obra y su plazo final, en parte debido a la influencia de factores externos que afectan a la ejecución de la obra y en parte debido a la falta de suficientes estudios (Formoso y Moura 2009). La investigación cuantitativa se ha visto limitada por la falta de grandes muestras de datos estandarizados y, principalmente, se ha centrado en su relación con los resultados de la obra (Daniel et al. 2015).

2.2.4 El nivel de implementación del SUP

Varios estudios (Power y Taylor 2019) sostienen que la implementación del SUP tiene altibajos y que su interpretación es inconsistente. Ballard y Tommelein (2021) buscaron abordar dicha problemática, enfatizando la importancia de utilizar todos los componentes del SUP para garantizar que la planificación y la ejecución de las actividades estén vinculadas a los hitos del proyecto (Hamzeh et al. 2009; Ballard y Tommelein 2016; Lappalainen et al. 2023).

Investigaciones previas han demostrado una correlación directa entre el nivel de implementación del SUP y la ejecución de las obras, tanto en la disminución de la variabilidad a corto plazo como en el cumplimiento del plan de obra (Lagos et al. 2017). Por otro lado, otros estudios han demostrado que niveles altos de implementación del SUP y la colaboración entre agentes se ven mutuamente beneficiadas, ya que la comunicación y la colaboración a lo largo del proceso de preparación de las actividades son básicas para garantizar la estabilización de la variabilidad a corto plazo y el cumplimiento sostenido de la planificación de las obras (Castillo et al. 2018; Lagos et al. 2022).

Además, investigaciones de estudios de casos han observado que, a medida que los equipos de obra fortalecen la implementación del SUP, mejoran la comunicación entre los planificadores, lo que les permite realizar, con anticipación, acciones de mejora continua (Retamal et al. 2022).

La falta de una implementación completa se debe en parte a una falta de comprensión de cómo utilizar la información y en parte al tiempo y al esfuerzo que necesitan los equipos de obra y, más concretamente, el jefe de obra para procesar los datos (Daniel et al. 2015). Por otra parte, la falta de comprensión de la utilidad del SUP requiere un esfuerzo educativo hacia el sector de la construcción y también producir más investigación cuantitativa (Daniel et al. 2015; Lagos y Alarcón 2020).

Algunos investigadores han descubierto que la mayoría de los proyectos presentan implementaciones parciales del SUP (Dave et al. 2015). Los equipos de obra establecen compromisos de manera colaborativa y controlan el cumplimiento y la variabilidad, sin embargo, falta poner más atención en evaluar las necesidades de preparación efectiva del trabajo a través de la gestión de restricciones, y evaluar las principales razones de problemas recurrentes para enfocar las acciones correctivas (Lagos et al. 2019). Las deficiencias en la implementación de algunos componentes del SUP se han atribuido a tres factores: falta de conciencia de su relevancia, falta de tiempo o recursos para recopilar y evaluar esa información, y falta de más indicadores estándar para evaluarlos (Daniel et al. 2015; Lagos y Alarcón 2021).

La escasez de implementaciones completas, la falta de datos estandarizados y el esfuerzo requerido para recopilarlos, han obligado a los investigadores a centrarse en enfoques de estudio de casos o en el uso de medios indirectos como encuestas y entrevistas para poder evaluar las relaciones entre los componentes del SUP y las variables de resultado, la desviación del coste y el plazo de entrega de las obras (Daniel et al. 2015; Dave et al. 2015). A pesar de esas limitaciones, los investigadores han descubierto que la creciente implementación del SUP conduce a mejoras en la productividad (Hamzeh y Aridi 2013) y contribuye a mejoras en la planificación, la gestión de los recursos, la colaboración entre los agentes y la reducción de desperdicios (Alsehaimi et al. 2014). La investigación de algunos estudios de caso ha señalado la relevancia de las reuniones colaborativas semanales a la hora de establecer compromisos confiables y eliminar restricciones (Soares et al. 2002). Aunque también se ha descubierto que la colaboración tiende a centrarse principalmente en establecer compromisos a corto plazo, normalmente semanales, en lugar de evaluar e implementar acciones de preparación de las actividades (Brady et al. 2011).

Mantener una implementación completa y estandarizada del SUP permitirá una mejor recopilación sistemática de los datos de la ejecución de la obra (Alarcón y Calderón 2003) (Alarcón et al. 2014; Lagos et al. 2019). Aunque algunos investigadores han encontrado que la mayoría de los casos estudiados presentan implementaciones parciales, enfocándose principalmente en la planificación semanal o a corto plazo (Daniel et al. 2015; Dave et al. 2015), se han realizado otras revisiones por parte de la comunidad *Lean Construction* entre 2009 y 2019 respecto a los beneficios del empleo del SUP y con las contribuciones obtenidas se está consiguiendo mejorar notablemente su comprensión e implementación.

2.2.5 La planificación intermedia

El SUP sistematiza la transición de una planificación inicial a largo plazo hacia una planificación intermedia a mediano plazo y la posterior planificación a corto plazo a través del proceso de preparación de las actividades. Este proceso, implica dividir las próximas actividades o las tareas venideras en paquetes de trabajo manejables que normalmente se planifican durante un período variable que puede extenderse de cuatro a ocho semanas, especialmente cuando se trata de materiales complejos o información de cálculo y diseño detallado de arquitectos e ingenieros, luego se examinan para identificar y eliminar restricciones, antes de seleccionar actividades libres de restricciones para comprometerse en el plan a corto plazo y controlar el

cumplimiento en busca de razones de no cumplimiento (RNC) (Jang y Kim 2007; Ballard y Tommelein 2016).

Es esencial adoptar un enfoque estandarizado, ya que el SUP lo constituyen una serie de componentes interconectados y los mejores resultados se obtienen cuando se utilizan todos ellos. Sin embargo, hay una escasez de investigación académica que muestre a los profesionales como implementar la planificación intermedia. Las lagunas en la investigación académica y en la práctica sugieren que existe la necesidad de mejorar la participación de estos agentes para ayudar a una implementación más rigurosa y consistente de la planificación intermedia (Lappalainen et al. 2023).

La planificación intermedia ha destacado como un paso esencial para conseguir que los equipos de producción solo trabajen en actividades que estén listas para ser ejecutadas (Koskela 2000). La planificación intermedia vincula la planificación inicial con la producción al conectar el plan inicial y de fases con la planificación semanal y diaria, al filtrar todas las actividades comprometidas y preparar eficazmente el trabajo para que sea completado (Hamzeh et al. 2012; Bellaver et al. 2022).

Ballard (2000) indica que la planificación intermedia determina la secuencia y el ritmo del flujo de trabajo, vincula los planes iniciales y de fases con los planes de actividades semanales, protege de la incertidumbre de las actividades anteriormente ejecutadas, dimensiona el flujo de trabajo para que coincida con la capacidad y las limitaciones de los equipos de producción, y produce una lista de actividades viables de ser ejecutadas. La producción se prepara y se le da una mejor oportunidad de conseguir un flujo ininterrumpido eliminando las restricciones, dimensionando la capacidad del flujo de trabajo, produciendo una lista de actividades viables y diseñando cómo se realizan los procesos (Ballard et al. 2009). Estos objetivos se logran a través de tres pasos principales: dividir las actividades en el nivel de los diferentes procesos, identificar y eliminar las restricciones para preparar las actividades para su ejecución, y diseñar los procesos a través de estudios previos a la construcción (Hamzeh et al. 2008).

Aunque los beneficios del SUP son bien conocidos y ampliamente citados (Daniel et al. 2015), algunos investigadores han descubierto que las implementaciones parciales pueden limitar su potencial (Daniel et al. 2015). Las adopciones parciales, centradas principalmente en la planificación a corto plazo, son comunes e impiden el cumplimiento del plan de obra a largo plazo (Lagos et al. 2017). Además, se ha detectado como una deficiencia común, la falta de participación de los responsables directos, los “últimos planificadores”, debido a la toma de decisiones exclusiva a nivel de la gestión del jefe de obra y del encargado como máximas autoridades dentro de la obra (Lagos et al. 2022).

La planificación intermedia es el proceso de identificar, detectar, evaluar y planificar el trabajo futuro con un horizonte o ventana de tiempo de entre cuatro a ocho semanas, para seleccionar el trabajo ejecutable en un periodo de una o dos semanas, compromisos que se cumplirán durante todo el proceso y se evaluará semanalmente su cumplimiento para determinar las oportunidades de mejora (Ebbs y Pasquire 2018). La transición efectiva de la planificación intermedia hacia la planificación a corto plazo requiere un flujo de trabajo suficiente de actividades ejecutables alineadas con los

objetivos a medio plazo (Hamzeh et al. 2021). Por lo tanto, se centra en generar una lista de actividades sin restricciones, preparadas para adoptar el compromiso de su ejecución, el “inventario de trabajo ejecutable” (ITE). Un ITE más extenso permitirá a los planificadores alinear mejor los compromisos con su capacidad y establecer compromisos más confiables y con más flexibilidad (Pérez et al. 2022; Lagos et al. 2023).

La planificación intermedia es uno de los componentes más débiles del SUP implementado, significativamente por debajo de otros componentes como la planificación a corto plazo basada en los compromisos, y la búsqueda de las razones de no cumplimiento (RNC) (Daniel et al. 2015). Por lo tanto, los investigadores sostienen que implementar el SUP con un enfoque a corto plazo en lugar de un enfoque sistemático de planificación a mediano plazo y la preparación del trabajo limita significativamente sus beneficios potenciales (Lagos et al. 2022).

Ballard y Tommelein (2021) detectaron una brecha en la evaluación sistemática de la colaboración de los planificadores para identificar, gestionar y eliminar restricciones de manera eficaz y eficiente. La gestión de la construcción requiere que las múltiples partes interesadas, desde proveedores hasta proyectistas y subcontratistas, trabajen en colaboración, con condiciones que cambian constantemente (Ebbs y Pasquire 2018; Lagos et al. 2022). Mediante conversaciones estrechas, los planificadores se comunicarán activamente para comprometerse con el trabajo o solicitar su preparación (Castillo et al. 2018; Ebbs y Pasquire 2018; Lagos et al. 2023).

El SUP promueve la colaboración para evaluar, preparar y comprometer el trabajo futuro de manera confiable, a través de ciclos sistemáticos de corto plazo (Priven y Sacks 2013). Según el conjunto de conocimientos que lo respaldan, no evaluar el trabajo futuro limitará la capacidad de los equipos de producción para identificar restricciones y para planificar en consecuencia, mientras que no preparar el trabajo a ejecutar mediante la eliminación de restricciones limitará la capacidad de los equipos de producción para formular y cumplir los compromisos de ejecución confiables (Retamal et al. 2020).

Según Castillo et al. (2018), una colaboración más fuerte en el intercambio de información relevante, así como en la planificación y resolución de los problemas, mostró correlaciones estadísticamente positivas con la liberación de restricciones y la efectividad de la planificación, obteniéndose mejores PPCs. Un estudio posterior de los mismos autores también correlacionó colaboraciones fuertes con mayores beneficios en calidad, seguridad, costes y productividad (Castillo et al. 2018). Además, un estudio de caso que comparó dos proyectos de características similares y experiencia en SUP también similares, observó que el proyecto con mayor colaboración en planificación y resolución de problemas exhibió significativamente mejores prácticas de planificación intermedia y cumplimiento del plan de obra a largo plazo, mientras que el proyecto con un enfoque de gestión más tradicional exhibió acumulación y retrasos de la preparación del trabajo que aunque permitió obtener altos valores de PPCs, le impidieron mantener un alto cumplimiento del plan de obra a largo plazo debido a la falta de flexibilidad del ITE (Lagos et al. 2023).

Estos estudios confirman que la colaboración en la planificación y la preparación del trabajo es clave para respaldar los resultados del SUP, compromiso y control, que, en términos de planificación intermedia, corresponde a la identificación eficiente de las restricciones y a su eliminación (Ballard y Tommelein 2016). La colaboración facilita que los planificadores participen en este proceso (Lagos et al. 2022), mientras que estas interacciones, es decir, la colaboración cercana entre las múltiples partes conduce a la confiabilidad de la preparación del trabajo (Castillo et al. 2018).

Una planificación intermedia sistemática permite seleccionar de manera efectiva actividades libres de restricciones para el plan a corto plazo y llevar a cabo compromisos a corto plazo de manera eficiente (Javanmardi et al. 2020). La eliminación efectiva de restricciones tiene una correlación positiva directa con el cumplimiento sostenido a corto plazo, medido por la media y la desviación típica del PPC, el porcentaje del plan completado (Lagos y Alarcón 2021). Sin embargo, la planificación intermedia normalmente es uno de los componentes con menos nivel de implementación del SUP en las obras (Samad et al. 2017) y algunos estudios han encontrado que más del 70% de las restricciones se identifican después de las dos últimas semanas antes de tener que ejecutarse la actividad (Pérez et al. 2022) y el 55% de las restricciones se eliminan más tarde de lo requerido (Bellaver et al. 2022; Lagos et al. 2024).

Si bien la planificación intermedia es clave para asegurar un flujo estable de actividades en el plan a corto plazo, aumentando así la confiabilidad del plan a corto plazo, a menudo es uno de los componentes menos sistematizados del SUP (Lagos et al. 2022). Una planificación intermedia eficaz requiere asignar tiempo y esfuerzo de todos los planificadores para identificar las limitaciones con tiempo posterior por adelantado, registrarlas de manera estandarizada, comprometer su eliminación para habilitar la ejecución de las actividades y controlar su estado regularmente para que se pueda actualizar el ITE (Bellaver et al. 2022). Estudios previos sobre la implementación del SUP han encontrado que las implementaciones parciales del SUP no logran sistematizar la planificación intermedia (Hunt y González 2018). Algunos estudios han descubierto que, si bien la planificación y el control a corto plazo son una práctica ampliamente adoptada, la selección de actividades a corto plazo se lleva a cabo sin el uso adecuado de un inventario de trabajo ejecutable, un control activo del estado de las restricciones, un registro de la identificación y eliminación de las restricciones o la identificación tardía de restricciones (Salling et al. 2023). Una encuesta danesa con más de 1.600 respuestas (Salling et al. 2023) mostró que el 44% de los equipos de producción no conocían el plan de ejecución de sus próximas actividades con un mes de anticipación (Lagos et al. 2024).

Por otro lado, un estudio que abarcó una muestra de 71 proyectos de edificación que emplearon el SUP durante toda su ejecución encontró que el tiempo de eliminación de restricciones de los proyectos exitosos fue un 48% menor que en los proyectos que no lograron completarse en la fecha planificada (Pérez et al. 2022). El mismo estudio encontró correlaciones estadísticamente significativas entre los tiempos empleados en identificar las restricciones y eliminarlas, el número de restricciones identificadas, y el PPC. Otro estudio que captó más de 24.000 restricciones a lo largo de 3.700 semanas en 69 proyectos (Lagos y Alarcón 2021) encontró que los equipos de producción las identifican en un promedio 10 días seguidos antes de la ejecución y tardaban un

promedio de 16 días en eliminarlas. El mismo estudio, que agrupó los proyectos en 37 exitosos y 32 fallidos según su resultado de cumplimiento del plan de obra, observó una diferencia del 47% en la eficiencia de eliminación de restricciones y del 42% en la eficiencia de planificación de restricciones entre los equipos de producción estudiados (Lagos et al. 2024).

Estos estudios confirman que la preparación del trabajo es clave para respaldar los resultados del SUP, en términos de identificación eficiente de restricciones y de su eliminación confiable. Además, dado que el objetivo de la planificación intermedia es facilitar el compromiso y la ejecución confiable de las próximas actividades, su efectividad se puede evaluar mediante tres factores: la preparación efectiva del trabajo, el compromiso confiable del trabajo y el cumplimiento del plan de obra (Ballard y Tommelein 2016). Por lo tanto, en base a estos factores, la planificación intermedia contribuye al cumplimiento sostenido del plan de obra, con la ayuda de una fuerte colaboración de los planificadores (Lagos et al. 2023).

2.3 La laguna del conocimiento

Aunque es sabido que la implementación del SUP tiene efectos positivos en la ejecución de las obras (Alarcón et al. 2008), existen pocos análisis sobre este asunto (Castillo et al. 2016). Algunos investigadores han encontrado relaciones directas entre el nivel de implementación del SUP y los índices de productividad, la desviación de los costes y el cumplimiento de los plazos de entrega en las obras (Kim et al. 2016; Leal y Alarcón 2010; Liu et al. 2011), pero no han podido determinar relaciones fuertes entre el nivel de implementación del SUP y el cumplimiento del plazo final en parte debido a la falta de suficientes muestreos (Formoso y Moura 2009; Kim et al. 2016).

Por otra parte, muchos autores han descrito la influencia de la experiencia del jefe de obra y del encargado en el éxito de la gestión de las obras (Rojas 2013; Ceric 2014; Savelsbergh et al. 2016) y además, varios estudios han destacado los beneficios de la colaboración con el SUP como un enfoque clave, en términos de planificación y control de proyectos de construcción (Deep et al. 2022; Priven y Sacks 2015). Sin embargo, ningún estudio hasta la fecha ha analizado específicamente la influencia de los niveles de experiencia del equipo de obra en la gestión exitosa de los proyectos de construcción al implementar el SUP.

Según las principales referencias encontradas en la investigación académica sobre las prácticas de gestión *Lean* asociadas con la planificación y el control de proyectos (Hamzeh et al. 2009; Fosse y Ballard 2016), existen ciertas herramientas y prácticas estandarizadas que se utilizan comúnmente para la planificación y el control, específicamente durante la construcción de una obra, como ya es considerado el SUP (Munthe-kaas et al. 2015; Herrera et al. 2018). Sin embargo, no se encuentran tantas herramientas y prácticas para la planificación y el control que puedan ser utilizadas antes del comienzo de las obras (Herrera et al. 2018) aunque se han realizado investigaciones y estudios de casos sobre la adaptación de los propios componentes del SUP (Rosas 2013) al ser aplicados durante el diseño de los proyectos de construcción.

Si bien el nivel de implementación de la mayoría de los componentes del Sistema del Último Planificador (SUP) ha mejorado a lo largo de los años, la adopción de algunos

de ellos se mantiene en un nivel muy básico (Daniel et al. 2015). Los componentes pertenecientes a la planificación a corto plazo se adoptan amplia y extensamente, pero los componentes de los otros niveles de planificación siguen siendo menos implementados. Algunos estudios afirman que el insuficiente nivel de implementación de los componentes antes mencionados impide el aprovechamiento completo del potencial del SUP (Lagos et al. 2016).

Como ya se ha comentado anteriormente, puede existir una relación “desviación del plazo/nivel de implementación del SUP”, y a su vez “nivel de implementación del SUP/PPCs”, pero analizando cada fase, durante la construcción, puede que estas relaciones no se cumplan de manera uniforme y continuada durante la totalidad de la obra (Brodetskaia et al. 2011).

Se sabe que mediante el SUP se cambia el enfoque de la planificación hecha por un planificador solitario, generalmente el jefe de obra, a la conseguida de manera colaborativa (Hamzeh 2011). La transparencia de la información entre las partes es indispensable durante el uso del SUP, ya que permite hacer promesas confiables (Howell et al. 2004; Fauchier y Alves 2013), pero durante el proceso constructivo pueden surgir brechas en el flujo de información cuando el equipo de obra tenga que dedicar mucho tiempo a compilar los datos propios obtenidos con la aplicación del SUP, para adaptarlos a otras herramientas ya existentes en la empresa constructora (Dave et al. 2015).

El uso del SUP ha logrado resultados positivos en el sector de la construcción de varias nacionalidades (Ballard 2000; Liu y Ballard 2008), sin embargo, se encuentran en la investigación académica existentes vacíos relacionados con la precisión del SUP y la confiabilidad de las promesas que no se han abordado suficiente y adecuadamente en estudios anteriores (Daniel et al. 2015; Lagos et al. 2024).

CAPÍTULO 3

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Proceso de la investigación

3.2 Revisión de la literatura

3.3 Selección y definición de variables a analizar

3.4 Definición del cuestionario

3.5 Selección de proyectos

3.6 Recolección de datos

3.6.1 Prácticas *Lean Construction* implementadas antes de la construcción

3.6.2 Prácticas *Lean Construction* implementadas durante la construcción

3.7 Análisis estadístico

3.8 Análisis comparativo cualitativo

3.8.1 Tabla de la verdad

3.8.2 Condiciones necesarias

3.8.3 Condiciones suficientes

3.9 Estudio de casos múltiple

3.9.1 Justificación

3.9.2 Proceso de investigación del estudio de casos múltiple

3.9.2.1 Fuentes de datos y evidencias

3.9.2.2 Fundamentos de la recolección de datos

3.9.2.3 Análisis de los datos

3.9.2.4 Hallazgos de los casos

3.9.2.5 Verificación externa de los hallazgos

3.9.3 Validación externa

3.10 Conclusiones y recomendaciones

CAPÍTULO 3

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

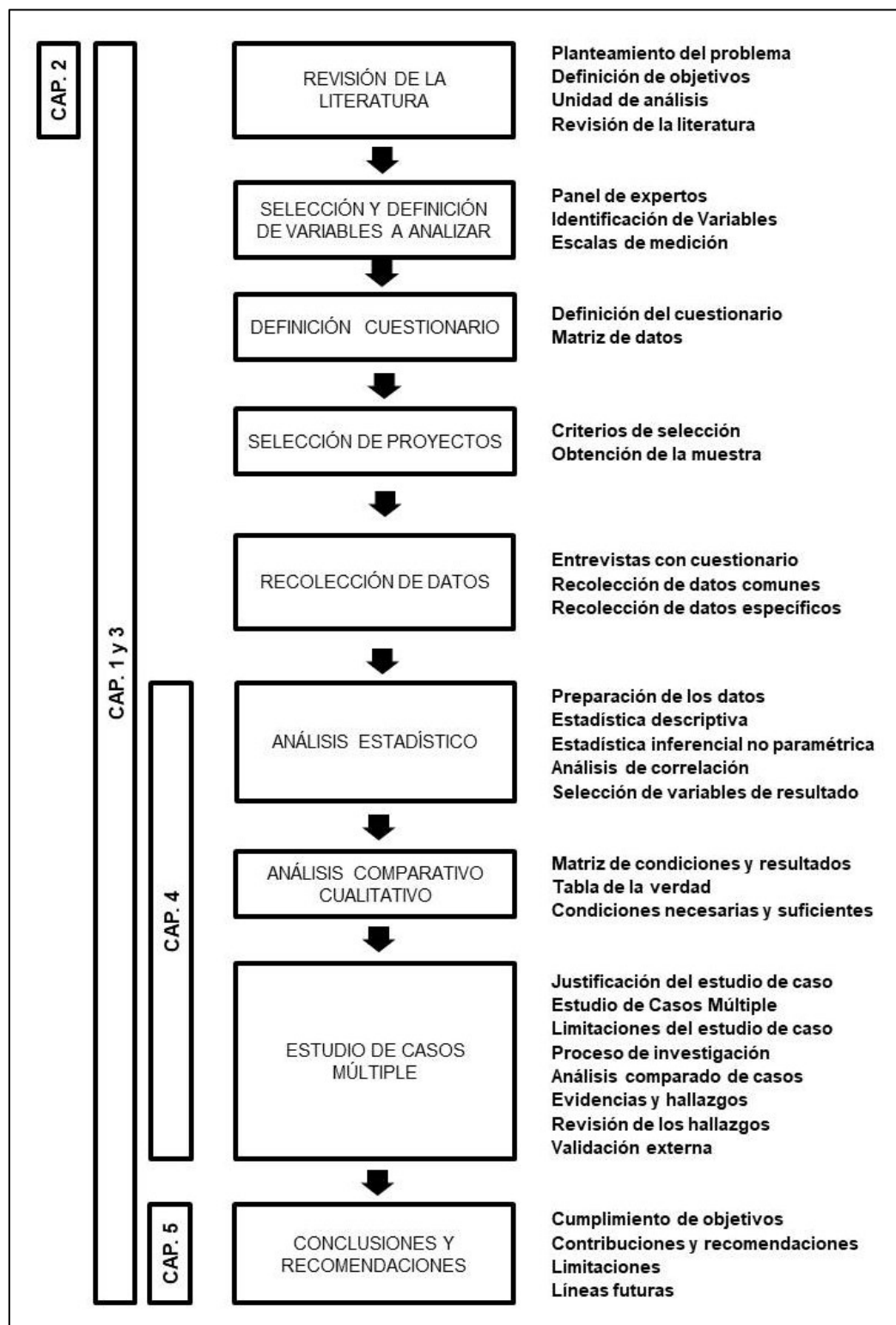
El presente capítulo describe el método de investigación utilizado, incluyendo, el contenido de las entrevistas, el procedimiento de la obtención de la información a través de una recopilación de datos, los estudios basados en cifras o cuantitativos junto a análisis de datos no numéricos o cualitativos, para terminar con un estudio de casos múltiple.

3.1 Proceso de la investigación

El diseño propuesto para esta investigación consta de seis etapas en las que se describe el proceso de investigación desarrollado. Las seis fases se basan en el análisis del estado del arte de la implementación del SUP, la búsqueda y selección de los proyectos, la recolección de datos cuantitativos, así como su procedimiento de recopilación. En primer lugar, se realizó un análisis de los datos numéricos con las diferentes ramas de la estadística y mediante los datos no numéricos, con análisis cualitativos, se pudieron validar con mayor exactitud los resultados obtenidos con las técnicas cuantitativas. Finalmente se describe el estudio de casos múltiple que se llevó a cabo para aumentar la validez científica de la investigación.

A continuación, se muestra el esquema que se ha seguido en el proceso de esta investigación (figura 3.1). En la parte central se muestra el orden de las etapas realizadas desde el inicio hasta el término; a la izquierda de la figura se indican los capítulos en los que se organiza el documento; y en el lado derecho se presentan las actividades más importantes que forman parte del proceso.

Figura 3.1. Proceso de investigación



Fuente: elaboración propia

3.2 Revisión de la literatura

El objetivo de la revisión de la investigación académica fue identificar y analizar el trabajo realizado por otros investigadores en torno a los factores de éxito en la

implementación del Sistema del Último Planificador (SUP). A través de las bases de datos bibliográficas de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas, Web of Science (Clarivate), Scopus (Elsevier) y Google Scholar, se realizó la búsqueda y la revisión de una gran cantidad de documentos, artículos científicos, convenciones, libros y tesis doctorales.

La revisión exhaustiva del estado del conocimiento de la implementación del SUP en el proceso constructivo condujo a identificar las variables de coste y plazo empleadas normalmente en la gestión de las obras por las empresas constructoras (Kabirifar y Mojtahedi 2019). También se pudo observar que la investigación académica existente analizaba la implementación del SUP desde la mejora del cumplimiento de estas variables, el coste y el plazo de las obras, respecto a los sistemas tradicionales de gestión habitualmente utilizados por las empresas constructoras, presentando las desviaciones de coste y plazo de las obras estudiadas, y explicando causas y problemas encontrados (Yu et al. 2019).

3.3 Selección y definición de variables a analizar

Una vez fueron detectadas e identificadas, según su importancia, las variables en la investigación académica existente, para asegurar que el análisis de todas ellas, se constituyó un panel de expertos cuidadosamente seleccionado para participar en un debate sobre el asunto investigado. Junto con el investigador, actuando este como facilitador, participaron dos jefes de obra, arquitectos técnicos con más de quince años de experiencia en gestión de la edificación, conocedores del SUP y que anteriormente lo habían implementado en alguna de sus obras. Fue necesario realizar dos reuniones de dos horas cada una aproximadamente, en dos días consecutivos para poder asegurar que ninguna variable de coste y de plazo empleada habitualmente por las empresas constructoras, se quedaba sin detectar y por analizar.

Para facilitar la identificación y la selección de las variables que mejor podrían utilizarse para conseguir las metas de esta investigación, se agruparon según su obtención y su cálculo como variables de entrada o variables de resultado. Para cada una de estas variables se definió la escala o nivel de medición más apropiada. Según Cohen et al. (2014), las escalas o niveles de medición de las variables pueden ser:

- Escala nominal. Cuando las variables son cualitativas, también llamadas categóricas, deben ser mutuamente excluyentes, complementarias y exhaustivas.
- Escala ordinal. Si las variables son de tipo cuantitativo de tal manera que es posible ordenar estos valores en forma ascendente o descendente, pero no se puede saber si la diferencia entre dos valores es la misma o diferente a la diferencia entre otros dos valores.
- Escala de intervalo. Además de distinguir diferencias en grado, en la propiedad de un objeto, también se pueden distinguir diferencias iguales entre objetos. El “0” no indica que hay ausencia de la variable.
- Escala de razón o proporcional. Las variables que se miden con esta escala cumplen las características de las anteriores variables, además de que el valor “0” sí indica ausencia de la variable.

Para describir las cualidades físicas de los proyectos de edificación de esta investigación y saber más de su contexto se emplearon las siguientes variables: la experiencia del equipo de obra, los datos cuantitativos de las obras en cuanto a costes y plazos (Jordan et al. 2011; Shrestha et al. 2021; Celoza et al. 2021). Todas ellas son variables de entrada y su escala de medición ha sido nominal dicotómica o de razón. En la Tabla 3.1 se puede ver la lista de las variables de entrada.

Tabla 3.1: Variables de entrada

Variables de Entrada	Valoración	Tipo de Escala
Implementación del SUP	Sí o No	Nominal dicotómica
Experiencia previa con el SUP	Sí o No	Nominal dicotómica
Experiencia del jefe de obra en viviendas unifamiliares	< o ≥ de 15 años	Nominal dicotómica
Experiencia del encargado de obra en viviendas unifam.	< o ≥ de 15 años	Nominal dicotómica
Superficie construida	m ²	Razón
Número de forjados o plantas	1, 2, 3, n	Razón
Tipo de cimentación superficial con zapatas	Sí o No	Nominal dicotómica
Tipo de cubierta	Plana o inclinada	Nominal dicotómica
Presupuesto de estudio	€	Razón
Presupuesto de adjudicación (coste presupuestado)	€	Razón
Presupuesto final obra terminada (coste total)	€	Razón
Plazo contratado	meses	Razón
Plazo planificado	meses	Razón
Plazo real	meses	Razón
Interrupciones achacables al contratista	meses	Razón
Interrupciones achacables a la dirección de obra	meses	Razón
Interrupciones achacables al promotor	meses	Razón

Fuente: elaboración propia

Por otra parte, para medir el nivel de éxito en la construcción del edificio se calcularon y emplearon las variables de resultado. Desde el punto de vista de los promotores y constructores, siempre con una perspectiva de obtener beneficios económicos, aunque también valoran la calidad, el coste y el plazo de entrega de las obras son las variables principales para definir el éxito en una obra. En este estudio mediante estas variables se analizan los resultados obtenidos tanto en lo relativo a los presupuestos que los constructores emiten a los promotores como de los plazos de ejecución (Jordan et al. 2011; Shrestha et al. 2021). Todas estas variables son de razón. En la Tabla 3.2 se puede ver la lista de las variables de resultado.

Tabla 3.2: Variables de resultado

Variables de Resultado	Fórmulas
Desviación de plazo bruto	$(\text{plazo real bruto} - \text{plazo planificado}) / \text{plazo planificado}$
Desviación de plazo neto	$(\text{plazo real neto} - \text{plazo planificado}) / \text{plazo planificado}$
Velocidad bruta	$\text{superficie construida} / \text{plazo real bruto}$
Velocidad neta	$\text{superficie construida} / \text{plazo real neto}$
Desviación de coste	$(\text{coste total} - \text{coste presupuestado}) / \text{coste presupuestado}$
Coste unitario	$\text{coste total} / \text{superficie construida}$
Intensidad bruta	$\text{coste unitario} / \text{plazo real bruto}$
Intensidad neta	$\text{coste unitario} / \text{plazo real neto}$

Fuente: elaboración propia

Como plazo “bruto” se considera el plazo que incluye todos los retrasos producidos tanto por promotor, arquitecto como constructor. Mientras que el plazo “neto” solo tiene en cuenta los retrasos achacables a la constructora. Tanto el cálculo de la desviación de plazo, como de la velocidad e intensidad de construcción se ven afectados de estos conceptos, dando lugar a las desviaciones de plazo, velocidades e intensidades, brutas y netas.

3.4 Definición del cuestionario

Una vez comprobadas las variables por el panel de expertos, se comenzó a componer un cuestionario que sería utilizado en las entrevistas a los jefes de obra para recoger los datos cuantitativos durante el proceso de recopilación de datos. El cuestionario pretendía servir de guía para la recogida de los datos de las obras en tres momentos concretos de la gestión de los proyectos seleccionados: en la fase de estudio, una vez adjudicada la obra y al terminar la obra.

Esto obligó a que el cuestionario se tuviera que cumplimentar al menos durante dos sesiones, antes de comenzar las obras y a su término. En la primera entrevista con los jefes de obra se conseguían los datos correspondientes al estudio económico de la obra presentado por el constructor y a la contratación de cada obra y, una vez terminada su ejecución, si el seguimiento había sido satisfactorio y se habían cumplido los compromisos adoptados entre el investigador y los entrevistados, se procedía a la toma final de datos.

Antes de comenzar la recopilación de la información a través de datos, el cuestionario se sometió a un ensayo preliminar (prueba piloto) con el fin de conseguir aplicarlo en unas condiciones idénticas o lo más parecidas posible a las empleadas posteriormente durante la investigación, y para estimar la duración necesaria de cada entrevista. Las entrevistas piloto se hicieron con la ayuda de los dos jefes de obra que habían participado anteriormente en el panel de expertos. El objetivo de esta prueba piloto también fue asegurar que se entendieran con claridad las solicitudes de datos, que fueran fáciles de aportar sin confusiones ni equívocos (Molenaar et al. 2015; Pellicer et al. 2016).

La prueba piloto dio como resultado cambios menores en el cuestionario. Confirmó la obligatoriedad de obtener los datos a través de entrevistas cara a cara; de ese modo, se permitía resolver dudas en tiempo real y facilitaba la colaboración de las personas entrevistadas debido a la presencia del entrevistador (Pellicer et al. 2016). En parte, el desarrollo de esta prueba piloto sirvió de adiestramiento al entrevistador (el investigador) haciendo que se familiarizara con las preguntas del cuestionario y permitiéndole detectar una duración de las entrevistas excesivamente larga.

El cuestionario se distribuyó por correo electrónico, justo unos días antes de cada entrevista para que los entrevistados pudieran leerlo y recopilar los datos solicitados. Esto no resultó ningún problema para los jefes de obra, que, en todo momento, disponían del conocimiento más completo de sus obras. Las respuestas obtenidas de los cuestionarios se introdujeron y almacenaron directamente durante las entrevistas en una hoja de cálculo formando la matriz de datos del Anexo B. De esta manera se pudo reducir el tiempo dedicado a realizar la entrada de datos y también se pudo reducir la posibilidad de errores por transcripciones posteriores.

Se hizo un especial hincapié a la hora de solicitar los datos personales del equipo de obra formado por el jefe de obra y el encargado. Los años de experiencia trabajados en la edificación concreta de la tipología estudiada en esta investigación, las viviendas unifamiliares, y la experiencia previa en la implementación del SUP en otras obras fueron algunos de los datos solicitados. Se obtuvo que ninguno de los jefes de obra y encargados involucrados en los veinte proyectos analizados tenía experiencia previa en la implementación del SUP; por lo tanto, la experiencia de estos equipos de obra respecto a la implementación del SUP en las obras no fue analizada.

Durante las entrevistas se permitió a los jefes de obra que expresaran su opinión sobre los asuntos tratados, así como consideraciones sobre si la obra pudiera haber sido entregada con mejores resultados de coste y plazo. También se consultó sobre si alguna de las características singulares del edificio podría haber influido en el resultado de los costes o los plazos.

3.5 Selección de proyectos

A la hora de comenzar una investigación, es crucial prestar mucha atención al proceso de selección de la muestra, así como al método utilizado. Pero independientemente del método utilizado, los investigadores deben asegurarse de que utilizan muestras representativas que reflejen las características de la población que estudian (Flores y Mamani 2018).

En la investigación, los proyectos fueron seleccionados a través de las empresas constructoras elegidas mediante muestreo por conveniencia. Se entrevistaron a un total de 30 contratistas, sin embargo, seis fueron rechazados de inicio por información incompleta. La selección de casos se basó en un análisis de proyectos con características constructivas muy similares.

Como en este estudio se dispuso de facilidad de acceso y de disponibilidad hacia las personas que iban a participar en esta investigación, los jefes de obra que se prestaron a ser entrevistados y consultados durante la construcción de las viviendas unifamiliares seleccionadas, la modalidad o técnica empleada de muestreo en esta investigación fue el muestreo por conveniencia. El muestreo por conveniencia es una técnica no probabilística utilizada para crear muestras de acuerdo con estas condiciones mencionadas en el caso de esta investigación: la facilidad de acceso a las obras y la disponibilidad de las personas, los jefes de obra consultados (Alonso et al. 2002).

Mediante la obtención de una muestra por conveniencia se puede obtener de una manera eficaz y rápida, información sobre las opiniones, las conductas y demás puntos de vista de los miembros que la compondrán, con la condición de que deberán estar accesibles y disponibles en este caso a las entrevistas y a las consultas necesarias (Flores y Mamani 2018).

Para evitar sesgos se seleccionaron todos los participantes de forma aleatoria antes del comienzo de cada obra. Sin embargo, resultó difícil hacer una selección de los participantes debido a algunas limitaciones como la escasez y la disponibilidad de los encuestados.

El investigador era consciente de los posibles sesgos que podrían estar presentes y tomó medidas para evitarlos. No hubo sesgo de selección, por participantes voluntarios o no voluntarios, ni de supervivencia (los proyectos se elegían antes de ser construidos). De partida, los participantes no podían apoyar las hipótesis o preguntas de investigación. Como se elegían los casos antes de que se realizara la construcción, no podía conocerse previamente su resultado.

Para minimizar el sesgo de selección, el investigador aplicó criterios estrictos de inclusión o exclusión y procesos de búsqueda y selección aleatoria. Esto garantizó que la muestra de los participantes seleccionados para el estudio fuera representativa de una población más amplia, minimizando cualquier sesgo en los datos recopilados, aunque sea prácticamente imposible garantizar una aleatoriedad perfecta y absoluta en cualquier muestreo.

Como se describió en el primer capítulo, los proyectos elegidos tuvieron un alto grado de homogeneidad en cuanto a ciertos factores de selección: la tipología (construcción de vivienda unifamiliar, obra nueva), promotor privado (autopromotores, usuarios finales del edificio), modalidad de contratación por licitación con procedimiento restringido (diseño/licitación/construcción o DBB por sus siglas en inglés, plazo de construcción de entre 12 y 15 meses, ubicados en España.

La licitación restringida es un procedimiento de contratación en el que solo pueden participar las empresas que han sido previamente seleccionadas por el órgano de contratación. En una fase inicial de selección, se evalúan las empresas en función de criterios objetivos de solvencia. Las empresas seleccionadas son invitadas a presentar ofertas (presupuestos), y solo ellas pueden participar en la licitación (Holt et al. 1994).

La búsqueda de proyectos de la tipología elegida, viviendas unifamiliares, se llevó a cabo a través de estudios de arquitectura y empresas constructoras que, respectivamente, proyectan y construyen habitualmente estos edificios. El proceso para conseguir la muestra de proyectos comenzó con llamadas telefónicas a estudios de arquitectura y a empresas constructoras. Se fueron pidiendo recomendaciones a arquitectos y a estudios de arquitectura, autores de los proyectos de viviendas unifamiliares, de constructores con los que habían colaborado, y a esos mismos constructores se les pedía contactos de estudios de arquitectura, y así sucesivamente se fue ampliando la localización de proyectos adjudicados. Este tipo de muestreo funciona en cadena y se denomina muestreo de bola de nieve (Spreen 1992). El total de consultas telefónicas realizadas a estudios de arquitectura fue de 124, y a empresas constructoras fue de 46.

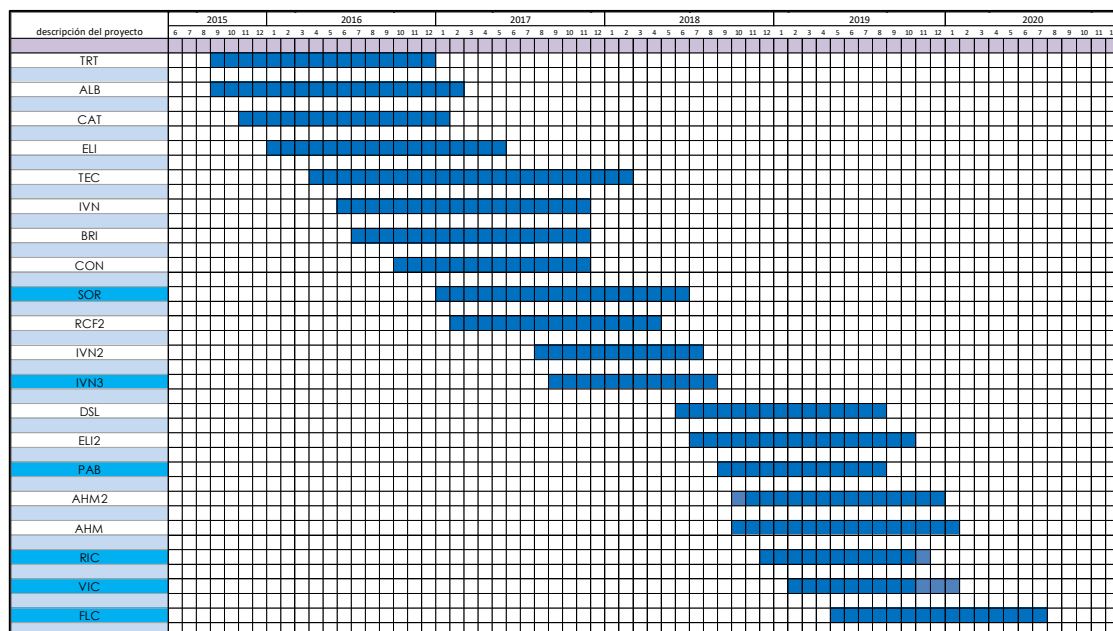
El siguiente paso fue conseguir las primeras citas con los directivos de las empresas seleccionadas, con la intención de darles a conocer, de manera muy general, la metodología *Lean Construction* y más concretamente conocimientos sobre el Sistema del Último Planificador (SUP). Se realizaba una comunicación telefónica donde se explicaban muy básicamente las partes de la investigación, se proponía la concesión de futuras entrevistas y se solicitaba su colaboración para poder realizar seguimiento de algún proyecto. Tras esto, si accedía a colaborar, a través de un correo electrónico se concertaba una cita para realizar una primera entrevista. Se obtuvieron un total de treinta empresas constructoras con las que poder tener un primer contacto.

Durante esta primera entrevista, en la que se realizaba una presentación de la utilidad del SUP, se proponía la posibilidad de poder implementar el SUP en alguno de los proyectos en los que la empresa constructora ya era adjudicataria y, de no ser así, permitir realizar el seguimiento de la construcción de alguna vivienda unifamiliar, tipología de obra elegida en esta investigación, para obtener información interna del control de plazos y costes, concretamente, a través del cumplimentado del cuestionario anteriormente descrito, garantizando la total confidencialidad de la información facilitada. Del total de los 30 contratistas entrevistados, seis fueron rechazados por información incompleta.

3.6 Recolección de datos

La recolección de datos se hizo de manera progresiva conforme a la fecha de adjudicación, comienzo y terminación de las obras que se habían seleccionado. En el Gráfico 3.1, se puede comprobar la secuencia de inicio y fin de cada construcción.

Gráfico 3.1. Diagrama de Gantt de inicio y terminación de las obras seleccionadas



Fuente: elaboración propia

Solo en seis de los proyectos seleccionados se pudo llevar a término la implementación el SUP (estos proyectos están marcados en azul celeste en la columna de la izquierda del Gráfico 3.1). En estas seis obras, además de recoger los datos del cuestionario como en el resto de las obras, se realizó un procedimiento específico de recogida de datos propios del SUP: los porcentajes del plan completados (PPCs), los niveles de implementación y buenas prácticas *Lean Design Management* (LDM).

Las entrevistas fueron del tipo semiestructuradas, recorriendo por orden de inicio a fin las preguntas planteadas en el cuestionario previamente confeccionado (Anexo A), aunque también se pudieron establecer diálogos y conversaciones sobre el asunto investigado, los factores de éxito en la implementación del SUP y el contexto de la construcción en general, entre el investigador y los entrevistados. En la primera

entrevista se conseguían los datos correspondientes a la fase de estudio y adjudicación y, una vez terminadas las obras, si el seguimiento había sido satisfactorio y se habían cumplido los compromisos adoptados, se procedía a la toma final de los datos provenientes de la ejecución mediante una segunda entrevista.

Finalmente, se obtuvieron datos válidos de veinte obras. Se recogieron valores numéricos referentes a los costes y los plazos de entrega de las obras al igual que de las características de cada proyecto y del equipo de obra, mediante las entrevistas a los jefes de obra de los proyectos seleccionados. Los datos recogidos se examinaron, organizaron y depuraron.

En un correo previo a la entrevista, se adjuntaba el cuestionario con las preguntas y la solicitud de datos a completar para que en el momento de con realizar la entrevista, esto permitiera agilizar y reducir su duración. Se realizaron las entrevistas a los jefes de obra, cara a cara, en las oficinas o en las obras de los entrevistados con una duración comprendida entre sesenta y noventa minutos.

Con cada jefe de obra se mantuvieron las entrevistas y se adoptaron los compromisos que permitieran a los entrevistados facilitar los datos de su obra en los momentos indicados: una vez adjudicada y contratada la obra y después de terminar su ejecución. En el transcurso de la ejecución de las obras, en la medida de lo posible, se mantuvieron contactos presenciales y telefónicos semanales todos los jefes de obra e las obras en ejecución para asegurar en qué proyectos se estaba cumpliendo con los compromisos adoptados.

Durante el proceso de recolección de datos, dos obras fueron descartadas por falta de datos, otra de ellas se tuvo que suspender su seguimiento por baja de fiabilidad de las conductas y falta de compromiso del equipo de obra, y una cuarta se desestimó por cambios drásticos propuestos por el promotor de las propias calidades del edificio y por ende de su presupuesto. En una de estas obras descartadas se había iniciado la implementación del SUP. Por lo tanto, la muestra final estuvo formada de veinte obras, donde en seis de ellas se pudo implementar, con diferente nivel, el SUP.

En las obras en las que se implementó el SUP se llevó a cabo una recolección específica de datos que comenzó durante el proceso de ajuste de los presupuestos a las necesidades de los promotores una vez elegida la empresa constructora adjudicataria (Bloom y Van Reenen 2007). El investigador, tenía experiencia en la facilitación y consecución de las técnicas propias del SUP como son la celebración de *pull sessions*, la gestión de restricciones y las reuniones semanales de planificación.

3.6.1 Prácticas *Lean Construction* implementadas antes de la construcción

Herrera et al. (2020) propusieron diecinueve prácticas *Lean Design Management* (LDM) a aplicar durante el diseño de los proyectos. Estas se clasificaron en las siguientes categorías: prácticas relacionadas con las partes interesadas, con la planificación y el seguimiento, y con la toma de decisiones. Herrera et al. (2020) evaluaron el nivel de implementación de cada una de las prácticas mediante una escala de Likert de cinco niveles. La presente investigación utilizó esta herramienta (Herrera et al. 2021) en los seis proyectos en los que se implementó el SUP, desde un momento inicial, durante el proceso de ajuste de los presupuestos y las necesidades

manifestadas por los promotores, una vez elegida la empresa constructora adjudicataria.

La herramienta de Herrera et al. (2020) sigue el método de Bloom y Van Reenen (2010), es decir, hay una descripción para las puntuaciones 1, 3 y 5, mientras que las puntuaciones 2 y 4 se definen como puntos intermedios entre 1 y 3, y 3 y 5, respectivamente. Las descripciones son: (1 punto) una práctica de gestión tradicional, (3 puntos) una práctica inicial de gestión *Lean* y (5 puntos) una práctica de gestión *Lean* desarrollada (Herrera et al. 2020).

Para poder ajustar los presupuestos a las necesidades de los promotores una vez elegida las empresas constructoras adjudicatarias de los seis casos, desde un momento muy temprano, se solicitó su colaboración y la de sus subcontratistas. El aporte de los constructores consistió en ajustar el diseño que realizó el equipo de arquitectos a un coste y a un presupuesto objetivo marcado por el promotor del proyecto. También fue tarea de cada subcontratista asesorar para asegurar un diseño correcto de sus áreas correspondientes, diversas instalaciones, la estructura, la calidad de las terminaciones, etc. Esto permitió realizar una correcta gestión de las necesidades de los interesados, una mejor planificación y control del coste del proyecto y una mejor toma de decisiones antes de comenzar las obras.

Para la puntuación de cada proyecto, el investigador, al inicio de las obras, realizó entrevistas con los jefes de obra, considerando todos los puntos abordados por Herrera et al. (2020). Tras esto, en una sesión colaborativa, el investigador discutió con el equipo de obra la calificación final de cada práctica. Como esta forma de evaluar pudiera tener cierta visión sesgada, para dar mayor objetividad a la evaluación, la calificación de cada proyecto se hizo con el apoyo del panel de expertos, constituido al inicio de la investigación.

Durante la fase de ajuste del alcance y del presupuesto, existieron numerosas iteraciones que se pudieron asociar tanto a situaciones de diferente procedencia, como a falta de entendimiento entre los colaboradores, las propias limitaciones regulatorias de la ocupación, la volumetría del edificio o del diseño en general, por parte del organismo de la administración pública correspondiente (generalmente el ayuntamiento del lugar) y también por los ajustes financieros y económicos del promotor y los requerimientos mal definidos, entre otros.

Estas iteraciones, creativas o de problemas diversos, generaron finalmente la toma de decisiones y las resoluciones adoptadas antes del inicio de las obras.

3.6.2 Prácticas *Lean Construction* implementadas durante la construcción

En la investigación se ha aplicado la herramienta de Lagos et al. (2017) para medir el nivel de implementación del SUP (ver Anexo F). El propósito de esta métrica es evaluar los componentes específicos del SUP (Lagos et al. 2019) y consta de dieciséis criterios, con “n” subcriterios para cada uno de ellos. Cada subcriterio es evaluado utilizando una escala tipo Likert simple compuesta por estas valoraciones: inexistente (0 puntos), mal implementado (1 punto), moderadamente implementado (2 puntos) y completamente implementado (3 puntos). El nivel de implementación de cada criterio

se obtiene por el promedio simple de sus subcriterios, y el nivel de implementación final es el resultado del promedio de los 16 criterios (Lagos et al. 2019).

A todos los criterios se les otorga el mismo peso ya que la incorporación de pesos priorizados podría generar sesgos en el instrumento, y porque el propósito de la métrica que se obtenga será evaluar los componentes específicos del SUP y servir como herramienta para evaluar las prácticas utilizadas (Lagos et al. 2019).

Durante la ejecución de estos seis proyectos, además de evaluar el nivel de implementación del SUP, se midió semanalmente el PPC (ver Anexo G). El PPC, ampliamente descrito en el capítulo segundo, es uno de los indicadores del SUP más utilizados. Realizando el cálculo del número de compromisos, las actividades que se han completado y se comprueba su efectiva ejecución al finalizar la semana, en relación con las actividades libres de restricciones que la semana anterior se predijo que se iban a completar, se consigue medir y valorar el grado de confianza sobre la planificación a corto plazo que se va realizando semana tras semana (Daniel et al. 2015; Salvatierra et al. 2015).

Para la valoración de cada proyecto, el investigador realizó entrevistas con los jefes de obra de los proyectos elegidos. Luego, en una sesión colaborativa, el investigador discutió la calificación final de cada práctica con los jefes de obra de cada proyecto. Como esta forma de evaluar pudiera tener cierta visión sesgada, para dar mayor objetividad a la evaluación, la calificación de cada proyecto se hizo con el apoyo del panel de expertos constituido al inicio de la investigación.

Se realizaron análisis entre los valores del PPC, el nivel de implementación del SUP y las prácticas *Lean* antes del comienzo de las obras (Lagos et al. 2017; Herrera et al. (2020) que permitieron observar relaciones entre ellos. En los casos del estudio, los jefes de obra verificaban, mediante el cálculo semanal del PPC, si los compromisos que estaban cumpliendo concordaban con las actividades planteadas en el plan inicial. Cada final de semana se mantenían las reuniones en las que se comprobaba el trabajo conseguido; normalmente estas reuniones se intentaban celebrar los jueves por la tarde o los viernes por la mañana. En estas reuniones se realizaba primero la comprobación de las tareas cumplidas durante la semana y se planificaban las actividades a realizar la semana inmediatamente entrante. En la comprobación de los trabajos completados totalmente en la semana que estaba concluyendo, se hacía el cálculo del PPC y se verificaba el grado de cumplimiento conseguido en la semana vencida (Ballard y Tommelein 2016).

Finalmente, en el último nivel investigativo empleado en esta investigación, el estudio de casos múltiple, se realizó una comparación cuantitativa y cualitativa entre los resultados de los proyectos y las proposiciones y los hallazgos encontrados en la literatura de investigación académica existente para sacar conclusiones sobre el comportamiento del SUP y los efectos de su adopción en la gestión de la construcción de viviendas unifamiliares.

3.7 Análisis estadístico

Antes del comienzo del análisis estadístico, se prepararon los datos. El estar almacenados en una única hoja de cálculo formando una matriz, se facilitó en gran

medida su visualización y su manipulación. La introducción de nuevos datos o la corrección de valores existentes en la matriz de datos se hacía sencillamente no teniendo que manipular o importar constantemente datos de un lugar a otro con el riesgo de cometer errores en los nuevos apuntes. Todas las modificaciones se realizaban sobre los archivos originales.

Se realizó una depuración de los datos la cual consistió en descartar los proyectos cuyos datos no habían podido completarse correctamente durante la consecución de las obras; también se descartaron los proyectos en los que no se tuvo completa fiabilidad de las respuestas dadas por los jefes de obra y los proyectos que pudieron considerarse en algún momento como un caso atípico.

En segundo lugar, se actualizaron los costes para poder comparar las obras construidas en diferentes años, bajo condiciones económicas variables. En la actualización de los costes se recurrió al IPC, el índice de precios de consumo cuyo cálculo es elaborado por el Instituto Nacional de Estadística todos los meses (INE 2023).

Mediante un factor corrector que tiene en cuenta la variación del IPC entre el mes en el que comienzan las obras y el correspondiente al del mes de marzo de 2023, el último publicado en el momento de la depuración y preparación de los datos, se actualizaron los valores de los costes obtenidos en los diferentes momentos de las fases de los proyectos seleccionados en esta investigación. Se calculó mediante la Ecuación (3.1).

$$\text{Factor corrector de costes} = \frac{\text{IPC marzo 2023}}{\text{IPC mes que comienza la obra}} \quad (3.1)$$

Una vez depurados y actualizados los datos, se obtuvieron los valores numéricos, las variables de resultado de los costes y los plazos de entrega de las obras a través de las operaciones de cálculo realizadas con las variables de entrada.

Tras la preparación de los datos, se realizó un análisis estadístico con el conjunto de datos obtenidos para describir las principales características y deducir las propiedades de la muestra. Las pruebas estadísticas suministraron al investigador las bases para comparar, criterios para referenciar o diferenciar desde el análisis de probabilidades, si existían o no diferencias significativas entre los dos grupos de proyectos, los que en cuyas obras se había implementado el SUP y en las obras que no.

La estadística es la ciencia que se ocupa del estudio y la aplicación del conjunto de pruebas necesarias para recoger, clasificar, representar y resumir los datos de un experimento aleatorio, así como para la realización de inferencias a partir del análisis de esos datos (Cao et al. 2022).

Las dos ramas en las que se divide la estadística son la estadística descriptiva y la estadística inferencial. La rama que se emplea primero en un análisis estadístico es la estadística descriptiva. Mediante la estadística descriptiva se describe y se resumen las características de una recogida de datos de una muestra de una población principalmente de forma cuantitativa, pero sin la intención de obtener aprendizajes sobre la población a la que pertenece la muestra (Seoane et al. 2007).

Sin embargo, con la otra rama de la estadística, la estadística inferencial se pretende explicar y analizar las propiedades de la muestra y a su vez de la población a la que pertenece. Por tanto, no solo se recogen y se resumen las características o las propiedades de la muestra, sino que se analizan y se explican a partir de los datos obtenidos. Para poder analizar y explicar correctamente las propiedades de la muestra, primeramente, es necesario haber realizado un buen análisis mediante la estadística descriptiva y haber conseguido unas conclusiones correctas (Seoane et al. 2007).

Aunque los resultados obtenidos con la estadística inferencial podrán estar sometidos al azar o ser aleatorios en cierta medida, esto es que carezcan de patrones o regularidades, mediante la elección de las pruebas correctas se podrán obtener resultados significativos (Ramírez y Polack 2020).

La estadística inferencial puede ser o se divide en estadística inferencial paramétrica o no paramétrica. Se podrán emplear pruebas de la estadística inferencial paramétrica cuando se conozca, con anterioridad al análisis, la forma de la distribución de los datos obtenidos de la muestra estudiada. Cuando se desconozca la distribución de los datos se tendrán que emplear pruebas estadísticas inferenciales no paramétricas (Cao et al. 2022).

En la actualidad la estadística está experimentando un importante avance, fruto de la disponibilidad de medios informáticos cada vez más avanzados que permiten el manejo de grandes volúmenes de datos, así como la aplicación de nuevos métodos de cálculo estadístico (Cao et al. 2022). En esta investigación se utilizó el software Minitab (versión 18.1.0).

En este estudio, la muestra la formaron la construcción de veinte proyectos de viviendas unifamiliares finalizados entre 2016 y 2020 que, a su vez, se dividió en dos grupos o submuestras:

- Catorce proyectos fueron contruidos por diferentes empresas constructoras, con modalidad de contratación por licitación con procedimiento restringido de manera tradicional (modalidad de adquisición, contratación y entrega, diseño/licitación/construcción, DBB).
- Seis proyectos fueron contruidos por diferentes empresas constructoras, con modalidad de contratación por licitación con procedimiento restringido de manera tradicional (modalidad de adquisición, contratación y entrega, diseño/licitación/construcción, DBB), implementando la metodología del Sistema del Último Planificador (SUP) en su construcción.

Se obtuvieron las medias, las medianas, desviaciones estándar, mínimos y máximos de cada variable de entrada y de resultado de la muestra (Alonso et al. 2002).

Tras el análisis mediante estadística descriptiva de los datos disponibles, se realizó un segundo análisis empleando la estadística inferencial mediante el uso del software Minitab (versión 18.1.0). Pero como para poder aplicar procedimientos paramétricos se necesita conocer en primer lugar la distribución de los datos provenientes de la muestra estudiada y para ello es necesario que la muestra sea mayor o igual a 30 elementos o casos, en esta investigación, al disponer solo de veinte obras, se tuvieron

que aplicar procedimientos de la estadística inferencial no paramétrica (Ramírez y Polack 2020).

La estadística no paramétrica comprende las pruebas estadísticas en las cuales no es necesario conocer la forma de su distribución y no se puede saber debido al menor tamaño de la muestra si se ajustan a los criterios de la estadística inferencial paramétrica. Para este análisis se empleó la prueba estadística no paramétrica “U de Mann-Whitney” (Xia et al. 2014; Loosemore y Denny-Smith 2016).

La prueba “U de Mann-Whitney”, permite comparar dos muestras de dos poblaciones o determinar si dos muestras pertenecen a una misma población, dando por hecho que se trabaja con muestras aleatorias independientes. Esta prueba es la alternativa a la prueba paramétrica “t de Student” de dos muestras. Se recurrió a esta prueba no paramétrica porque, dado el tamaño de la muestra, no se podía saber si se cumpliría el supuesto de normalidad (Ramírez y Polack 2020). Cuando se trata de comparar solo dos grupos, una de las pruebas más utilizadas es la prueba “U de Mann-Whitney”. Es una prueba no paramétrica que ayuda a determinar si hay una diferencia significativa entre dos grupos independientes. Una de las principales ventajas de esta prueba es que no requiere que los datos se distribuyan normalmente, lo que la convierte en una herramienta poderosa para comparar grupos con distribuciones de datos no normales. La prueba “U de Mann-Whitney” es sensible a las diferencias tanto en la tendencia central, la mediana, como en la propagación de los datos. Esto significa que incluso las pequeñas diferencias entre los dos grupos pueden detectarse mediante esta prueba. Una de las limitaciones de la prueba de Mann-Whitney es que solo se puede usar para comparar dos grupos, como sucede en este estudio. Si se tienen más de dos grupos, deberá usarse una prueba diferente (Ramírez y Polack 2020).

Los resultados de la prueba de Mann-Whitney se informan seguidos de un valor “p”. Si el valor “p” es igual o menor que el nivel de significancia elegido (generalmente 0,05), entonces se podrá rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencia entre los dos grupos. Si el valor “p” es mayor que el nivel de significación, entonces no se podrá rechazar la hipótesis nula (Xia et al. 2014). El valor “p” indica la probabilidad de obtener la diferencia observada entre los dos grupos por casualidad. Un valor pequeño de “p” indica que es poco probable que la diferencia haya ocurrido por casualidad, mientras que un mayor valor de “p” sugiere que la diferencia puede deberse a una variación aleatoria.

En tercer lugar, se planteó un análisis de correlación, para facilitar el reconocimiento y la selección de los resultados que definirían mejor la buena consecución de las obras. Esta técnica estadística sirve para entender la relación existente entre dos variables. Si hay algún tipo de correlación, ambas variables aumentarán o disminuirán juntas en función una de la otra. El análisis exploratorio de datos mediante correlación, al detectar patrones o relaciones entre variables, puede ayudar a la creación de nuevas hipótesis o hallazgos y permitir la elección de las variables que presentan mayor vinculación con el objetivo (Pinilla y Rico 2021).

En el estudio se analizó la correlación entre variables tanto de entrada como de resultado con el coeficiente de Spearman, dado que los datos obtenidos

correspondían a variables cuantitativas continuas y variables cualitativas nominales. Cuando todas las variables sean cuantitativas, será más adecuado calcular su correlación mediante el coeficiente de Pearson, pero como en esta investigación algunas variables no fueron cuantitativas, se decidió emplear el coeficiente de la rho de Spearman (Jordan et al. 2011).

Como con el resto del análisis estadístico para el análisis correlacional se utilizó el software Minitab (versión 18.1.0) mediante correlaciones bivariadas con el coeficiente de correlación de la rho de Spearman. Primeramente, se convirtieron algunas variables tanto de entrada como las de resultado en variables dicotómicas convertidas a categorías binarias de atributo presente o valor por encima de la media con un “1”, y de atributo ausente o valor por debajo de la media mediante un “2” (Jordan et al. 2011).

El intervalo de valores que se puede obtener con la correlación de Spearman es de entre “1” y “-1”. Los valores próximos a “1” representan una correlación muy alta y los valores cercanos a “0” significan que la correlación entre las variables enfrentadas es mínima o nula. El coeficiente de correlación cuantifica la correlación entre dos variables, cuando la relación realmente existe. El hecho de que exista correlación entre las variables no implica que exista causalidad o dependencia entre ellas (Pinilla y Rico 2021). El signo del coeficiente indica la dirección de la correlación. Cuando el signo es positivo refleja una correlación directa; mientras más altos sean los valores de una variable más altos serán los de la otra variable. Cuando el signo es negativo refleja una correlación contraria a lo comentado anteriormente.

En la Tabla 3.3 se muestran los rangos de los valores de los coeficientes de la correlación de Spearman y su clasificación, interpretándose de esta manera las relaciones obtenidas desde nulas hasta perfectas, pasando por bajas, moderadas o altas. Al igual que sucede en otras pruebas estadísticas el nivel de significación “p” cuando sea igual o menor de 0,05 indicará que el hecho analizado no será resultado de una mera casualidad o, mejor dicho, tendrá una probabilidad muy baja de que lo sea por mero azar (Montgomery 2012).

Tabla 3.3: Interpretación del coeficiente de correlación de Spearman

Rango de valores del coeficiente	Interpretación de los valores del coeficiente
0	Relación nula
Entre 0 y 0,2	Relación muy baja
Entre 0,2 y 0,4	Relación baja
Entre 0,4 y 0,6	Relación moderada
Entre 0,6 y 0,8	Relación alta
Entre 0,8 y 1,0	Relación muy alta
1	Relación perfecta

Fuente: Sanz 2016

Sin embargo, los resultados dados de forma aislada mediante la correlación de Spearman aportaron poca información para desarrollar una mayor explicación el resultado de las obras e inspirar cuestiones más prácticas.

Para poder mejorar y aumentar la posibilidad de obtener importantes hallazgos en esta investigación se propuso como siguiente nivel investigativo realizar una combinación

de algunas variables de entrada y de resultado ya empleadas en esta investigación. Es por esto por lo que se planteó un cuarto análisis basado en el uso de la técnica cualitativa “análisis comparativo cualitativo” (QCA de sus siglas en inglés) que a continuación se desarrolla.

3.8 Análisis comparativo cualitativo

Con el objetivo de alcanzar mayor profundidad en el conocimiento de las variables de coste y plazo de entrega de las obras, y confirmar lo conseguido con el análisis de correlación, se planteó el uso de la técnica “análisis comparativo cualitativo” (QCA). De esta forma se completó la investigación cuantitativa realizada mediante métodos estadísticos con una investigación cualitativa. De esta manera se pudo entender y discutir mejor los resultados anteriormente conseguidos (Jordan et al. 2011; Kraus et al. 2018).

QCA es una técnica que permite identificar modelos causales (Jordan et al. 2011); apropiada para usarla con una muestra de casos, normalmente cuando se tienen pocos casos para plantear una encuesta, pero demasiados casos para plantear un estudio de casos tradicional. QCA proporciona buenos resultados al analizar las interacciones entre condiciones y resultados en una investigación (Shrestha et al. 2021). En este estudio, las condiciones elegidas fueron las siguientes variables de entrada: la implementación del SUP, la experiencia del jefe de obra gestionando construcciones similares y la experiencia del encargado gestionando construcciones similares. Mientras que los resultados fueron las variables de resultado seleccionadas tras el análisis estadístico y más concretamente el análisis de correlación: la desviación del plazo y la desviación del coste.

Este método requiere previamente categorizar las condiciones y los resultados; por lo tanto, se transformaron en variables categóricas, según se muestra en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Categorización de las condiciones y los resultados

Condiciones	Definición
Implementación del SUP	0: No; 1: Sí
Experiencia del jefe de obra en construcciones similares	0: <15 años; 1: ≥15 años
Experiencia del encargado en construcciones similares	0: <15 años; 1: ≥15 años
Resultados	Definición
Desviación de plazo	0: <media; 1: ≥media
Desviación de coste	0: <media; 1: ≥media

Fuente: elaboración propia

Una vez categorizadas las condiciones y los resultados, se identificaron las condiciones como necesarias o como suficientes para el resultado obtenido. Las condiciones necesarias son aquellas que, si no suceden, no se cumple la proposición, mientras que las condiciones suficientes son aquellas que, por ellas mismas, hacen que se cumpla la proposición planteada. Clasificar las condiciones necesarias y suficientes ayuda a entender qué factores deben considerarse los más importantes para garantizar el éxito del proyecto (Yu et al. 2019).

Identificar las condiciones necesarias y suficientes, implica dar los siguientes pasos:

- Definición de la Tabla de la verdad
- Identificación de las condiciones necesarias
- Identificación de las condiciones suficientes

3.8.1 Tabla de la verdad

En esta parte de la investigación, primeramente, se dio forma a una matriz con las condiciones y los resultados, para organizar la información disponible. A partir de esa matriz, se formaron grupos de variables de resultado de coste y de plazo, y se elaboraron las Tablas denominadas “Tablas de la verdad”. Una vez confeccionadas las Tablas de la verdad, se identificaron las condiciones necesarias y las condiciones suficientes que permitieran valorar el resultado de las variables elegidas de manera dicotómica como correcto o incorrecto.

Las Tablas de la verdad emplean un esquema binario que refleja la afección por la intervención de las variables. En cada una de las obras, los valores para cada variable de resultado se convirtieron dicotómicas, esto es a categorías binarias. El atributo que está presente o de valor positivo, se sustituye por un “1” y el atributo ausente o el valor negativo, se representa con un “0” (Jordan et al. 2011). Seguidamente se tuvo que definir las condiciones de éxito que tenían que suceder en cada grupo de variables de resultado.

Las Tablas de la verdad ilustran la relación entre condiciones y resultados, analizando cada caso de forma aislada (Rihoux y Ragin 2009). Las Tablas de la verdad muestran la configuración de la muestra de casos observados. Si hay “n” condiciones, cada Tabla de la verdad contiene un número de filas equivalente al número de lógicas posibles o categorías “0 o 1” (2^n) (Hallavo et al. 2018). En este estudio, ya que había tres condiciones y cada una tenía dos categorías, había ocho (2^3) filas en cada Tabla de la verdad. Después de definir las Tablas de la verdad, las filas que no tuvieron representación fueron eliminadas.

3.8.2 Condiciones necesarias

Las condiciones necesarias son las condiciones que deben estar presentes para lograr un cierto resultado (Celoza et al. 2021). Se mide la bondad de cada condición necesaria a través de las puntuaciones de consistencia y cobertura (Kraus et al. 2018). La consistencia describe el grado de solidez de una condición respecto del resultado (Kraus et al. 2018). Por lo tanto, la consistencia se calcula para cada condición como la proporción de casos que tienen la categoría que corresponde a un resultado positivo (Celoza et al. 2021). La puntuación de la consistencia se mide entre “0 y 1”, donde un valor de “0” indica que no hay consistencia y un valor de “1” indica consistencia total. La métrica de la cobertura mide cuánto del resultado está cubierto (o explicado) (Kraus et al. 2018). La cobertura se calcula para cada condición como la relación del número de casos que tienen la categoría que corresponde a un resultado positivo respecto al total de casos con categoría “1” de la condición. La cobertura se mide entre “0 y 1”, donde un valor de “0” indica que no hay cobertura y un valor de “1” indica cobertura total. Según estos parámetros, una condición necesaria es definida como aquella con

una puntuación de consistencia superior a 0,8 y una cobertura superior a 0,40 (Yu et al. 2019).

3.8.3 Condiciones suficientes

Finalmente se determinaron las condiciones suficientes como las combinaciones de condiciones que influyen en los resultados positivos, suficientes para lograr los resultados. Estos resultados se evalúan también en términos de consistencia y cobertura. La cobertura se calcula como la proporción de casos de resultados que están cubiertos por una configuración (Kraus et al. 2018).

Por motivos del tamaño de la muestra de la población de estudio, menor de treinta elementos o casos, y dada la dificultad para ampliar su tamaño, el siguiente paso fue realizar un estudio de casos múltiple con el grupo de obras en las que se había implementado el SUP. De esta manera se querían validar los resultados obtenidos y reflexionar y ahondar más en la investigación.

Mediante el QCA se pudieron demostrar diferencias significativas de resultados entre los grupos de obras en las que se había implementado el SUP y en las que no, pero fue necesario validar estos resultados y encontrar cómo y por qué influía la implementación del SUP en los proyectos. Estas preguntas pudieron ser investigadas mediante el estudio de casos múltiple.

3.9 Estudio de casos múltiple

3.9.1 Justificación

Se continuó la investigación, llevando a cabo un análisis de casos múltiple sobre la metodología utilizada en seis proyectos, el Sistema del Último Planificador (SUP), que no es una práctica habitual en la gestión de proyectos de construcción en el ámbito español. De esta manera, se validaron los resultados previamente obtenidos y se profundizó en el entendimiento de cómo la aplicación del SUP impacta en los resultados de las obras. Ya se habían aplicado otras técnicas cuantitativas y cualitativas en esta investigación, sin embargo, fue necesario comprobar los resultados obtenidos y descubrir cómo y por qué, el SUP influía en los proyectos donde era implementado. Este aspecto fue abordado mediante un estudio de casos múltiple.

El estudio de casos es uno de los métodos cualitativos más habituales en el ámbito de la investigación científica y proporciona información valiosa que no se puede obtener a través de otros métodos (Monge 2010). En este trabajo, el estudio de casos múltiple es adecuado para profundizar en el análisis de los seis proyectos que han aplicado el SUP e investigar por qué algunos han tenido mejor resultado que otros. A lo largo del segundo capítulo, se mostró la complejidad del contexto analizado, la implementación del SUP durante la ejecución de las obras, un entorno en el que el aspecto social es fundamental (Coller 2005). Por tal razón, este método formará parte de este estudio.

En la investigación académica revisada hay mucha literatura que describe y ejemplifica este método, pero en esta investigación, como referencia principal, se tomará el libro del estadounidense Robert K. Yin: *Case study research and applications: design and methods* (6ª Ed.). Yin (2018) proporciona dos definiciones del método del estudio de

caso. Por un lado, un estudio de caso se considera un análisis empírico que examina un fenómeno contemporáneo en profundidad dentro de su contexto real, especialmente cuando no se distinguen claramente los límites entre el fenómeno y su contexto (Luna 2017). En otras palabras, este método se utilizará cuando se quiera comprender en profundidad un fenómeno real, considerando las importantes condiciones del entorno.

La segunda definición que ofrece Yin (2018) subraya que el estudio de caso aborda una situación técnicamente difícil donde hay mayor número de variables relevantes que fuentes de evidencia. Por lo tanto, se tiene que recurrir a múltiples fuentes de evidencia, donde se debe realizar una comprobación de los datos por triangulación, lo que además permite orientar la recogida de los datos y su análisis mediante el desarrollo previo de las proposiciones teóricas (Coller 2005).

En términos básicos, el SUP es una herramienta para gestionar la planificación de proyectos, así como un posible motor para la mejora continua, todo ello en un contexto social. No se puede separar el concepto de su entorno; sin embargo, llevar a cabo el SUP también implica gestionar factores como el coste y el plazo de entrega del proyecto, y quizás la parte principal: implica coordinar a las personas, quienes son esenciales en la mayoría de los proyectos (Castillo et al. 2016). Un fenómeno como este examinarse intensamente desde diversos puntos de vista, con el fin de recopilar y estudiar los más mínimos detalles desde las diferentes fuentes de datos (Coller 2005).

Este método es adecuado y conveniente cuando se busca explorar, describir o explicar el cómo y el porqué del fenómeno en cuestión (Yin 2018). Este enfoque es completamente pertinente en este estudio, ya que su objetivo principal es describir y detallar cómo y por qué la implementación del SUP mejora los resultados de los proyectos de construcción. El estudio de casos es apropiado para investigar fenómenos actuales cuando las conductas relevantes no pueden ser manipuladas por el investigador, lo cual aplica en esta investigación, dado que el investigador es, simplemente, un mero espectador que observa las prácticas relacionadas con el fenómeno estudiado, no siendo en ningún momento el protagonista del evento analizado (Coller 2005).

Por lo tanto, se concluye que el estudio de casos múltiples es apropiado para lograr el objetivo de esta etapa, que es analizar la metodología aplicada en seis de los proyectos (el SUP) que no se utiliza de manera habitual. Así, se validan los resultados previos y se profundiza en el entendimiento de cómo la implementación del SUP influye en los resultados de los proyectos de construcción.

Yin (2018) menciona cuatro controles comúnmente utilizados para evaluar la calidad de la investigación empírica en un contexto social:

- Validez de construcción. Esto implica que las variables utilizadas en la investigación deben ser las adecuadas con los conceptos del estudio. Para lograrlo, se encuentran estas estrategias: usar múltiples fuentes de evidencias, lo conocido como triangulación, mantener el origen y la trazabilidad de las evidencias y permitir que informadores clave revisen el análisis obtenido con el estudio de caso.

- Validez interna. Busca demostrar que resultados observados son realmente atribuibles a la intervención o tratamiento estudiado y no a otros factores externos o variables confusas. Consiste en establecer una relación causal confiable entre la intervención y los resultados. Las estrategias de análisis empleadas en este estudio han incluido *pattern matching*, *explanation building* y *cross-case analysis*.
- Validez externa. Consiste en comprobar si se puede ampliar el ámbito al que se pueden aplicar los hallazgos obtenidos.
- Fiabilidad. Se determina si los distintos pasos de la investigación pueden repetirse con resultados parecidos. La utilización de un protocolo del método utilizado, el estudio de casos múltiple y el desarrollo de una matriz de datos de la investigación son las posibles herramientas para garantizarla.

3.9.2 Proceso de investigación del estudio de casos múltiple

A continuación, se describe el proceso del estudio de casos múltiple respecto a estos factores fundamentales: las fuentes de datos y evidencias, los fundamentos de la recolección de datos, el procedimiento de análisis, la obtención de los hallazgos, y finalmente la verificación de esos hallazgos por parte de informadores clave (Yin 2018).

3.9.2.1 Fuentes de datos y evidencias

Estas son las cinco fuentes de datos y evidencias que Yin (2018) describe en su libro:

- Documentación: su función es comprobar las evidencias obtenidas a través de otras fuentes y para ampliar la búsqueda. Una cuestión importante es que los documentos los creó alguien con un objetivo concreto, para una audiencia concreta, y el investigador debe tener esto en cuenta y tratar de averiguarlo siempre para no extraer conclusiones incorrectas de los documentos (Stake 1995). En esta investigación se analizaron procedimientos, instrucciones técnicas, bases de datos y programas informáticos relacionados con la gestión de las obras analizadas.
- Datos de archivo: los datos de archivo normalmente son registros informáticos de diversa índole (Stake 1995). En esta investigación se trató de acceder a los presupuestos económicos de las obras, a los planes de ejecución de las obras, a los estudios económicos, y a los archivos de seguimiento económico de las obras.
- Entrevistas: fue la fuente clave para la obtención de evidencias en esta investigación. Se tiene que realizar un esfuerzo por entender la realidad observada desde el punto de vista de las personas involucradas, es decir, ver a través de sus experiencias (Fellows y Liu 2008). En este estudio, se realizaron entrevistas a los verdaderos protagonistas en la gestión de un proyecto de construcción, los jefes de obra. Según Fellows y Liu (2008), las entrevistas, en este caso entrevistas semiestructuradas son una modalidad, que combina las preguntas abiertas con las preguntas completamente cerradas. En esta investigación se formularon preguntas de ambos tipos a los entrevistados, y siguiendo lo que afirma Yin (2018), las entrevistas fueron guiadas a través de cuestionarios, permitiendo que las conversaciones fluyeran y abordaran incluso

temas que no se habían considerado al principio. Durante la entrevista, se mantuvo una conexión coherente entre las preguntas planteadas y los objetivos de la investigación. Las preguntas dirigidas a los entrevistados se realizaron de manera amistosa y relajada, con el objetivo de que se sintieran cómodos y se pudiera obtener respuesta a las preguntas del cuestionario. Se creó un protocolo (que se encuentra en el Anexo E). Este protocolo contiene el guion para las entrevistas semiestructuradas y las preguntas que se harán a los entrevistados. Sin embargo, como se ha mencionado, la charla fluyó de manera natural, lo que llevó al entrevistado a señalar, comentar o plantear cualquier aspecto que considerara relevante, tanto en relación con lo que se le preguntó como a otros temas que deseara abordar. Las entrevistas se hicieron a jefes de obra, titulados universitarios en ingeniería o arquitectura (de grado medio o superior) con experiencia profesional en el sector de la construcción no inferior a cinco años y experiencia profesional en su puesto de trabajo actual no inferior a dos años.

- Observación directa: de acuerdo con Yin (2018), la observación directa es válida porque el fenómeno a estudiar está en el presente, lo que permite observar comportamientos o elementos del entorno en el contexto del caso, la obra. Existen dos categorías de observaciones directas:
 - Las formales. Consisten en evaluar la aparición de ciertos comportamientos o eventos durante períodos específicos en el campo.
 - Las informales. Durante las visitas, en este caso, a las obras, se pueden recolectar datos de manera más casual. Este tipo de observación directa es el que se utilizó en esta investigación.
- Objetos físicos: en el transcurso de este estudio, las evidencias provienen del propio avance de las obras, siendo la propia construcción el objeto físico de análisis.

3.9.2.2 Fundamentos de la recolección de datos

Estos son los principios o fundamentos que se deben seguir en las diferentes formas de recopilación de datos mencionadas anteriormente, siempre con el objetivo de mejorar la investigación a través de conseguir una mayor calidad investigativa:

- Utilizar diversas fuentes de evidencia: es esencial para llevar a cabo un estudio de casos múltiple. De esta manera se crean líneas de investigación que convergen, así una conclusión específica es más probable que sea más precisa si se fundamenta en diferentes fuentes que la respaldan. Esto se denomina triangulación (Villarreal y Landeta 2010). Yin (2018) se enfoca en la triangulación de datos, que implica reunir evidencia de distintas fuentes para validar un mismo hecho. En esta investigación, las técnicas que se utilizaron para obtener evidencias dentro del estudio de casos múltiple fueron:
 - La observación participativa.
 - La información cuantitativa basada en documentos de la obra: planificación y presupuestos (resultados parciales y totales).
 - Las entrevistas a personal clave de la obra, los jefes de obra en este caso.

- Crear una base de datos: esta herramienta se usa registrar la información recopilada. Su objetivo es aumentar la consistencia en la investigación (Villarreal y Landeta 2010). Los datos se obtienen en cuatro tipos de formatos (notas, documentos, tablas y relatos):
 - Las notas son el formato más común. Estas son los apuntes que hace el investigador durante la observación del fenómeno estudiado (Villarreal y Landeta 2010).
 - Documentos diseñados para facilitar el acceso a la información que ofrecen de manera eficaz.
 - Tablas que presentan datos numéricos.
 - Relatos que unen las diversas evidencias obtenidas con las preguntas de la investigación.
- Realizar la trazabilidad de las evidencias: esto es crucial para aumentar la fiabilidad y validez de la investigación. Se busca que un observador externo pueda realizar el seguimiento de cómo cada evidencia se relaciona con los objetivos y las conclusiones alcanzadas (Bonache 1999). Yin (2018) aclara que:
 - A partir de las conclusiones se tiene que poder deducir las preguntas de la investigación.
 - Las conclusiones específicas deben referenciar las partes relevantes de la base de datos.
 - Se deben registrar las pruebas y las condiciones en que se obtuvieron las conclusiones.
 - Las condiciones en las que se recopilaron los datos deben alinearse con las preguntas establecidas en el protocolo.
 - El protocolo debe explicar la conexión entre su contenido y las preguntas de investigación.

En conclusión, debe ser posible transitar de una parte a otra del proceso del estudio de casos múltiple, mostrando claramente las referencias a los métodos utilizados y a las evidencias obtenidas (Bonache 1999).

3.9.2.3 Análisis de los datos

A diferencia de lo que sucede en un análisis estadístico, Yin (2018) indica que el análisis de los datos de un estudio de casos múltiple es uno de los aspectos menos desarrollado y más complicado de afrontar. Hay pocas fórmulas concretas o prescripciones que se puedan seguir (Stake 1995). En cambio, el análisis de datos depende en gran medida del rigor con el que cada investigador realice su razonamiento empírico, así como de una presentación adecuada de las pruebas y una cuidadosa reflexión sobre otras posibles interpretaciones. Yin (2018) indica que cada investigador debería incluso formular sus propios métodos de análisis.

En esta investigación, la estrategia general de análisis se ha fundamentado en las teorías encontradas en la revisión de la literatura. Esta investigación se ha centrado en analizar los datos en relación con las conclusiones conseguidas en los estudios previos. Basándose en estas teorías se establecieron los objetivos, las preguntas y el diseño general de este estudio (Stake 1995).

Seguidamente, se presentan las técnicas específicas que se tomaron como referencia para realizar el análisis y la representación de los datos de esta investigación, como parte de la estrategia mencionada anteriormente (Yin 2018). Estas técnicas están diseñadas específicamente para reforzar la validez interna de un estudio de casos múltiple:

- *Pattern matching* (coincidencia de patrones). Consiste en mostrar la relación entre los resultados de la investigación, caso a caso, de manera individual para conseguir patrones empíricos, lo que se ha llamado hallazgos, y patrones teóricos o teorías. Si un hallazgo o patrón empírico determinado coincide con una teoría, este hecho añadirá validez interna al estudio.
- *Explanation building* (construcción de explicaciones). Se basa en elaborar una exposición de cada aspecto del caso, formulando un patrón teórico preliminar que funcione como guía. Entonces se da un proceso iterativo donde se compara el patrón con los diferentes elementos que van modificando el patrón original hasta alcanzar finalmente una conclusión. El proceso implica identificar las expectativas teóricas, contrastarlas con la realidad observada en los casos y describir las diferencias para llegar a una mayor comprensión.
- *Cross-case analysis* (análisis cruzado de casos). Es característico de estudios que involucran varios casos y siempre se aplica junto con algunos de los métodos anteriores. Se usará en esta investigación.

3.9.2.4 Hallazgos de los casos

Después de llevar a cabo el análisis de los datos según el procedimiento indicado, correspondía describir los hallazgos de esta investigación. Los hallazgos son las descripciones de las ideas surgidas durante la investigación del fenómeno estudiado y se desarrollan teniendo en cuenta los patrones experimentales probados que se han identificado y comparado con la teoría (Miles et al. 2013).

Miles et al. (2013) enfatizan la relevancia de argumentar y mostrar los hallazgos de una investigación de manera visual, gráfica y clara y por este motivo, en esta investigación, se usaron numerosos gráficos, y, además, se complementó la argumentación de los resultados que han dado lugar a los hallazgos con un conciso texto explicativo.

3.9.2.5 Verificación de los hallazgos por parte de informadores clave

Una vez extraídos los hallazgos, se procedió a contrastarlos con informadores clave, los dos jefes de obra, que formaron el panel de expertos, dos arquitectos técnicos con más de 15 años de experiencia en gestión de la edificación, conocedores del SUP y que anteriormente lo habían implementado en alguna de sus obras. Para ello se mantuvo una entrevista semiestructurada con cada uno de ellos (según Anexo H).

3.9.3 Validación externa

En línea con los postulados de Yin (2018) expuestos en el párrafo anterior, Taylor et al. (2010) plantean que, para argumentar la validez externa de una investigación, los investigadores deben demostrar la aplicabilidad del modelo, describiendo escenarios

diferentes a los casos analizados que puedan ser explicados por el modelo teórico desarrollado.

En el presente estudio, no fue posible contrastar los resultados de la investigación con las mismas prácticas analizadas, en otras obras que hubieran implementado el SUP. Por la dificultad de conseguir datos con la misma orientación en otras obras en las que se hubiera implementado el SUP, no fue posible comprobar las proposiciones o los hallazgos, de modo que se pudieran generalizar al universo de las obras en general o incluso a obras similares a los casos de esta investigación, la construcción de viviendas unifamiliares.

3.10 Conclusiones y recomendaciones

Como resultado final de la investigación se presentan las conclusiones y las contribuciones teóricas y prácticas de la investigación. Las recomendaciones de esta investigación se constituirán de acuerdo con las conclusiones obtenidas e irán enfocadas a la mejora de la gestión de las obras en el sector de la construcción en España. También se reconocen las limitaciones encontradas en este estudio y se plantean las posibles líneas futuras de investigación que darían continuidad a este trabajo.

Por tanto, se termina el proceso con las conclusiones obtenidas, las limitaciones del estudio y, puesto que ninguna investigación queda cerrada o terminada del todo, se plantean las futuras líneas de investigación. Estos apartados se recogen en el capítulo quinto de la presente tesis doctoral.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del análisis estadístico

4.1.1 Estadística descriptiva

4.1.2 Estadística inferencial no paramétrica

4.1.3 Análisis de correlación

4.1.3.1 Correlaciones entre variables de entrada

4.1.3.2 Correlaciones entre variables de entrada y resultado

4.1.3.3 Correlaciones entre variables de resultado

4.2 Análisis comparativo cualitativo

4.2.1 Consistencia y cobertura

4.2.2 Condiciones necesarias

4.2.3 Condiciones suficientes

4.2.4 Hallazgos

4.3 Resultado del estudio de casos múltiple

4.3.1 Análisis de las Prácticas LDM (*Lean Design Management*)

4.3.2 Análisis de las Prácticas *Lean Construction*

4.3.3 Verificación externa de los hallazgos

4.3.4 Hallazgos

4.4 Validación externa y fiabilidad de los resultados

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Seguidamente se describen y analizan los datos obtenidos de la muestra desde tres niveles investigativos, tal y como se explicó en el capítulo anterior. En primer lugar, se realizó un análisis exploratorio. Las técnicas utilizadas fueron la estadística descriptiva, la estadística inferencial no paramétrica y el análisis de correlación de Spearman.

Seguidamente, con el fin de validar los resultados del análisis exploratorio, se planteó el uso de un “análisis comparativo cualitativo” (QCA de sus siglas en inglés). De esta forma se completó la parte primera de la investigación, que fue cuantitativa, con una segunda parte, que fue cualitativa. La integración de las técnicas cuantitativas con técnicas cualitativas permitió entender y discutir mejor los resultados. Finalmente, para profundizar en el conocimiento de los resultados obtenidos con las técnicas anteriores, se realizó un estudio de casos múltiple.

4.1 Resultados del análisis estadístico

Una vez depurados y actualizados los datos, con las variables de entrada obtenidas, se hicieron los cálculos necesarios para obtener las variables de resultado. Como ya se describió en el capítulo anterior, se efectuó un análisis estadístico con el conjunto de variables de entrada y variables de resultado, para describir las principales características y deducir las propiedades de la muestra. Las pruebas estadísticas suministraron las bases y los criterios para comparar, desde el análisis de probabilidades, si existían o no diferencias significativas entre las obras que implementaron el SUP y las obras que no lo implementaron, y cómo afectaba el grado de experiencia que el equipo de obra poseyera en la construcción de esta tipología de edificios, las viviendas unifamiliares.

Por tanto, en este trabajo se analizaron los efectos tanto individuales como combinados del SUP y la experiencia del equipo de obra, formado, en estos casos, por jefe de obra y encargado, en términos de desviación de coste y de plazo de entrega de las obras como factores de éxito de la edificación de viviendas unifamiliares de nueva construcción. En el análisis de los datos se empleó el programa Minitab (versión 18.1.0), software descrito en el capítulo tercero, y las disciplinas utilizadas en este nivel investigativo han sido la estadística descriptiva, la estadística inferencial no paramétrica y el análisis de correlación de Spearman.

4.1.1 Estadística descriptiva

En primer lugar, mediante estadística descriptiva, se llevó a cabo un análisis preliminar del conjunto de datos, con el objetivo de describir las características y peculiaridades de la muestra. La descripción de las características del grupo de obras que formaron la muestra fue el objetivo del empleo de esta rama de la estadística (Seoane et al. 2007). La muestra la formaron veinte proyectos de viviendas unifamiliares, cuyas obras se ejecutaron entre 2015 y 2020, sobre los que se realizó este análisis estadístico. A

continuación, se recuerdan los criterios de selección de las obras expuestos en el capítulo primero:

- Tipo de obra: construcción de vivienda unifamiliar aislada
- Clase de obra: de nueva construcción
- Tamaño de obra: presupuesto entre 300.000 y 800.000 €
- Tipo de promotor: privado, autopromotor, usuario final del edificio
- Modalidad de contrato y entrega: diseño/licitación/construcción (DBB)
- Plazo de construcción: de 12 a 15 meses
- Ubicación: España

Mediante la cumplimentación del cuestionario general descrito en el capítulo anterior, se recogieron una tipología de datos que requirieron el empleo de distintas clases de mediciones según los tipos de variables (Cohen et al. 2014). El conjunto de respuestas incluyó variables cualitativas nominales y variables cuantitativas continuas. Con las primeras se calcularon frecuencias relativas y con las segundas se obtuvieron los parámetros estadísticos: medias, desviaciones estándar, medianas, máximos y mínimos (Alonso et al. 2002).

Para poder realizar este análisis, previamente, las variables cualitativas del tipo nominal se convirtieron en variables numéricas, clasificándolas con los valores dicotómicos de "1" o de "2"; con un "1" cuando la variable presentaba una mayor frecuencia, atributo presente o respuesta positiva, y con un "2" cuando la variable presentaba una menor proporción, atributo ausente o respuesta negativa.

Como se describió en el capítulo primero, y se pudo comprobar con los datos recogidos en el cuestionario general, las veinte obras elegidas (N=20) tuvieron un alto grado de homogeneidad en cuanto a su tipología: construcción de vivienda unifamiliar, obra nueva de dos plantas con cubierta plana y cimentación superficial a base de zapatas. La superficie construida media de los edificios fue de 382,40 m²; el resto de los estadísticos se pueden ver en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Estadísticos de las superficies construidas

Variable	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Superficie construida (m ²)	20	382,40	94,80	248,00	343,00	572,00

Fuente: elaboración propia

El equipo de obra formado, en estos casos, por jefe de obra y encargado, tenía una experiencia media mayor de diez años y los promotores de los proyectos eran autopromotores y usuarios finales del edificio. La elección y contratación del constructor por parte del promotor se hizo mediante licitación con procedimiento restringido con una segunda vuelta o ajuste y rebaja de los presupuestos de las empresas constructoras que estuvieron mejor posicionadas en el concurso económico respecto de las expectativas de costes y plazos del promotor. El plazo de construcción inicialmente pactado entre promotor y constructor osciló entre 12 y 15 meses, y todos los proyectos estaban ubicados en España.

Se solicitaron datos al equipo de obra, como fueron la experiencia en la ejecución de obras y construcción de edificios de la misma tipología estudiada y la experiencia previa en la implementación del SUP. La experiencia del jefe de obra y del encargado en la ejecución de obras de edificios similares se recoge en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Experiencia del equipo de obra

Experiencia del Jefe de Obra y Encargado	N	Frecuencia relativa (%)
Ambos con más de 15 años de experiencia	8	40
Ambos con menos de 15 años de experiencia	5	25
Jefe de Obra menos de 15 años y Encargado más de 15 años	7	35
Total	20	100

Fuente: elaboración propia

Respecto a los equipos de obra estudiados de la muestra, en el 40% de las obras, tanto jefe de obra como encargado tenían más de 15 años de experiencia en gestión de la construcción de obras similares; en el 35% de los casos, solo el encargado tenía más de 15 años de experiencia; y en el 25% restante ni jefe de obra ni encargado poseían más de 15 años de experiencia en gestión de la construcción de obras similares. En todos los casos la experiencia media del equipo de obra formado por jefe de obra y encargado fue superior a 10 años.

Ninguno de los jefes de obra y encargados involucrados en los veinte proyectos analizados tenía experiencia en la implementación del SUP; por lo tanto, la experiencia del equipo de obra respecto a la implementación del SUP no fue analizada en esta investigación. Como se puede ver en la Tabla 4.3, en seis de los veinte proyectos se logró aplicar el SUP con diferente nivel de implementación.

Tabla 4.3: Implementación del SUP

Implementación del SUP	N	Frecuencia relativa (%)
Sí	6	30
No	14	70
Total	20	100

Fuente: elaboración propia

En el apartado “plazos”, se registraron como variables de entrada los plazos de construcción estipulados en los contratos entre promotor y constructor, los plazos previstos planificados por el equipo de obra y los plazos reales conseguidos tras la finalización de las obras, las fechas previstas y las fechas reales del inicio y finalización de las construcciones. La fecha real de inicio de la construcción fue la fecha de la firma del acta de replanteo de las obras y la fecha de finalización de la construcción fue la fecha del acta de recepción de las obras sin reservas.

Los plazos promedio de construcción se muestran en la Tabla 4.4. El plazo medio inicial previsto fue de 10,70 meses, mientras que el plazo real bruto de construcción medio fue de 15,95. Cabe indicar, como ya se explicó en el capítulo tercero, que como “plazo bruto” se consideró el plazo que incluía todos los retrasos producidos tanto por promotor, arquitecto como constructor. Mientras que teniendo en cuenta solo los

retrasos achacables a la constructora, el plazo que se denominó “neto”, y su promedio fue de 13,60 meses.

Tabla 4.4: Plazos de construcción

Variable (meses)	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Plazo previsto	20	10,70	0,98	10,00	10,00	12,00
Plazo real bruto	20	15,95	2,80	12,00	16,00	23,00
Plazo real neto	20	13,60	1,88	10,00	13,50	18,00

Fuente: elaboración propia

Las interrupciones provocadas por el promotor y el equipo de arquitectos obtuvieron valores muy similares, 1,20 y 1,15 meses de media respectivamente. Mientras que los retrasos achacados a la constructora fueron de 2,90 meses de media. Fue muy significativo que los retrasos atribuidos a la constructora supusieran un valor promedio de más del doble que los atribuidos a promotores y arquitectos (Tabla 4.5).

Tabla 4.5: Interrupciones durante la construcción

Variable (meses)	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Achacables al promotor	20	1,20	1,32	0,00	1,00	6,00
Achacables a la arquitectura	20	1,15	0,81	0,00	1,00	3,00
Achacables al constructor	20	2,90	1,25	0,00	3,00	6,00

Fuente: elaboración propia

Esto, supuso una variación media bruta de 5,25 meses y una variación media neta, solo considerando los retrasos provocados por la constructora, de 2,90 meses (Tabla 4.6), que en tanto por ciento (%), implica una desviación media sobre el plazo bruto del 49,08% y una desviación media respecto del plazo neto del 26,92% (Tabla 4.7).

Tabla 4.6: Variación del plazo en meses

Variable (meses)	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Variación bruta	20	5,25	2,45	2,00	5,00	11,00
Variación neta	20	2,90	1,25	0,00	3,00	6,00

Fuente: elaboración propia

Tabla 4.7: Desviación del plazo

Variable (%)	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Desviación de plazo bruto	20	49,08	22,63	20,00	50,00	91,67
Desviación de plazo neto	20	26,92	11,11	0,00	25,00	50,00

Fuente: elaboración propia

La velocidad media prevista fue de 1,61 m²/día que disminuyó a un valor de velocidad de ejecución bruta de 1,11 m²/día, siendo la velocidad neta de 1,28 m²/día (Tabla 4.8).

Tabla 4.8: Velocidad de construcción

Variable (m ² /día)	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Velocidad prevista	20	1,61	0,26	1,13	1,56	2,17
Velocidad bruta	20	1,11	0,27	0,63	1,06	1,73
Velocidad neta	20	1,28	0,24	0,81	1,24	1,73

Fuente: elaboración propia

En el apartado “costes” se analizaron los presupuestos resultantes del estudio inicial de la obra, los presupuestos de adjudicación y los presupuestos finales del proceso constructivo que las empresas constructoras entregaban a los promotores en forma de certificaciones aprobadas previamente por los equipos de arquitectos, autores de los proyectos y ejercientes de la dirección facultativa durante su ejecución, y que suponía el coste total de la construcción para el promotor. Estos presupuestos no incluyeron en ningún caso el coste de la compra del terreno, el mobiliario y otros que no fueran los de la construcción del edificio. Tampoco se incluyeron otros costes como podían ser los del vallado perimetral, la jardinería, la piscina y la urbanización de la parcela en general, ni tampoco algún otro edificio auxiliar.

Como ya se expuso en el capítulo tercero, todos los presupuestos se actualizaron con el IPC que permitió comparar las obras construidas en diferentes años bajo condiciones económicas variables desde un mismo punto de vista.

Las obras de esta investigación tuvieron un presupuesto medio de estudio de 459.500 €, un presupuesto de adjudicación de 414.900 € y concluyeron teniendo un presupuesto medio de ejecución de 466.900 € (Tabla 4.9). Entre el presupuesto de estudio y el presupuesto de adjudicación normalmente sucedía una disminución del importe, fruto del ajuste y la rebaja de algunos precios, la reducción de mediciones, incluso modificación del alcance original del proyecto. Durante la ejecución de las obras surgían imprevistos; el promotor solicitaba cambios o se retomaban trabajos que se habían descartado antes de la contratación de las obras y que el promotor volvía a desear y ordenaba su construcción. Una parte de la desviación positiva de los presupuestos de la construcción fue provocada por mejoras en las instalaciones y cambios en la calidad de los acabados propuestos por el promotor durante la ejecución de las obras.

Tabla 4.9: Presupuestos de construcción

Variable (en miles de €)	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Presupuesto de Estudio	20	459,50	141,50	310,00	386,50	749,00
Presupuesto de Adjudicación	20	414,90	138,10	285,00	338,50	655,00
Presupuesto de Ejecución	20	466,90	144,30	325,00	406,00	785,00

Fuente: elaboración propia

Se aprecia en la Tabla 4.10 una reducción media del 10,13% entre el presupuesto de estudio y el presupuesto finalmente aceptado y contratado. El motivo de esta reducción fue el ajuste comentado en el párrafo anterior. También se puede apreciar un aumento de los presupuestos durante la ejecución de las obras de un 13,81% de media.

Tabla 4.10: Desviación del coste

Variable (%)	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Desviación del coste estudio/adjudicación	20	-10,13	6,43	-22,16	-11,35	1,54
Desviación del coste adjudicac/ejecución	20	13,81	10,32	2,96	10,14	38,71

Fuente: elaboración propia

Con los datos solicitados a los jefes de obra en las entrevistas, las variables de entrada, se pudo calcular también las siguientes variables de resultado: los costes unitarios (€/m²) y las intensidades de construcción (€/m²/día) correspondientes al estudio, a la adjudicación y a la ejecución de las obras, como se puede comprobar en las Tablas 4.11 y 4.12.

Tabla 4.11: Costes unitarios

Variable (€/m ²)	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Coste unitario de estudio	20	1.197,20	168,30	936,60	1.184,40	1.533,60
Coste unitario de adjudicación	20	1.073,90	152,90	807,30	1.099,60	1.378,90
Coste unitario de ejecución	20	1.221,30	205,50	958,70	1.202,50	1.699,60

Fuente: elaboración propia

Tabla 4.12: Intensidad de construcción

Variable (€/m ² /día)	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Intensidad prevista	20	4,57	0,57	3,67	4,35	5,58
Intensidad bruta	20	3,54	0,61	2,39	3,72	4,54
Intensidad neta	20	4,12	0,65	3,05	4,02	5,52

Fuente: elaboración propia

Tras el preliminar análisis de los datos de la muestra mediante esta rama de la estadística, se continuó el análisis de los resultados empleando la estadística inferencial no paramétrica sobre la muestra de las veinte obras (Ramírez y Polack 2020).

4.1.2 Estadística inferencial no paramétrica

Mediante la Prueba “U de Mann-Whitney”, se compararon submuestras dos a dos y se pudo distinguir si la implementación del SUP y la experiencia en gestión del equipo de obra influían individualmente en el éxito de las obras; se determinó que había algunas diferencias significativas entre las submuestras seleccionadas.

Como en este estudio no se sabía si los datos se ajustaban a una distribución normal, dado que el tamaño de la muestra conseguida era inferior a 30 casos, fue más adecuado llevar a cabo este análisis con estadística inferencial no paramétrica, y usar como referencia central la mediana porque es, en estos casos, un parámetro más robusto que la media, lo que quiere decir que se ve menos afectado por la presencia de sesgos por la propia distribución o por valores extremos (Ramírez y Polack 2020). Por lo tanto, el empleo de la mediana en lugar de la media fue más representativo de la realidad muestral en esta parte de la investigación. La prueba no paramétrica de

Mann-Whitney es muy sensible a estas diferencias en la tendencia central y usa la mediana como referencia de sus cálculos.

Los resultados obtenidos se informaron seguidos del valor “p” ya que este indica la probabilidad de haber obtenido la diferencia observada entre las dos submuestras por casualidad (Montgomery 2012). Un valor pequeño de “p” indica que es poco probable que la diferencia haya ocurrido por casualidad, mientras que un mayor valor de “p” sugiere que la diferencia puede deberse a una variación aleatoria. En este análisis, cuando el valor de “p” fue igual o menor que el nivel de significancia elegido (0,05), se pudo rechazar la hipótesis nula (Xia et al. 2014).

Se consideró que se cumplía la hipótesis nula (H_0), afirmación que se supuso verdadera mientras no aparecieran evidencias que indicaran lo contrario, cuando las medianas de las dos submuestras eran iguales ($\eta_1 = \eta_2$), mientras que si se cumplía la hipótesis alternativa (H_1), el suceso contrario, las medianas de las dos submuestras serían diferentes ($\eta_1 \neq \eta_2$) como se aprecia en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13: Hipótesis empleadas en la prueba “U de Mann-Whitney”

Hipótesis nula	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Nota: H_0 : hipótesis nula. H_1 : hipótesis alternativa. η_1, η_2 : medianas de las submuestras enfrentadas.

Fuente: Elaboración propia

Mediante la prueba “U de Mann-Whitney”, utilizando el software Minitab (versión 18.1.0) se obtuvo una matriz con las variables que se pueden consultar en su totalidad en el Anexo C. En la Tabla 4.14 solo figuran las variables de resultado en las que se apreciaron diferencias significativas entre la mediana de la submuestra de los seis casos que implementaron el SUP y la mediana de la submuestra de los catorce casos restantes que no lo implementaron.

Tabla 4.14: Resultado de la prueba “U de Mann-Whitney”: implementación del SUP

Variable (meses, %)	N	Mediana	Diferencia	Confianza	Valor p
Variación plazo bruta	6	2,00	-3,00	0,96	0,02
	14	5,50			
Variación plazo neta	6	2,00	-1,00	0,96	0,01
	14	3,00			
Desviación de plazo bruta (%)	6	20,00	-27,50	0,96	0,02
	14	50,00			
Desviación de plazo neta (%)	6	20,00	-13,33	0,96	0,01
	14	30,00			

Nota: N=6: proyectos con implementación SUP. N=14: proyectos sin implementación SUP.

Fuente: elaboración propia

Respecto de estas cuatro variables de resultado se pudo rechazar la hipótesis nula y se pudo concluir que las medianas de las dos submuestras eran diferentes.

Como se verá más adelante, en el apartado 4.1.3, “Análisis de correlación”, las variables de resultado “variación de plazo”, tanto bruto como neto están muy altamente correlacionadas con las variables “desviación de plazo bruto” y “desviación de plazo neto” respectivamente.

Analizando los valores de las medianas obtenidos de estas variables de resultado referentes al plazo mediante la prueba “U de Mann-Whitney”, se observó que mientras que el grupo de los seis proyectos con implementación del SUP obtenía menor variación y menor desviación de plazo bruto respecto al grupo de los catorce proyectos sin implementación del SUP, cuando se compararon los resultados con los obtenidos respecto del plazo neto, se observó que el valor del grupo de los seis proyectos se repetía, siendo la mediana en ambos casos de un 20%, mientras que el valor de la mediana del grupo de catorce proyectos era sustancialmente menor, pasando de un 50% a un 30%.

Que tanto la variación como la desviación del plazo bruto y neto, en el grupo de los seis proyectos con implementación del SUP tengan el mismo valor de su mediana indica que esa variación es producida por retrasos achacables exclusivamente a los constructores y que por lo tanto en el grupo de proyectos donde se implementó con mayor o menor nivel, el SUP, no se manifestaron retrasos achacables ni a los promotores ni a las direcciones facultativas.

Por otro lado, en el grupo de catorce proyectos sin implementación del SUP se apreció que un 30% de la desviación del plazo era debida a causas achacables a los constructores y un 20% (sumando ambos, el valor de la mediana es del 50% de la desviación de plazo bruta) se corresponde a retrasos debidos a los promotores o a los arquitectos directores facultativos. Por tanto, la conclusión que se puede sacar de estos datos es que en la muestra, la implementación del SUP redujo los retrasos no achacables a los constructores entorno a un 20% y que también redujo los retrasos imputables a ellos en un 10%.

Se confirma de esta forma, como varios autores ya habían demostrado, la influencia positiva de la implementación del SUP en el plazo de ejecución de los proyectos de construcción (Alsehaimi et al. 2014; Venkatesh y Venkatesan 2021). Fernandez-Solis et al. (2013) destacaron que el efecto positivo del SUP en la reducción de la desviación del plazo se debía a que la planificación detallada con el SUP proporcionaba datos consistentes sobre la productividad, que es esencial para reducir las interrupciones en la obra y mejorar la comunicación y la colaboración (Kemmer et al. 2016). De manera similar, Koskela (2000) afirmó que la implementación del SUP podía reducir la desviación del plazo porque la esencia del SUP es planificar de manera adecuada, efectiva y eficiente, incluyendo planificación de hitos, de fases, planificación anticipada y planes de trabajo semanales (Fernandez-Solis et al. 2013). Además, Ballard (2000) ya destacó que el SUP tenía como objetivo optimizar los flujos de trabajo promoviendo la participación de todos los agentes involucrados en el sistema de control de producción de la obra.

Mediante un segundo análisis con la prueba “U de Mann-Whitney”, se enfrentó la submuestra de los ocho casos en los que el equipo de obra, tanto el jefe de obra como

el encargado tenían más de 15 años de experiencia en la gestión de la construcción de viviendas unifamiliares y los doce casos restantes que no tenían esa experiencia.

Respecto a los equipos de obra estudiados de la muestra, en el 40% de las obras, tanto jefe de obra como encargado tenían más de 15 años de experiencia en gestión de la construcción de obras similares, y el 60% restante, o solo el encargado, o ni jefe de obra ni encargado poseían más de 15 años de experiencia en gestión de la construcción de obras similares; aunque en todos los casos el equipo de obra, en su conjunto, disfrutaba de un promedio de más de 10 años de experiencia.

Mediante la Prueba “U de Mann-Whitney”, utilizando el software Minitab (versión 18.1.0) se obtuvo una matriz con las variables que se pueden consultar en su totalidad en el Anexo C. En la Tabla 4.15 solo figuran las variables en las que se apreciaron diferencias significativas entre las medianas de ambas submuestras.

Tabla 4.15: Resultado de la prueba “U de Mann-Whitney”: experiencia del equipo de obra

Variable (%)	N	Mediana	Diferencia	Confianza	Valor p
Desviación coste estudio/adjudicación	8	-5,95	6,36	0,95	0,05
	12	-13,23			
Desviación coste adjudicación/ejecución	8	5,42	-6,96	0,95	0,04
	12	16,36			

Nota: N=8: proyectos con equipo de obra con más de 15 años de experiencia. N=12: proyectos en los que no.

Fuente: elaboración propia

Tan solo, en estas dos variables de resultado, relativas a las desviaciones de coste, tanto entre los presupuestos de estudio y los de adjudicación de las obras, como entre los de adjudicación y los presupuestos al término de la construcción del edificio, se pudo rechazar la hipótesis nula y se pudo concluir que las medianas de estas variables de resultado en las dos submuestras eran diferentes.

Con los datos obtenidos, lo más destacable fue la gran diferencia entre ambos grupos, tanto de la desviación de coste entre las fases de estudio y adjudicación de la obra, como de la desviación de coste entre las fases de adjudicación y ejecución de la construcción, siendo esa diferencia en el primer caso mayor del doble y en el segundo caso mayor del triple.

Por otra parte, mientras que en el grupo de proyectos con equipos de obra con experiencia superior a 15 años, tanto en el jefe de obra como en el encargado, el ajuste presupuestario que hubo entre la fase de estudio y la adjudicación, no fue superado al finalizar la ejecución de las obras, no sucedió lo mismo en el grupo de proyectos con equipos de obra con experiencia menor de 15 años, donde el ajuste inicial entre las fases de estudio y adjudicación si fueron superadas al término de las obras. Ambas circunstancias podrían dar a entender que los equipos con mayor experiencia gestionaban mejor sus proyectos desde un primer momento y en todas sus fases siguientes.

Se confirma de esta forma lo que la revisión de la investigación académica proporcionó a través de diversos autores (Lemna et al. 1986; Uwakweh et al. 2005; Sauer et al. 2001; Atout 2014; Savelsbergh et al. 2016). La experiencia contribuye a

mejorar las habilidades del equipo de obra para desarrollar futuras obras similares, permite adelantarte a algunas incidencias si ya se han construido obras similares. Es fundamental el conocimiento del manejo de ciertos materiales con los que ya se haya trabajado en otros proyectos y hubieran ocasionado dificultades (Sanvido et al.1992). La experiencia previa del equipo de obra con proyectos similares fue uno de los requisitos de selección de los casos de la muestra de esta investigación.

Tras el análisis del conjunto de datos mediante estadística inferencial no paramétrica, se planteó un nuevo análisis, el cálculo de la correlación entre variables para facilitar la identificación y selección de las variables de resultado que podrían definir mejor el éxito de la obra entendiendo el éxito desde el punto de vista del cumplimiento del coste y del plazo previstos por el promotor.

4.1.3 Análisis de correlación

En este estudio se planteó un análisis de correlación para facilitar la identificación y selección de las variables de resultado que podían definir mejor el éxito de la obra entendiendo éxito desde el punto de vista del cumplimiento del coste y del plazo previstos por el promotor.

Mediante esta técnica estadística se detectaron las relaciones existentes entre variables, y surgieron patrones que permitieron la elección de las variables de resultado que presentaban, con mayor vinculación, la identificación y el análisis del comportamiento de los factores que influyeron en la implementación del SUP y en el cumplimiento de los indicadores de coste y plazo en la construcción de viviendas unifamiliares, objetivo principal de esta investigación.

En este estudio se analizó la correlación entre variables tanto de entrada como de resultado con el coeficiente de Spearman, dado que los datos obtenidos correspondían a variables cuantitativas continuas y variables cualitativas nominales. Como se vio en el capítulo tercero, cuando todas las variables sean cuantitativas, es más adecuado calcular su correlación mediante el coeficiente de Pearson, pero como en esta investigación algunas variables no fueron cuantitativas, y no se podía saber si cumplían normalidad, se empleó el coeficiente de Spearman (Jordan et al. 2011).

Este análisis correlacional utilizó, correlaciones bivariadas; las correlaciones detectadas sólo se referían, en concreto, a la relación entre las dos variables enfrentadas y no aportaba más información más allá de los datos bivariados.

Utilizando el software Minitab (versión 18.1.0) se estudió la relación entre pares de las variables obteniendo una matriz de correlaciones que se puede ver en su totalidad en el Anexo D.

El coeficiente de correlación de Spearman cuenta con valores de entre “1 y -1”. Los valores cercanos a “1” o a “-1” indican una correlación, directa o inversa respectivamente, muy alta; los valores cercanos a “0” expresan una correlación mínima o nula. En la Tabla 4.16 se presentan los rangos de los valores de los coeficientes de correlación (Montgomery 2012).

Tabla 4.16: Interpretación del coeficiente de correlación de Spearman

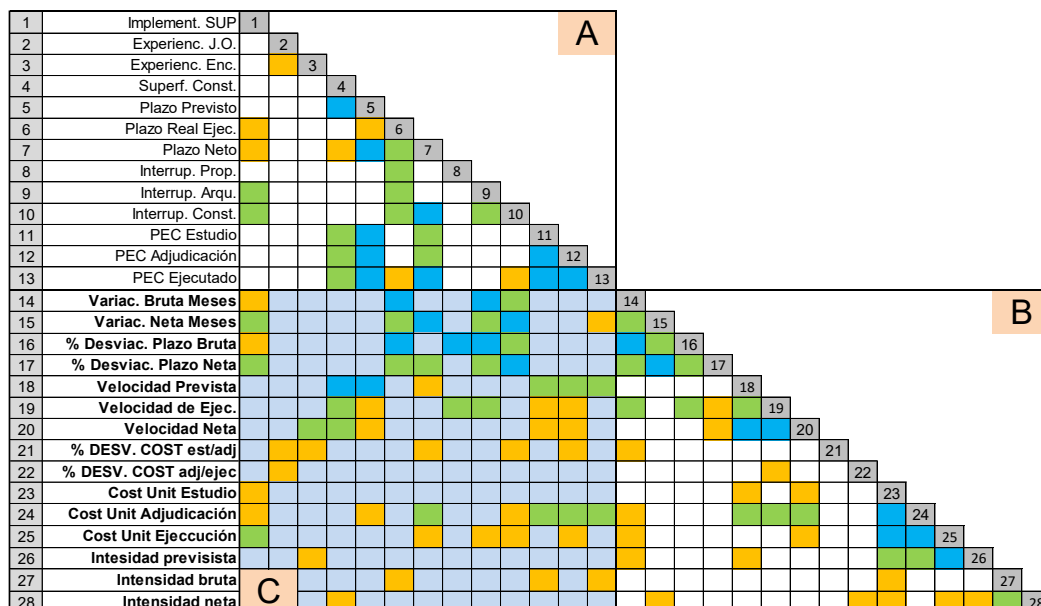
Rango de valores del coeficiente	Interpretación de los valores
0	Relación nula
Entre 0 y 0,2	Relación muy baja
Entre 0,2 y 0,4	Relación baja
Entre 0,4 y 0,6	Relación moderada
Entre 0,6 y 0,8	Relación alta
Entre 0,8 y 1,0	Relación muy alta
1	Relación perfecta

Fuente: Sanz 2016

Como correlaciones significativas solo se consideraron las correlaciones altas o muy altas según los rangos de la Tabla 4.16. La matriz de correlaciones se obtuvo utilizando el software Minitab (versión 18.1.0). Los niveles de correlación se representaron ayudándose del simbolismo de los colores para una mejor visualización de los datos de la manera que se muestra en el Gráfico 4.1. Los cuadrados azules indican una correlación muy alta, los cuadrados verdes una correlación alta y los cuadrados amarillos se corresponden con una correlación moderada. No se han representado correlaciones bajas o muy bajas. Los valores numéricos de la matriz de correlaciones se pueden ver en su totalidad en el Anexo D.

Por otra parte, se distinguieron tres sectores dentro del Gráfico 4.1: en el sector A se representaron las correlaciones entre las propias variables de entrada; en el sector B se representaron las correlaciones entre las variables de resultado; y en el sector C (con fondo gris) se representaron las correlaciones entre las variables de entrada y las variables de resultado.

Gráfico 4.1: Correlación entre variables (rho de Spearman)



Niveles de correlación: cuadrados azules (correlación muy alta), cuadrados verdes (correlación alta), cuadrados amarillos (correlación moderada). Nota: no se representan correlaciones moderadas, bajas o muy bajas.

Sector A: correlación entre variables de entrada. Sector B: correlación entre variables de resultado. Sector C: correlación entre variables de entrada y de resultado.

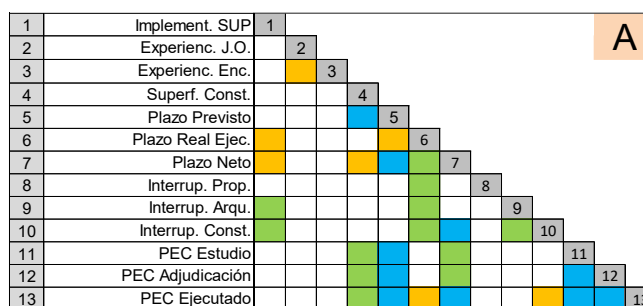
Fuente: Elaboración propia

4.1.3.1 Correlaciones entre variables de entrada

Como era previsible, mediante este análisis se detectaron correlaciones entre las variables de entrada, entre ellas mismas, correspondientes a las variables cuantitativas continuas “superficies construidas”, “plazos”, “interrupciones” y “presupuestos” que iban a ser utilizadas para realizar los cálculos para la obtención de las variables de resultado.

Todas ellas fueron necesarias para el cálculo de las variables de resultado, no siendo ninguna de ellas descartadas por presentar correlaciones entre ellas como se puede ver en la Gráfico 4.2.

Gráfico 4.2: Correlación entre las variables de entrada



Niveles de correlación: cuadrados azules (correlación muy alta), cuadrados verdes (correlación alta), cuadrados amarillos (correlación moderada). Nota: no se representan correlaciones moderadas, bajas o muy bajas.

Fuente: Elaboración propia

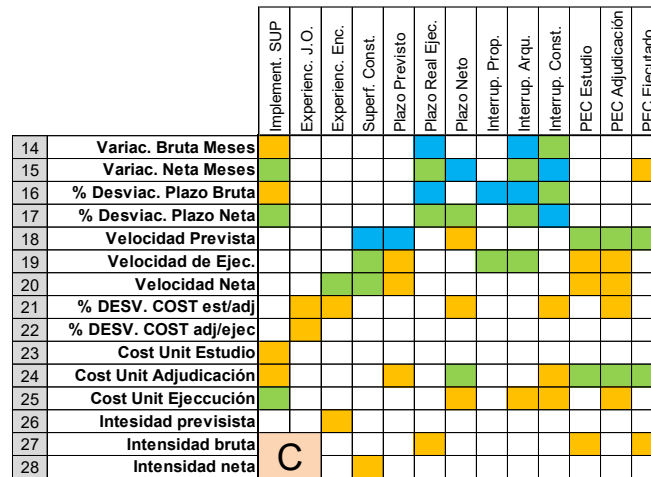
Se detectaron 10 correlaciones muy altas (representadas en azul) entre las variables de entrada “superficie construida”, “plazos previsto y neto”, y “presupuestos de estudio, adjudicación y ejecución”. También se encontró correlación entre las “interrupciones achacables a la constructora” y “el plazo neto” como era de esperar por la propia naturaleza de estas variables. Se podía presuponer que a mayor superficie construida, mayores plazos y también mayores presupuestos.

4.1.3.2 Correlaciones entre variables de entrada y resultado

Se identificaron algunas correlaciones altas o muy altas entre las variables de entrada y de resultado. Se detectaron correlaciones muy altas (representadas en el Gráfico 4.3 en azul) entre la variable “velocidad prevista” y las variables “superficie construida” y “plazos previstos”.

También se encontraron correlaciones entre el “plazo real de ejecución” y la “variación bruta en meses” y “la desviación bruta del plazo” como era de esperar por la propia idiosincrasia de las variables.

Gráfico 4.3: Correlación entre variables de entrada y variables de resultado



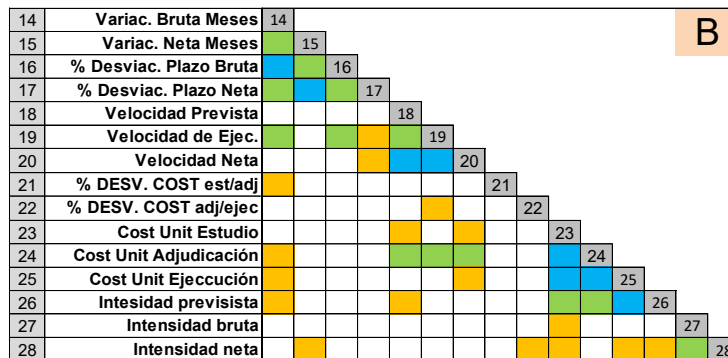
Niveles de correlación: cuadrados azules (correlación muy alta), cuadrados verdes (correlación alta), cuadrados amarillos (correlación moderada). Nota: no se representan correlaciones moderadas, bajas o muy bajas.

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.3 Correlaciones entre variables de resultado

Se identificaron algunas correlaciones altas o muy altas entre las variables de resultado. Se detectaron 8 correlaciones muy altas (representadas en el Gráfico 4.4 en azul) entre las variables de resultado, y 13 correlaciones altas (representadas en verde) entre las variables de resultado.

Gráfico 4.4: Correlación entre variables de resultado



Niveles de correlación: cuadrados azules (correlación muy alta), cuadrados verdes (correlación alta), cuadrados amarillos (correlación moderada). Nota: no se representan correlaciones moderadas, bajas o muy bajas.

Fuente: Elaboración propia

Como se pudo ver en las Tablas 4.14 y 4.15, en el análisis estadístico inferencial no paramétrico se apreciaron diferencias significativas entre algunas variables de resultado tanto entre las submuestras de casos que habían implementado o no el SUP como también se encontraron diferencias significativas entre las submuestras de los equipos de obra con mayor o menor experiencia en obras de características similares a las analizadas en esta investigación.

En relación con los “plazos”, se concluyó eligiendo la variable de resultado “desviación del plazo neto”, que en adelante, en esta investigación se denominará como

“desviación del plazo”, porque se refiere a la desviación del plazo solo achacable a los retrasos provocados por la gestión del equipo de obra, objeto de esta investigación.

Respecto al “coste”, se eligió como variable de resultado la “desviación del coste entre adjudicación y ejecución” que, en adelante, en esta investigación se denominará “desviación del coste”, porque fue la desviación de coste que se produjo una vez adjudicadas las obras, durante la construcción de las obras, periodo correspondiente a la unidad de análisis de esta investigación.

Pero los resultados obtenidos hasta ahora, analizando estas variables de resultado, de forma aislada, aportan poco valor para inspirar cuestiones más prácticas. Un análisis combinado de estas variables podría explicar mejor el comportamiento de los factores que influyeron en la implementación del SUP y en el cumplimiento de los indicadores de coste y plazo en la construcción de viviendas unifamiliares y aumentar la posibilidad de obtener nuevas hipótesis o hallazgos. Así pues, es por esto por lo que se planteó elevar la investigación al siguiente nivel investigativo mediante los “análisis comparativos cualitativos”.

4.2 Análisis comparativo cualitativo

Con motivo de aumentar en el conocimiento de los factores encontrados hasta este momento de la investigación, y validar los resultados obtenidos mediante el precedente análisis estadístico, se decidió usar la técnica denominada “análisis comparativo cualitativo” (QCA de sus siglas en inglés). Continuar la investigación realizada hasta este momento con investigación cualitativa, permitió entender mejor los resultados encontrados con el análisis estadístico (Ragin 1987; Jordan et al. 2011).

QCA es una técnica apropiada para usarla cuando se tienen pocos casos como para plantear una encuesta, pero demasiados casos para plantear un estudio de casos tradicional. Mediante el QCA se explica la presencia o ausencia de un resultado y permite construir explicaciones a partir de unas condiciones o configuraciones necesarias o suficientes (Jordan et al. 2011).

Con la técnica QCA se analizaron las interacciones entre las condiciones y los resultados que fueron elegidos en esta investigación (Shrestha et al. 2021). Las condiciones elegidas fueron las variables de entrada cualitativas nominales “la implementación del SUP” y “la experiencia del jefe de obra y del encargado gestionando construcciones de viviendas unifamiliares”. Mientras que los resultados fueron las variables de resultado seleccionadas tras el análisis de correlación: “la desviación del plazo” y “la desviación del coste”.

Los pasos del análisis que se siguieron en esta parte del estudio consistieron en conformar primeramente una matriz con las condiciones y los resultados (Tabla 4.17), para poder organizar la información disponible, y a partir de esa matriz, definir las denominadas “Tablas de la verdad”. Una vez confeccionadas las Tablas de la verdad, se identificaron las condiciones necesarias y las condiciones suficientes.

Tabla 4.17: Matriz de condiciones y resultados

CASOS	Implement. SUP	Experiencia Jefe de Obra	Experiencia Encargado	Desviación de Coste %	Desviación de Plazo %
TRT	No	<15 años	<15 años	5,17	25,00
ALB	No	<15 años	≥15 años	24,91	40,00
CAT	No	<15 años	≥15 años	27,03	30,00
ELI	No	<15 años	≥15 años	5,89	25,00
TEC	No	≥15 años	≥15 años	5,00	50,00
IVN	No	≥15 años	≥15 años	28,79	40,00
BRI	No	<15 años	≥15 años	38,71	40,00
CON	No	≥15 años	≥15 años	14,49	20,00
SOR	Si	<15 años	<15 años	21,61	10,00
RCF2	No	<15 años	<15 años	21,71	25,00
IVN2	No	<15 años	≥15 años	12,85	30,00
IVN3	Si	<15 años	<15 años	19,87	0,00
DSL	No	<15 años	≥15 años	10,84	25,00
RIC	Si	≥15 años	≥15 años	6,63	20,00
VIC	Si	<15 años	≥15 años	6,01	20,00
PAB	Si	≥15 años	≥15 años	5,83	20,00
ELI2	No	<15 años	<15 años	9,43	33,33
AHM	No	≥15 años	≥15 años	3,94	30,00
AHM2	No	≥15 años	≥15 años	2,96	30,00
FLC	Si	≥15 años	≥15 años	4,58	25,00

Fuente: elaboración propia

Las condiciones y los resultados se categorizaron como variables dicotómicas (ver Tablas 4.18 y 4.19). En la Tabla 4.20 se muestran los datos codificados para cada caso. Los resultados de la desviación del coste se codificaron como “1” si la desviación del coste era mayor o igual al 10,14% y “0” cuando la desviación fue menor del 10,14%. Y respecto a la desviación del plazo, se codificaron como “1” si la desviación era mayor o igual al 25% y “0” cuando la desviación fue menor del 25%. Ambas referencias se corresponden con las medianas obtenidas con el análisis de la estadística descriptiva. Como se vio durante el análisis estadístico, cuando los datos no se ajustan a una distribución normal, es más acertado utilizar, como indicador de la tendencia central de una muestra, la mediana porque es más representativa de la realidad muestral y mucho más robusta que la media. La mediana se ve menos afectada por la presencia de sesgos de distribución o de valores extremos.

Tabla 4.18: Categorización de los resultados

Resultados	Medianas de referencia	Definición
Desviación de plazo	25,00%	1: ≥mediana; 0: <mediana
Desviación de coste	10,14%	1: ≥mediana; 0: <mediana

Fuente: elaboración propia

Tabla 4.19: Categorización de las condiciones

Condiciones	Definición
Implementación del SUP	1: Sí; 0: No
Experiencia del jefe de obra en construcciones similares	1: ≥15 años; 0: <15 años
Experiencia del encargado en construcciones similares	1: ≥15 años; 0: <15 años

Fuente: elaboración propia

Tabla 4.20: Matriz de condiciones y resultados categorizados

CASOS	Implementación del SUP	Experiencia Jefe de Obra	Experiencia Encargado	Desviación de Coste	Desviación de Plazo
TRT	0	0	0	0	1
ALB	0	0	1	1	1
CAT	0	0	1	1	1
ELI	0	0	1	0	1
TEC	0	1	1	0	1
IVN	0	1	1	1	1
BRI	0	0	1	1	1
CON	0	1	1	1	0
SOR	1	0	0	1	0
RCF2	0	0	0	1	1
IVN2	0	0	1	1	1
IVN3	1	0	0	1	0
DSL	0	0	1	1	1
RIC	1	1	1	0	0
VIC	1	0	1	0	0
PAB	1	1	1	0	0
ELI2	0	0	0	0	1
AHM	0	1	1	0	1
AHM2	0	1	1	0	1
FLC	1	1	1	0	1

Nota: implementación del SUP: 0 = No, 1 = Si; experiencia del jefe de obra en obras similares: 0 = <15 años, 1 = ≥15 años; experiencia del encargado en obras similares: 0 = <15 años, 1 = ≥15 años; desviación de plazo: 0: < 25%, 1: ≥ 25; desviación de coste: 0: < 10'14, 1 ≥ 10'14

Fuente: Elaboración propia

Una vez categorizadas las condiciones y los resultados, para entender qué factores debían considerarse los más significativos para el resultado obtenido, se tuvo que identificar las condiciones como necesarias o como suficientes. Se recuerda que las condiciones necesarias son aquellas que, si no suceden, no se cumple la proposición planteada, mientras que las condiciones suficientes son aquellas que, por ellas mismas, hacen que se cumpla la dicha proposición (Yu et al. 2019; Celozza et al. 2021). Para identificar las condiciones como necesarias o suficientes, primero se conformaron las Tablas de la verdad.

Las Tablas de la verdad (Tablas 4.21 y 4.22, ambas de elaboración propia) se elaboraron mediante una evaluación binaria que reflejó el comportamiento de las variables. En cada una de las obras, los valores de cada variable de resultado se convirtieron en variables dicotómicas, reducidas a categorías binarias de atributo presente (1) o de atributo ausente (0) (Jordan et al. 2011).

Tabla 4.21: Tabla de la Verdad respecto a la desviación del plazo

Implementación del SUP	Experiencia Jefe de Obra	Experiencia Encargado	Desviación de plazo	CASOS
1	1	1	1	FLC
1	1	1	0	RIC, PAB
1	0	1	0	VIC
1	0	0	0	SOR, IVN3
0	1	1	1	TEC, AHM, AHM2, IVN
0	1	1	0	CON
0	0	1	1	ALB, CAT, BRI, DSL, ELI, IVN2
0	0	0	1	ELI2, TRT, RCF2

Tabla 4.22: Tabla de la Verdad respecto a la desviación del coste

Implementación del SUP	Experiencia Jefe de Obra	Experiencia Encargado	Desviación de coste	CASOS
1	1	1	0	RIC, PAB, FLC
1	0	1	0	VIC
1	0	0	1	SOR, IVN3
0	1	1	0	TEC, AHM, AHM2
0	1	1	1	IVN, CON
0	0	1	1	ALB, CAT, BRI, DSL, IVN2
0	0	1	0	ELI
0	0	0	1	RCF2
0	0	0	0	ELI2, TRT

Fuente de ambas Tablas: Elaboración propia

Las Tablas de la verdad ilustraron la relación entre las condiciones y los resultados, analizando cada caso de forma aislada (Rihoux y Ragin 2009); mostraron la configuración de la muestra de los casos observados. Al estar formada por cuatro variables (tres condiciones y un resultado), cada una de ellas con dos categorías, la Tabla de la verdad constó de dieciséis (2^4) filas (Hallavo et al. 2018); no obstante, las filas que no consiguieron representación fueron eliminadas.

4.2.1 Consistencia y cobertura

Con las condiciones establecidas, el siguiente paso fue determinar los valores de consistencia y cobertura de estas condiciones. La consistencia es el porcentaje de casos que cumplen la condición establecida entre el número de casos que obtuvieron el resultado de interés, y la cobertura, es el porcentaje de casos con el resultado de interés entre los casos que satisfacen la condición (Soto et al. 2020).

Dicho de otra forma, la consistencia mide la proporción de casos que muestran un resultado positivo y describe el grado de solidez de una condición respecto del resultado (Ragin 2017); se calcula para cada condición como la proporción de casos que tienen la categoría que corresponde al resultado positivo (Celoza et al. 2021). La puntuación de la consistencia se mide con valores entre “0 y 1”, donde un valor de “0” indica que no hay consistencia y un valor de “1” indica consistencia total.

Por otra parte, la métrica de la cobertura mide cuánto del resultado estaba cubierto o explicado con los casos analizados (Ragin 2017). La cobertura se calcula para cada condición como la relación del número de casos que tienen la categoría que corresponde al resultado buscado, positivo o negativo, respecto al total de casos con esa categoría de la condición. La cobertura también se mide entre “0 y 1”, donde un valor de “0” indica que no hay cobertura y un valor de “1” indica cobertura total.

A modo de ejemplo, en la primera fila de ambas Tablas de la verdad se representan los casos en los que el SUP fue implementado en el proceso de construcción, y la experiencia en gestión de la construcción de obras similares, tanto del jefe de obra como del encargado era igual o mayor de 15 años de antigüedad. En este caso (Tabla 4.23), la consistencia para la desviación del plazo fue 0,33 porque de los casos que cumplieron estas condiciones (FLC, RIC, PAB) solo uno (FLC) se completó con desviaciones de plazo igual o superior al 25%. Mientras que en la Tabla 4.24 se puede ver que la consistencia para la desviación del coste fue de “1” porque el 100% de los

casos que cumplieron estas condiciones (RIC, PAB, FLC) se completaron con desviaciones de costes inferiores al 10,14%.

Tabla 4.23: Consistencia respecto a la desviación del plazo

Implementación del SUP	Experiencia Jefe de Obra	Experiencia Encargado	Desviación de plazo	Consistencia	CASOS
1	1	1	1	0,33	FLC
1	1	1	0	0,67	RIC, PAB
1	0	1	0	1,00	VIC
1	0	0	0	1,00	SOR, IVN3
0	1	1	1	0,80	TEC, AHM, AHM2, IVN
0	1	1	0	0,20	CON
0	0	1	1	1,00	ALB, CAT, BRI, DSL, ELI, IVN2
0	0	0	1	1,00	ELI2, TRT, RCF2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.24: Consistencia respecto a la desviación del coste

Implementación del SUP	Experiencia Jefe de Obra	Experiencia Encargado	Desviación de coste	Consistencia	CASOS
1	1	1	0	1,00	RIC, PAB, FLC
1	0	1	0	1,00	VIC
1	0	0	1	1,00	SOR, IVN3
0	1	1	0	0,60	TEC, AHM, AHM2
0	1	1	1	0,40	IVN, CON
0	0	1	1	0,83	ALB, CAT, BRI, DSL, IVN2
0	0	1	0	0,17	ELI
0	0	0	1	0,33	RCF2
0	0	0	0	0,67	ELI2, TRT

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Condiciones necesarias

Se considera una condición como necesaria cuando obtiene una puntuación de consistencia superior a 0,80 y una cobertura superior a 0,40 (Yu et al. 2019). Como se muestra en la Tabla 4.25, la consistencia de la implementación del SUP para la desviación de costes fue de 0,40 porque, aunque 10 proyectos lograron desviaciones de costes inferiores al 10,14%, solo en cuatro de ellos se había implementado el SUP ($4/10=0,40$). La cobertura de la implementación del SUP fue 0,67 porque cuatro de los seis casos que implementaron el SUP lograron desviaciones de costes por debajo del 10,14% ($4/6=0,67$). Según Yu et al. (2019), cuando una variable tiene una cobertura baja ($<0,40$), debe considerarse empíricamente insignificante, incluso si la consistencia tiene un valor alto.

En términos de desviaciones de coste, la experiencia del encargado satisface estas condiciones; por lo tanto, un encargado de obra con más de 15 años de experiencia en la gestión de obras similares a las analizadas es condición necesaria para garantizar desviaciones de coste inferiores al 10,14%.

En cuanto a las desviaciones de plazo, la implementación del SUP y la experiencia del encargado fueron condiciones con consistencia mayor de 0,80, sin embargo, una alta cobertura solo se registró para la implementación del SUP. Como esta variable tuvo

una cobertura baja ($<0,40$), se consideró empíricamente insignificante, aunque la consistencia era de valor alto (Yu et al. 2019). En este caso, la variable experiencia del encargado tuvo una cobertura igual a 0,33. En consecuencia, solo la implementación del SUP pudo considerarse empíricamente significativa para garantizar el plazo de la obra con desviaciones inferiores al 25%.

Tabla 4.25: Análisis de condiciones necesarias

CONDICIONES	Desviación de Coste		Desviación de Plazo	
	Consistencia	Cobertura	Consistencia	Cobertura
Implementación del SUP	0,40	0,67	0,83	0,83
Experiencia del Jefe de Obra	0,60	0,75	0,50	0,38
Experiencia del encargado	0,80	0,53	0,83	0,33

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados corroboraron los obtenidos mediante la prueba “U de Mann-Whitney” y confirmaron que la implementación del SUP tuvo un efecto significativo en el éxito de la gestión de obras en términos de reducción de la desviación del plazo.

En cuanto a la desviación del coste, los resultados resaltan que la experiencia en gestión de obra del encargado es la variable más significativa. Por el contrario, este análisis no manifestó que la implementación del SUP ejerciera una influencia significativa sobre las desviaciones del coste.

Investigaciones realizadas en las décadas de 1980 y 1990 enfatizaron de manera similar la influencia del nivel de experiencia del encargado en términos de lograr el éxito de las obras (Lemna et al. 1986; Venkatesh y Venkatesan 2021).

Badger et al. (2012) afirmaron que “las empresas con los mejores encargados de obra serán las ganadoras a largo plazo en el sector de la construcción” y enfatizaron que los contratistas tendrían que trabajar en la mejora de sus habilidades y sus capacidades, tanto de los aspectos técnicos como de gestión de las obras, como factor diferenciador de las empresas de construcción.

4.2.3 Condiciones suficientes

Finalmente se determinaron las condiciones suficientes como la combinación de las condiciones que influían en los resultados positivos, suficientes para lograr los resultados (Tabla 4.26). Estos resultados se evaluaron también en términos de consistencia y cobertura (Ragin 2017).

Tabla 4.26: Análisis de condiciones suficientes

CONDICIÓN	Desviación de Plazo	Desviación de Coste
Implementación SUP = 1	P	P
Experiencia Jefe de Obra (JO) = 1	A	A
Experiencia Encargado (Enc.) = 1	P	P
Consistencia	0,50	0,40
Cobertura	0,75	1,00
CASOS	RIC, PAB, VIC	RIC, PAB, FLC, VIC

Nota: P: condición presente, A: condición ausente, Implementación SUP 1: Si, Exp. del JO 1: ≥ 15 años, Exp. del Enc. 1: ≥ 15 años

Fuente: Elaboración propia

Se identificó una combinación de condiciones que minimizaba tanto la desviación del coste como la desviación del plazo entre las obras de este estudio (es decir, condiciones suficientes): implementar el SUP y tener un encargado con más de 15 años de experiencia en gestión de obras similares. En términos de desviación de coste, esta condición suficiente mostró una consistencia media (0,40) y una cobertura total (1,00) (ver Tabla 4.26). Y también, esta condición suficiente corresponde a una consistencia media (0,50) con una alta cobertura (0,75) por desviaciones de plazo. Por lo tanto, estos resultados demostraron, con una consistencia media y con una cobertura alta ser una condición suficiente para lograr desviaciones de plazo inferiores al 25% y un coste por debajo del 10,14%, que fue implementar el SUP en la construcción de viviendas unifamiliares, en las que el encargado de la obra tuviera más de 15 años de experiencia en gestión de obras similares.

En este análisis, la experiencia del jefe de obra no presentó una influencia significativa respecto a la desviación del plazo y del coste; este factor se vio eclipsado por la mayor influencia de la experiencia del encargado y la implementación del SUP.

En el contexto del SUP, Fernandez-Solis et al. (2013) y Tayeh et al. (2018) destacaron que las habilidades técnicas del equipo de obra podían ayudar a implementar el SUP en las obras más fácilmente (Bortolazza et al. 2006; Fernandez-Solis et al. 2013). En este contexto, Alarcón et al. (2002) y Badger et al. (2012) ya declararon que efectivamente la gestión positiva con la participación de los encargados y capataces desempeñan papeles cruciales en el éxito de un proyecto. Aunque estudios anteriores habían indicado que muchas obras fracasan principalmente debido al papel del jefe de obra (Alsehaimi et al. 2014), otras partes interesadas, como el encargado de obra, también podían influir significativamente en los resultados (Lemna et al. 1986; Fernandez-Solis et al. 2013). Autores como Koskela (2000) y Fernandez-Solis et al. (2013) declararon que el papel del encargado es esencial para garantizar flujos de trabajo predecibles, garantizar la responsabilidad mutua entre los participantes de la construcción y guiar a los equipos de trabajo enseñándoles cómo planificar su trabajo de manera más efectiva. Además, Ballard (2000) afirmó que los encargados debían participar en los sistemas de control de la producción y en la selección de subcontratistas y que encargados con niveles bajos de experiencia en gestión de la construcción podían afectar negativamente en la planificación y comunicación de las obras.

4.2.4 Hallazgos

Una vez culminado el “análisis comparativo cualitativo” (QCA) de acuerdo con el procedimiento expuesto, se pudo dar respuesta parcial, a alguna de las preguntas de la investigación y, argumentar y presentar los dos primeros hallazgos mediante un texto explicativo y justificativo (siguiendo la propuesta de Miles et al. 2013), que a continuación se presentan.

Las desviaciones del plazo están inversamente relacionadas con la implementación del SUP.

Múltiples investigadores, en los últimos treinta años, han mencionado los beneficios del Sistema del Último Planificador (SUP) (Ballard y Howell 2003; Daniel et al. 2014; Lerche et al. 2020). Incluyen las mejoras en el cumplimiento de las tareas a corto plazo (Ballard y Tommelein 2016), la productividad laboral (Ballard y Howell 1994), la minimización de la variabilidad del flujo de trabajo (Ballard y Howell 1994; Nikhil y Hedao 2017) y la mejora del cumplimiento del plazo (Alarcón et al. 2014; Ballard y Tommelein 2016; Indira y Jyothsna 2017).

Aunque se sabe que la implementación del SUP tiene efectos positivos en la ejecución de las obras (Alarcón et al. 2008), existen pocos análisis sobre si su aplicación se puede relacionar con sus resultados (Castillo et al. 2016).

Un enfoque muy común para evaluar la construcción del proyecto consiste en fijarse en el logro de los objetivos marcados por el promotor, como son el coste, el plazo y la calidad (Kagioglou et al. 2001). Según algunos investigadores, las obras con implementación del SUP tienen más probabilidades de tener tasas de éxito más altas sobretodo en términos de cumplimiento del plan de obra (Alarcón et al. 2014; Ballard y Tommelein 2016; Lagos et al. 2019; Lagos y Alarcón 2020).

Algunos investigadores han encontrado relaciones directas entre el nivel de implementación del SUP y los índices de productividad, costes y cumplimiento del plazo de las obras (Kim et al. 2016; Leal y Alarcón 2010; Liu et al. 2011), pero no han podido determinar relaciones fuertes entre el nivel de implementación del SUP en las obras y su plazo final en parte debido a la falta de suficientes muestras (Formoso y Moura 2009; Kim et al. 2016).

Tanto con la prueba “U de Mann-Whitney”, como en uno de los análisis QCA, se pudo comprobar la relación inversamente proporcional en los casos entre las desviaciones del plazo y la implementación del SUP. Este hallazgo será más desarrollado en el siguiente nivel investigativo mediante un estudio de casos múltiple.

Implementar el SUP en obras cuyo encargado tenga amplia experiencia en la construcción de esta tipología concreta de edificios (viviendas unifamiliares) influye positivamente en los resultados de la ejecución de la obra (tanto en coste como en plazo).

Como se desarrolló en el capítulo segundo, la implementación del SUP requiere el compromiso del jefe de obra y del encargado (Fernandez-Solis et al. 2013; Ballard y Howell 1998; Lagos y Alarcón 2021); este compromiso es un factor clave del liderazgo

en los mandos medios y altos (Bresnen et al. 1984; Deep et al. 2022). Koskela (2000) ya hizo hincapié en el papel del encargado de obra en el éxito de la implementación del SUP.

En una obra, el jefe de obra representa al líder del equipo de construcción (Sauer et al. 2001; Toor y Ofori 2008) y está a cargo de la planificación y comunicaciones del proyecto (González et al. 2013; Chan et al. 2004). Pero el encargado es también el responsable de las actividades de construcción y supervisa la producción diaria y actúa como enlace entre la jefatura de obra y los demás trabajadores (Uwakweh 2005).

Las responsabilidades del encargado incluyen coordinar los equipos de producción que trabajan en una misma área, asignar trabajo a cada trabajador cuando haya terminado su último trabajo, controlar el movimiento de materiales hasta el punto de instalación, etc. (Koskela 2000; Ballard 2000). El encargado de la obra puede garantizar un flujo de trabajo predecible al coordinar las tareas diarias, controlar los tiempos de los trabajadores, el ritmo y la calidad del trabajo, interpretar planos y administrar los trabajos incluidos en el presupuesto (Lagos y Alarcón 2021; Bresnen et al. 1984).

La gestión de las obras requiere de la variedad de las competencias, tanto de los jefes de obra como de los encargados para realizar los trabajos de manera efectiva; pero estas competencias no son las mismas para cada rol (Rojas 2013). Las competencias del jefe de obra se han analizado con detalle en la investigación académica y comprenden tres competencias o habilidades principales (González et al. 2013; El-Sabaa 2001; Sunindijo 2015): técnicas, organizativas y humanas. El encargado, como gerente de nivel inferior, también requiere de algunas de estas competencias, con más énfasis en la categoría de habilidades humanas (Uwakweh 2005; Hewage et al. 2011).

La influencia de la experiencia de este equipo de obra, jefe de obra y encargado es uno de los principales impulsores potenciales en la gestión exitosa cuando se implementa el SUP (Fernandez-Solis et al. 2013). En este estudio, la gestión exitosa de las obras se midió en términos del coste y del cumplimiento del plazo previstos por el promotor.

Los niveles de competencias técnicas, organizativas y humanas del jefe de obra y del encargado tienen una influencia significativa en la ejecución de las obras (Fernandez-Solis et al. 2013). Muchos autores han descrito la influencia de la experiencia del jefe de obra y del encargado en el éxito de la gestión del proyecto (Rojas 2013; Ceric 2014; Savelsbergh et al. 2016). Además, varios estudios han destacado los beneficios de la colaboración con el SUP como un enfoque de paradigma clave, en términos de planificación y control de proyectos de construcción (Deep et al. 2022; Priven y Sacks 2015). Sin embargo, el papel que juegan estos factores en el éxito de la implementación del SUP ha sido sólo brevemente analizado en la investigación académica; además, ningún estudio hasta la fecha ha analizado específicamente la influencia de los niveles de experiencia de los gerentes en la gestión exitosa de proyectos de construcción al implementar el SUP.

En este estudio, se investigaron veinte proyectos españoles, viviendas unifamiliares de nueva construcción con características similares y se analizó cómo la implementación del SUP y la experiencia en gestión del jefe de obra y del encargado influyen individualmente en el éxito de las obras, consiguiendo desviaciones mínimas o asumibles de plazo y coste. Los resultados del análisis mostraron que la experiencia del encargado influía en la desviación de costes, mientras que la implementación del SUP lo hacía significativamente en la desviación del plazo.

El análisis cualitativo se basó en la técnica QCA. Este enfoque permitió analizar la influencia de la interacción de estas variables en términos de los resultados de la gestión de las obras. Se realizaron dos QCA para identificar las condiciones necesarias y las condiciones suficientes para lograr desviaciones de coste y plazo por debajo del 10,14% y del 25,00% respectivamente (ver Tabla 4.27).

Tabla 4.27: Medianas como valores de referencia del QCA

Variable (%)	Mediana
Desviación de plazo neto	25,00
Desviación entre adjudicación y ejecución	10,14

Fuente: elaboración propia

Se obtuvo que la experiencia del encargado de obra era una condición necesaria para mantener las desviaciones de costes por debajo del 10,14%; sin embargo, para lograr una desviación de plazo por debajo del 25,00%, solo la implementación del SUP se consideró significativa como condición necesaria. Entre los proyectos estudiados, se encontró que una combinación de condiciones era suficiente para minimizar las desviaciones tanto de coste como de plazo: implementar el SUP y tener un encargado de obra con más de 15 años de experiencia en gestión de obras. Además, se detectó que la experiencia en gestión de la construcción del jefe de obra no influía significativamente en las desviaciones de coste y plazo; el efecto de esta variable fue eclipsado por la experiencia del encargado y por la implementación del SUP.

Una implicación práctica de este hallazgo es que las empresas constructoras deberían seleccionar al encargado adecuado con la mayor experiencia en gestión de la construcción para garantizar que las desviaciones de costes se mantengan por debajo del 10,14%. Además, implementar el SUP en una obra con un encargado de amplia experiencia en gestión de la construcción podría mantener también las desviaciones de plazo de la construcción de una obra por debajo del 25,00%.

Para finalizar esta parte de la investigación, decir, que mediante QCA se pudo explicar la presencia o ausencia de los resultados y que permitió construir las explicaciones de algunos hallazgos a partir de las condiciones necesarias y suficientes obtenidas (Jordan et al. 2011). Debido al tamaño de la muestra del estudio, veinte proyectos, y a la dificultad de poder ampliar su tamaño, el siguiente paso fue realizar un estudio de casos múltiple con la submuestra o grupo de obras en las que se había implementado el SUP, que permitiera, de esta forma, reforzar y confirmar los resultados obtenidos y seguir investigando más en el funcionamiento de este sistema.

4.3 Resultado del estudio de casos múltiple

Se continúa la investigación, analizando mediante un estudio de casos múltiple, la influencia del Sistema del Último Planificador (SUP), en la construcción de viviendas unifamiliares. Esta metodología se implementó en seis de las veinte obras de la muestra y no es de aplicación habitual en el ámbito español. De esta forma se validan los resultados anteriores y se profundiza en el comportamiento de la influencia de la implementación del SUP en el resultado de las obras.

Formoso y Moura (2009) se preguntaron qué prácticas específicas del SUP producían los mayores impactos entendiendo como impacto los cambios que produjeran mejores resultados. Mediante el estudio de casos múltiple se estudió con mayor profundidad esta submuestra de obras que implementaron el SUP y se investigó por qué unas obras de esta submuestra tuvieron más éxito que otras, entendiendo el éxito desde el punto de vista del cumplimiento del coste y del plazo previstos por el promotor.

Aunque en la investigación ya se habían aplicado otras técnicas tanto cuantitativas como cualitativas, mediante este estudio de casos múltiple, se obtuvo una comprensión más profunda de lo que ocurría durante la ejecución de las obras, y se pudo validar los resultados obtenidos anteriormente y encontrar porqué influían más unos factores que otros.

Tal como sugiere Yin (2018), se desarrolló una estrategia particular de análisis que comenzó con las preguntas de la investigación, identificando las evidencias teóricas que respondían a esas preguntas extraídas de las sucesivas revisiones de la literatura, y también de las evidencias derivadas posteriormente del análisis de los datos. Por tanto, la estrategia general de análisis estuvo basada en la comparación de las proposiciones teóricas obtenidas de la revisión bibliográfica que inspiró la investigación y el análisis de los datos recopilados de los seis casos.

Las técnicas específicas que se tomaron como referencia en la investigación, como parte de la estrategia anteriormente mencionada (Yin 2018), especialmente destinadas a crear y demostrar la validez interna del estudio de caso, descritas en el capítulo tercero (Luna 2017), fueron *pattern matching* (coincidencia de patrones), *explanation building* (construcción de explicaciones) y *cross-case analysis* (análisis cruzado de casos).

El empleo de varias fuentes de datos fue esencial al desarrollar el estudio de casos (Yin 2018). Las técnicas que se utilizaron para la obtención de datos y evidencias fueron: la observación directa, la información cuantitativa basada en documentos de archivo de la obra y las entrevistas semiestructuradas a los jefes de obra. La triangulación de estas fuentes de datos permitió mejorar la validez de la investigación (Hernández-Sampieri et al. 2014).

Las evidencias fueron surgiendo tras las sucesivas revisiones bibliográficas y mediante observación directa conforme avanzaron las obras, por lo que se pudieron hacer las observaciones necesarias en el mismo entorno natural de los casos, las obras. Aprovechando las reuniones y visitas de obra, se pudieron tomar datos informalmente. Precisamente este fue el tipo de observación directa, la información directa informal, la que se aplicó durante esta investigación (Hernández-Sampieri et al. 2014).

También se pudo acceder a los presupuestos económicos de las obras, como fueron los presupuestos de estudio, de adjudicación y de entrega de las obras terminadas, definidos en el capítulo segundo, a los planes de ejecución de trabajos y a los controles económicos de las obras. Aunque, dada la confidencialidad de estos documentos, incluidos en los sistemas de control interno de coste de las empresas constructoras, no se consiguió copia de los documentos, pero sí se dispuso de la información sobre ellos que facilitaron los jefes de obra al cumplimentar los cuestionarios durante las entrevistas.

Las entrevistas fueron la fuente más importante de la obtención de los datos en este estudio. El investigador trató de determinar lo sucedido desde el punto de vista de los entrevistados, esto es observando a través de ellos (Fellows y Liu 2008; Hernández-Sampieri et al. 2014) realizando entrevistas semiestructuradas a los jefes de obra, verdaderos protagonistas, junto a los encargados, de la gestión de la construcción de las obras. Las entrevistas semiestructuradas constaron de preguntas abiertas y preguntas completamente cerradas (Fellows y Liu 2008). La información procedente de las entrevistas se analizó junto con la revisión de la investigación académica existente y los demás datos cuantitativos.

En las seis obras con implementación del SUP, además de recoger los datos del cuestionario general como en el resto de las obras, se realizó un procedimiento específico de recogida de datos propios del SUP como fueron los PPCs semanales (Anexo G) obtenidos del control de la planificación semanal, definida en el capítulo segundo (Daniel et al. 2015; Salvatierra et al. 2015). El PPC de cada obra se obtuvo por el promedio de sus correspondientes PPCs parciales conseguidos cada semana durante la construcción de los edificios.

Como se vio en el capítulo segundo, algunos investigadores coinciden ampliamente en que la clave del PPC es la medición de la fiabilidad de las promesas entre los agentes (Howell et al. 2004; Fauchier y Alves 2013). Aslam et al. (2020) realizaron una extensa revisión bibliográfica de estudios relacionados con el SUP entre 1992 y 2019 y presentaron valores medios de PPC de 16 casos. En base a estos estudios de caso, estimaron que el valor medio del PPC obtenido era de aproximadamente del 68% y reconocieron que estaba por debajo de sus expectativas. En la siguiente Tabla se muestran los valores de los PPCs obtenidos en los seis casos.

Tabla 4.28: PPCs totales correspondientes a cada caso

SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC
67	69	66	66	65	63

Fuente: Elaboración propia

En los seis casos, tanto la mediana como la media de los PPCs analizados tuvieron un valor coincidente del 66%, lo cual significó que los valores extremos no desvirtuaban la tendencia central de los datos y que se disponía de una submuestra homogénea.

Los seis proyectos se clasificaron de acuerdo con la mediana correspondiente de sus seis PPCs. Como se muestra en la Tabla 4.28, los proyectos SOR e IVN3 consiguieron un PPC mayor que la mediana y los proyectos RIC y FLC alcanzaron un PPC menor que la mediana; los proyectos VIC y PAB lograron un PPC con valor

coincidente con la mediana (66%). Esto dio lugar (Tabla 4.29) a la formación de tres grupos de dos obras cada uno a los que se llamó dúos A, B y C.

Tabla 4.29: PPCs correspondientes a cada dúo

A	B	C
68	66	64

A: los dos proyectos con el PPC mayor que la mediana;

C: los dos proyectos con el PPC menor que la mediana;

B: los dos proyectos que tuvieron un PPC con valor coincidente a la mediana.

Fuente: Elaboración propia

Agrupar casos de manera lógica usando como referencia la mediana de los seis casos permitió una comprensión más profunda de las características y variaciones dentro de los casos de este estudio, ya que permitió identificar diferencias en las respuestas o comportamientos entre los distintos segmentos elegidos, por encima y por debajo de su mediana.

El análisis a través de estos dúos permitió examinar si entre ellos respondían de manera diferente a las prácticas *Lean* empleadas o presentan comportamientos distintos unos de otros. Por otra parte, la formación de estos dúos permitió que el análisis fuera más eficiente y menos costoso.

Se calculó el nivel de buenas prácticas LDM (*Lean Design Management*) empleadas antes del inicio de las obras según Herrera et al. (2020) y, al finalizar cada obra, se calculó el nivel de implementación de los componentes del SUP, según el cuestionario de Lagos et al. (2019).

Ambas herramientas fueron ampliamente descritas en el capítulo tercero. Se aplicaron las herramientas de Herrera et al. (2020) y de Lagos et al. (2017) con el propósito de evaluar mediante estas métricas, el efecto producido por las buenas prácticas *Lean* empleadas antes del inicio de las obras y con la implementación de los componentes específicos del SUP durante la construcción de estos proyectos (Lagos et al. 2019).

Seguidamente se podrá ver el análisis de los resultados obtenidos con ambas herramientas.

4.3.1 Análisis de las Prácticas LDM (*Lean Design Management*) llevadas a cabo antes del inicio de las obras

Es habitual en este tipo de proyectos, la construcción de viviendas unifamiliares con autopromotor como usuario final, que, una vez elegida la empresa constructora adjudicataria, antes de la adjudicación definitiva y su contratación, se lleve a cabo un proceso de ajuste del alcance y de los presupuestos a las necesidades y decisiones finales de los promotores, (Bloom y Van Reenen 2007).

En las seis obras con implementación del SUP, para poder realizar estos ajustes a los requerimientos y necesidades de los promotores, desde un momento muy temprano, se solicitó la colaboración de las empresas constructoras adjudicatarias.

El aporte principal de los constructores consistió en asesorar para ajustar el diseño realizado por el equipo de arquitectos hacia un coste objetivo marcado por el promotor del proyecto, autopromotor y usuario final del edificio.

También fue tarea del constructor, junto con alguno de sus subcontratistas, asesorar para asegurar un diseño correcto de las instalaciones, la cimentación y estructura del edificio, la calidad de los acabados, y todo el proyecto en general.

Se utilizó la herramienta que propone Herrera et al. (2020), para medir el empleo de buenas prácticas *Lean Design Management* (LDM) durante el proceso de ajuste de los presupuestos a las necesidades y requisitos de los promotores. Herrera et al. (2020) proponen en sus investigaciones la utilización de 19 buenas prácticas LDM a desarrollar durante el diseño de los proyectos de construcción (Tabla 4.30).

Estas prácticas las agruparon en tres categorías: “gestión de las partes interesadas”, “planificación y control del proyecto”, y “resolución de problemas con toma de decisiones” (SM, PC y DM respectivamente de sus siglas en inglés).

Tabla 4.30: Buenas prácticas *Lean Design Management* (LDM)

ID	Definición
SM1	Los diseñadores especialistas están involucrados durante las primeras etapas del proyecto.
SM2	Los constructores están involucrados durante las primeras etapas.
SM3	La identificación de requisitos de las partes interesadas es exhaustiva, donde se definen requisitos, condicionantes, especificaciones técnicas y requisitos especiales.
SM4	La participación de los clientes en la fase de diseño implica la participación sistemática y el apoyo durante las reuniones de toma de decisiones y resolución de problemas.
SM5	El diseño del producto y el proceso de construcción se realizan simultáneamente.
PC1	La planificación de proyectos considera fechas de entrega, fases, hitos, planes de subdivisión de tareas e instancias de control. Todos ellos, inmersos en un esquema en el que se aclaran huecos, buffers y puntos, pueden ser utilizados para realizar acciones pull/push dentro del plan.
PC2	En cuanto a la planificación de proyectos, se considera la información de proyectos internos y/o externos de la organización, generada a través de un ejercicio de evaluación comparativa.
PC3	La planificación del proyecto se lleva a cabo en colaboración entre varias partes interesadas.
PC4	La planificación del proyecto se lleva a cabo a diferentes niveles (global, fase, intermedio y semanal).
PC5	Las restricciones en el proceso de diseño se identifican y registran en colaboración y son liberadas por una persona responsable. Se hace seguimiento de las restricciones.
PC6	La coordinación de la información del proyecto entre las diferentes partes interesadas se realiza a través de una única plataforma, lo que permite actualizaciones sistemáticas y comunicación continua entre las partes interesadas.
DM1	Existe un protocolo para resolver problemas de forma colaborativa.
DM2	El último planificador identifica el problema y realiza un causal análisis.
DM3	La solución al problema es implementada, monitoreada y documentada para verificar que el problema fue resuelto.
DM4	En el proceso de toma de decisiones, las opciones son evaluadas, diseñadas y probadas, y los resultados son validados y aplicados.
DM5	El momento de tomar decisiones es el último momento responsable y toda la información que se pudo recopilar en ese momento se usa.
DM6	Para tomar decisiones, información de carácter interno y/o externo de proyectos de la organización, generados a través de un ejercicio de evaluación comparativa.
DM7	El mecanismo de toma de decisiones es una reunión con todas las partes interesadas involucradas, donde se utiliza una técnica específica.
DM8	Después de tomar la decisión, se toman acciones específicas para verificar si se obtuvieron resultados satisfactorios, además, las lecciones aprendidas son identificadas y documentadas.

Fuente: Herrera et al. 2020

La gestión de las partes interesadas es uno de los elementos más importantes en la gestión de cualquier tipo de proyecto. Más concretamente, la gestión de los requisitos suele ser uno de los elementos críticos para la gestión de proyectos de construcción,

donde la identificación y su gestión deben realizarse no solo con los promotores sino también con la participación del resto de colaboradores del proyecto (PMI 2021).

En estos casos, para gestionar los requisitos de los proyectos, fue fundamental la participación sistemática del promotor, retroalimentando las propuestas generadas por los arquitectos proyectistas. Adicionalmente a esto, la participación temprana de los constructores adjudicatarios ayudó a generar una propuesta de diseño más acorde a las necesidades del promotor, ya que se pudo tener en cuenta el conocimiento y la experiencia de estos agentes, permitiendo anticipar posibles problemas de indefiniciones o malas interpretaciones entre promotores, proyectistas y constructores antes del inicio de las obras (Ko y Chung 2014).

Durante el ajuste del alcance del proyecto y su presupuesto, antes del inicio de las obras, existieron iteraciones asociadas tanto al proceso creativo del propio diseño, como a la existencia de problemas de diferente naturaleza, como incompatibilidades entre instalaciones, restricciones regulatorias del organismo de la administración pública (generalmente ayuntamientos), restricciones económicas y de plazos indicados por el promotor y requerimientos mal definidos, entre otros.

El objetivo de analizar estas buenas prácticas (LDM) que se habían empleado antes del comienzo de las obras (Herrera et al. 2020) fue detectar si habían podido contribuir en mayor o menor medida a mejorar el posterior nivel de implementación del SUP y en consecuencia haber colaborado en el éxito de las obras, entendiendo éxito desde el punto de vista del cumplimiento del coste y el plazo previstos por el promotor.

Para evaluar las prácticas LDM empleadas en cada proyecto, el investigador llevó a cabo reuniones con los jefes de obra, atendiendo a las cuestiones planteadas en la herramienta de Herrera et al. (2020), evaluando con un punto (1) las prácticas de gestión tradicional, con tres puntos (3) las prácticas iniciales de gestión *Lean* y con cinco puntos (5) las prácticas de gestión *Lean* desarrolladas (Herrera et al. 2020); mientras que las puntuaciones con dos (2) y cuatro (4) puntos se definieron como situaciones intermedias de las anteriores, respectivamente (ver Tabla 4.31).

Para evitar cierta visión sesgada, y dar mayor objetividad a la evaluación, el investigador discutió la calificación de cada práctica recurriendo al panel de expertos constituido desde el inicio de la investigación.

Tabla 4.31: Evaluación de las buenas prácticas *Lean Design Management* (LDM) en los casos

ID	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	medias
SM1	3	3	2	2	2	1	2,2
SM2	3	3	3	3	3	3	3,0
SM3	3	4	4	4	4	3	3,7
SM4	3	4	4	3	3	2	3,2
SM5	4	4	3	3	3	3	3,3
PC1	2	3	3	3	3	2	2,7
PC2	4	2	3	2	1	1	2,2
PC3	3	3	3	2	2	3	2,7
PC4	1	1	1	1	1	1	1,0
PC5	2	3	3	3	2	2	2,5
PC6	1	1	1	1	1	1	1,0
DM1	1	1	1	1	1	1	1,0
DM2	2	3	3	3	2	2	2,5
DM3	1	1	1	1	1	1	1,0
DM4	2	2	2	2	2	2	2,0
DM5	3	3	3	2	2	2	2,5
DM6	3	2	2	2	2	1	2,0
DM7	2	2	2	2	2	2	2,0
DM8	1	1	1	1	1	1	1,0
medias	2,3	2,4	2,4	2,2	2,0	1,8	

Fuente: Elaboración propia

Según los estudios realizados por Herrera et al. (2018) sobre diversas muestras de proyectos de construcción, las prácticas LDM con mayor nivel de implementación, estaban siendo “la identificación exhaustiva de los requisitos de las partes interesadas (condicionantes, especificaciones técnicas o requisitos especiales)” identificada en la Tabla 4.31 como SM3, y “la participación sistemática del promotor en las reuniones durante el diseño del proyecto” (identificada como SM4).

En cambio, las prácticas con menor nivel de implementación fueron aquellas que debían contar con “una implicación temprana de los constructores” (SM2). Además, “la aplicación, en la planificación de proyectos actuales, de la información y las lecciones aprendidas en construcciones anteriores” (PC2) y “realizar la toma de decisiones en el momento con la mayor información que se pueda recopilar” (DM5), también fueron prácticas con bajo nivel de implementación.

En la siguiente Tabla se comparan los valores obtenidos en las prácticas LDM en la investigación contrastados con los valores de los estudios de Herrera et al. (2018).

Tabla 4.32: Comparativo del nivel de implementación de buenas prácticas LDM

ID	Nivel Investigación	Nivel Herrera
SM1	2,2	3,0
SM2	3,0	2,0
SM3	3,7	4,0
SM4	3,2	4,0
SM5	3,3	3,0
PC1	2,7	3,0
PC2	2,2	2,0
PC3	2,7	3,0
PC4	1,0	3,0
PC5	2,5	3,0
PC6	1,0	3,0
DM1	1,0	3,0
DM2	2,5	3,0
DM3	1,0	3,0
DM4	2,0	3,0
DM5	2,5	2,5
DM6	2,0	3,0
DM7	2,0	3,0
DM8	1,0	3,0
medias	2,2	3,0

Fuente: Elaboración propia

En los seis proyectos de este estudio, en los que se implementó el SUP, se pretendió involucrar en la medida de lo posible al constructor desde un momento muy temprano, antes de la adjudicación de las obras, porque “la participación temprana de los constructores antes del inicio de las obras” (SM2) representa una de las mejores oportunidades para conseguir una obra exitosa según El Reifi y Emitt (2013). Sin embargo, es difícil implementar estas prácticas en proyectos con una modalidad de contratación de obras tradicional también llamada diseño/licitación/construcción (DBB de sus siglas en inglés) ampliamente desarrollada en el segundo capítulo (Mesa et al. 2019).

Como se ha comentado anteriormente, los seis proyectos se clasificaron de acuerdo con la mediana correspondiente a sus seis PPCs, y se pudieron diferenciar dos proyectos con el PPC mayor que la mediana y dos proyectos con el PPC menor que la mediana; los dos proyectos restantes tuvieron un PPC con valor coincidente con la mediana. Esto dio lugar a la formación de tres grupos de dos obras cada uno a los que se les llamó dúo A, dúo B y dúo C. El resultado de su evaluación se puede observar en la siguiente Tabla.

Tabla 4.33: Evaluación de las buenas prácticas *Lean Design Management* (LDM) por dúos

ID	Dúo A	Dúo B	Dúo C
SM1	3,0	2,0	1,5
SM2	3,0	3,0	3,0
SM3	3,5	4,0	3,5
SM4	3,5	3,5	2,5
SM5	4,0	3,0	3,0
PC1	2,5	3,0	2,5
PC2	3,0	2,5	1,0
PC3	3,0	2,5	2,5
PC4	1,0	1,0	1,0
PC5	2,5	3,0	2,0
PC6	1,0	1,0	1,0
DM1	1,0	1,0	1,0
DM2	2,5	3,0	2,0
DM3	1,0	1,0	1,0
DM4	2,0	2,0	2,0
DM5	3,0	2,5	2,0
DM6	2,5	2,0	1,5
DM7	2,0	2,0	2,0
DM8	1,0	1,0	1,0
medias	2,4	2,3	1,9

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los tres dúos, se observó que hubo prácticas LDM no implementadas o muy poco implementadas, con evaluaciones de entre 1 y 2 puntos sobre la escala Likert descrita anteriormente de 1 a 5 puntos; algunas prácticas se implementaron con un nivel muy similar en los tres grupos o dúos, y hubo prácticas implementadas con un nivel mayor en unos dúos más que en otros. Además, no hubo ninguna práctica que fuera más implementada en el dúo “C” que en los otros dos.

De las 19 prácticas LDM (Herrera et. al 2020), siete de ellas, por desconocimiento o por su mayor dificultad de implementación, no fueron empleadas o muy poco implementadas, con puntuaciones medias iguales o menores a 2 puntos. Dichas buenas prácticas fueron las que se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 4.34: Buenas prácticas (LDM) no implementadas o muy poco implementadas

ID	Dúo A	Dúo B	Dúo C	medias
PC4	1,0	1,0	1,0	1,0
PC6	1,0	1,0	1,0	1,0
DM1	1,0	1,0	1,0	1,0
DM3	1,0	1,0	1,0	1,0
DM4	2,0	2,0	2,0	2,0
DM7	2,0	2,0	2,0	2,0
DM8	1,0	1,0	1,0	1,0
medias	1,3	1,3	1,3	

Fuente: Elaboración propia

Respecto a estas siete prácticas, los tres dúos consiguieron el mismo promedio y el panel de expertos consideró que apenas habían podido contribuir a marcar diferencias entre los resultados obtenidos dado que en ningún momento habían sido utilizadas (o muy poco utilizadas) en alguno de los casos.

El siguiente grupo de prácticas lo formaron las cuatro prácticas que habían sido implementadas con un nivel muy similar en todos los dúos de casos (la diferencia entre dúos era menor de un punto) y se podría decir que habrían contribuido en parecida medida a mejorar el nivel de implementación del SUP, haber colaborado en una mejor implementación del SUP y en la consecución de los resultados de la ejecución de las obras de forma muy parecida en todos los dúos (Tabla 4.35).

Tabla 4.35: Buenas prácticas (LDM) implementadas al mismo nivel en todos los dúos

ID	Dúo A	Dúo B	Dúo C	medias
SM2	3,0	3,0	3,0	3,0
SM3	3,5	4,0	3,5	3,7
PC1	2,5	3,0	2,5	2,7
PC3	3,0	2,5	2,5	2,7
medias	3,0	3,1	2,9	

Fuente: Elaboración propia

Respecto a estas cuatro prácticas, los tres dúos consiguieron un promedio con valores muy próximos entre ellos con un valor entorno a los tres puntos en una escala de Likert de cinco puntos. El panel de expertos consideró que estas prácticas habrían podido contribuir de igual manera en los tres dúos sobre los resultados obtenidos.

Y el tercer y último grupo de prácticas lo constituyeron las ocho prácticas que habían sido implementadas a mayor nivel en unos dúos más que en otros, cuya diferencia entre dúos era igual o mayor de un punto, habiendo podido contribuir a marcar diferencias entre los resultados obtenidos (Tabla 4.36).

Tabla 4.36: Buenas prácticas (LDM) más implementadas en uno de los dúos

ID	Dúo A	Dúo B	Dúo C	medias
SM1	3,0	2,0	1,5	2,2
SM4	3,5	3,5	2,5	3,2
SM5	4,0	3,0	3,0	3,3
PC2	3,0	2,5	1,0	2,2
PC5	2,5	3,0	2,0	2,5
DM2	2,5	3,0	2,0	2,5
DM5	3,0	2,5	2,0	2,5
DM6	2,5	2,0	1,5	2,0
medias	3,0	2,7	1,9	

Fuente: Elaboración propia

Respecto a estas ocho prácticas, los dúos extremos consiguieron promedios distanciados entre sí con un valor de tres puntos en el dúo A y un valor de menos de dos puntos en el dúo C. El panel de expertos consideró que estas prácticas eran las que habrían podido contribuir a conseguir resultados más diferentes.

El dúo A fue el mejor valorado en cinco de estas prácticas, y el dúo B fue el mejor en tres de las prácticas; en una de las prácticas hubo empate entre A y B, y el dúo C siempre consiguió puntuaciones más bajas que alguno de los otros dos.

La práctica LDM más implementada de igual manera en los tres dúos fue “la identificación exhaustiva de requisitos de las partes interesadas” (SM3) con un valor

medio de 3,7 seguida de “los constructores están involucrados durante las primeras etapas” (SM2), con un valor medio de 3,0 puntos.

La práctica con mayor diferencial entre los dúos fue “en cuanto a la planificación de proyectos, se considera la información de proyectos internos y/o externos de la organización, generada a través de un ejercicio de evaluación comparativa” (PC2) con puntuaciones de 3 puntos en el dúo A y de 1 punto en el dúo C.

4.3.2 Análisis de las Prácticas *Lean Construction* implementadas durante la construcción de las obras

El investigador disponía de experiencia previa en el empleo de técnicas propias del SUP como fueron la organización y la facilitación de las *pull session*, la gestión de restricciones, los inventarios de trabajo ejecutable y las reuniones semanales de planificación. Estas reuniones se celebraban al final de cada semana, jueves por la tarde o viernes por la mañana. En la revisión de la semana vencida, mediante el cálculo del PPC, se comprobaba la completa terminación de las actividades comprometidas (Ballard y Tommelein 2016). En estas reuniones se evaluaban los cumplimientos de las actividades comprometidas de la semana vencida mediante el PPC y se presentaba la planificación de la siguiente semana. En ese sentido, los asuntos a tratar en las reuniones se dividían en dos partes: en primer lugar, se revisaba la producción de la semana vencida y en segundo lugar se proponía la planificación de la semana inmediatamente venidera.

Para medir el nivel de implementación del SUP que se logró en cada una de las seis obras, una vez concluidas, se evaluaron, una a una, las cuestiones de la herramienta propuesta por Lagos et al. (2017). El propósito de esta métrica fue evaluar la implementación de los componentes específicos del SUP (Lagos et al. 2019) extensamente definidos en el capítulo segundo, como son las reuniones de planificación a corto plazo, las *pull session*, la planificación intermedia, la gestión de las restricciones, el uso del itinerario del trabajo ejecutable, etc.

Como ya se explicó en el capítulo tercero, la herramienta de Lagos et al. (2017) consta de 16 criterios a evaluar (Tabla 4.37), compuestos a su vez por varios subcriterios, sumando un total de 86 subcriterios a valorar en la implementación del SUP como se puede observar en su total extensión en el Anexo F.

Cada subcriterio fue evaluado, utilizando una escala de Likert simple, de la siguiente manera: un subcriterio con implementación inexistente se valoró con 0 puntos, un subcriterio mal implementado con 1 punto, un subcriterio moderadamente implementado, 2 puntos, y, finalmente, un subcriterio completamente implementado se valoró con 3 puntos.

El nivel de implementación de cada criterio se obtuvo por el promedio de sus subcriterios (Tabla 4.38), y el nivel de implementación conseguido en cada obra es el resultado del promedio de los 16 criterios (Lagos et al. 2019).

Tabla 4.37: Criterios de evaluación del nivel de implementación del SUP

ID	Definición
1	Estandarización del proceso de planificación y control.
2	Estandarización de reuniones de planificación a corto plazo.
3	Participación de los planificadores en la reunión semanal.
4	Uso de indicadores para evaluar el cumplimiento de la planificación.
5	Análisis crítico de la información.
6	Gestión de la información visual.
7	Definición correcta de paquetes de trabajo.
8	Uso de un plan maestro transparente y fácil de entender.
9	Planificación de fases.
10	Estandarización de la planificación intermedia.
11	Análisis sistemático y eliminación de restricciones.
12	Uso de un Inventario de trabajo ejecutable (ITE).
13	Uso exclusivo de ITE en la planificación a corto plazo.
14	Planificación y control de flujos de trabajo físico.
15	Acciones correctivas basadas en las causas de incumplimiento.
16	Comunicación y trabajo en equipo.

Fuente: Lagos et al. 2019

Lagos et al. (2019) decidieron otorgar el mismo peso a todos los criterios y subcriterios ya que la incorporación de pesos priorizados podría generar sesgos, y porque el propósito de la métrica de Lagos et al. (2019) es evaluar de igual manera todos los componentes específicos del SUP, y descubrir así, qué prácticas y en qué medida han sido implementadas.

Tabla 4.38: Evaluación del nivel de implementación del SUP, caso a caso

ID	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	medias
1	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
2	1,17	1,50	1,17	0,67	1,00	0,33	0,97
3	0,80	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,83
4	0,57	0,71	0,71	0,57	0,57	0,43	0,60
5	0,57	0,71	0,71	0,57	0,57	0,43	0,60
6	1,57	1,86	1,71	1,43	1,43	1,29	1,55
7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
8	2,25	2,25	2,25	2,00	2,00	1,75	2,08
9	0,75	1,25	1,00	0,25	0,25	0,25	0,63
10	1,17	1,33	1,17	0,17	0,17	0,00	0,67
11	0,80	0,80	0,80	0,00	0,00	0,00	0,40
12	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,75
13	1,60	1,80	1,60	1,20	1,40	1,00	1,43
14	1,00	1,00	1,00	0,40	1,00	0,40	0,80
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
16	1,50	1,50	1,33	0,67	1,00	0,67	1,11
medias	1,07	1,19	1,10	0,72	0,81	0,64	

Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación del nivel de implementación, el investigador realizó reuniones con los jefes de obra de los proyectos seleccionados. Como esta forma de evaluar pudiera tener cierta visión sesgada, para dar mayor objetividad a la evaluación, el investigador discutió la calificación final de cada práctica con el apoyo del panel de expertos constituido desde el inicio de la investigación.

Como ya se ha comentado anteriormente, los seis proyectos se clasificaron y agruparon de acuerdo con la mediana de sus seis PPCs. El PPC considerado se correspondía con el promedio de los PPCs parciales conseguidos cada semana durante la construcción de cada edificio. Esto dio lugar a la formación de tres grupos de dos obras cada uno que se llamaron: dúo A, formado por los proyectos SOR e IVN3

con el PPC mayor que la mediana, dúo C, los proyectos RIC y FLC con el PPC menor que la mediana, y dúo B, los proyectos VIC y PAB que tuvieron un PPC con valor coincidente a la mediana.

Al analizar los tres dúos (Tabla 4.40), se pudo observar que hubo criterios no implementados o muy poco implementados, con puntuaciones entre “0 y 1” sobre la escala de Likert de “0 a 3” puntos (Tabla 4.41). Hubo algunos criterios implementados con un nivel muy similar en los tres dúos (Tabla 4.42). Hubo criterios implementados con un nivel mayor en unos dúos más que en otros (Tabla 4.43). Además, no hubo ningún criterio que fuera más implementado en el dúo C que en los otros dos.

Según Lagos et al. (2019), habitualmente, se realizan implementaciones parciales del SUP, que se enfocan principalmente en el componente del SUP a corto plazo y no tienen en cuenta otros elementos críticos, tales como la gestión de restricciones para la preparación del trabajo y el registro de acciones correctivas para aumentar la eliminación de problemas recurrentes.

Como se puede ver en la Tabla 4.39, según los estudios realizados por Lagos et al. (2019) sobre diversas muestras de proyectos de construcción, los criterios del SUP con mayor nivel de implementación, con una puntuación superior a dos, en una escala de 0 a 3, fueron “la definición correcta de paquetes de trabajo” (ID7), “la estandarización de reuniones de planificación a corto plazo” (ID2), “la comunicación y trabajo en equipo” (ID16), “la planificación y control de flujos de trabajo físico” (ID14), y “el uso de un plan maestro transparente y fácil de entender” (ID8). En cambio, los criterios con menor nivel de implementación fueron “el uso de un inventario de trabajo ejecutable” (ID12), “el análisis crítico de la información” (ID5), “la planificación de fases” (ID9), “la estandarización del proceso de planificación y control” (ID1) y “el uso exclusivo de un inventario de trabajo ejecutable en la planificación a corto plazo” (ID13).

Tabla 4.39: Comparativo del nivel de implementación del SUP

ID	Nivel Investigación	Nivel Lagos
1	1,33	1,45
2	0,97	2,44
3	0,83	1,70
4	0,60	1,90
5	0,60	1,06
6	1,55	1,90
7	1,00	2,75
8	2,08	2,06
9	0,63	1,38
10	0,67	1,98
11	0,40	1,93
12	0,75	0,81
13	1,43	1,53
14	0,80	2,23
15	0,00	1,69
16	1,11	2,35
medias	0,92	1,82

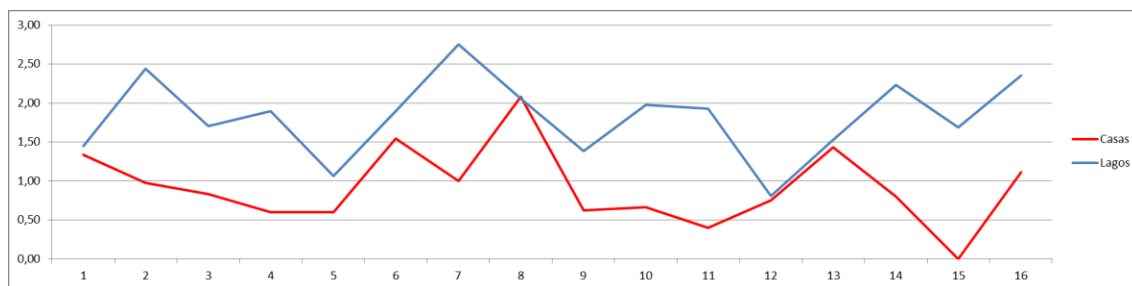
Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en el Gráfico 4.5, en los seis proyectos de este estudio, los criterios del SUP con mayor nivel de implementación el SUP fueron “el uso de un plan maestro transparente y fácil de entender” (ID8), “la gestión de la información visual”

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

(ID6), “el uso exclusivo de ITE en la planificación a corto plazo” (ID13), “la estandarización del proceso de planificación y control” (ID1), “la comunicación y trabajo en equipo” (ID16). En cambio, los criterios del SUP con menor nivel de implementación fueron aquellos que debían contar con “las acciones correctivas basadas en las causas de incumplimiento” (ID15), “el análisis sistemático y eliminación de restricciones” (ID11), “el uso de indicadores para evaluar el cumplimiento de la planificación” (ID4), “el análisis crítico de la información” (ID5) y “la planificación de fases” (ID9).

Gráfico 4.5: Comparativo de niveles de implementación del SUP



Y: Niveles de implementación: inexistente (0 puntos), mal implementado (1 punto), moderadamente implementado (2 puntos) y completamente implementado (3 puntos).

X: Criterios de Evaluación: 1. Estandarización del proceso de planificación y control. 2. Estandarización de reuniones de planificación a corto plazo. 3. Participación de los planificadores en la reunión semanal. 4. Uso de indicadores para evaluar el cumplimiento de la planificación. 5. Análisis crítico de la información. 6. Gestión de la información visual. 7. Definición correcta de paquetes de trabajo. 8. Uso de un plan maestro transparente y fácil de entender. 9. Planificación de fases. 10. Estandarización de la planificación intermedia. 11. Análisis sistemático y eliminación de restricciones. 12. Uso de un Inventario de trabajo ejecutable (ITE). 13. Uso exclusivo de ITE en la planificación a corto plazo. 14. Planificación y control de flujos de trabajo físico. 15. Acciones correctivas basadas en las causas de incumplimiento. 16. Comunicación y trabajo en equipo.

Fuente: Elaboración propia

Los seis proyectos se agruparon formando tres grupos de dos obras cada uno a los que se les llamó dúos (dúo A, dúo B y dúo C), de acuerdo con la mediana correspondiente a sus PPCs y cuyo resultado de evaluación se puede observar en la siguiente Tabla.

Tabla 4.40: Evaluación de los criterios de implementación del SUP en los dúos

ID	Dúo A	Dúo B	Dúo C
1	1,33	1,33	1,33
2	1,33	0,92	0,67
3	0,90	0,80	0,80
4	0,64	0,64	0,50
5	0,64	0,64	0,50
6	1,71	1,57	1,36
7	1,00	1,00	1,00
8	2,25	2,13	1,88
9	1,00	0,63	0,25
10	1,25	0,67	0,08
11	0,80	0,40	0,00
12	1,00	0,75	0,50
13	1,70	1,40	1,20
14	1,00	0,70	0,70
15	0,00	0,00	0,00
16	1,50	1,00	0,83
medias	1,13	0,91	0,72

Fuente: Elaboración propia

De los 16 criterios (Lagos et al. 2019), nueve de ellos, por desconocimiento o por su mayor dificultad de implementación, no fueron empleados o muy poco implementados, con puntuaciones medias iguales o menores a un punto en una escala de tres puntos. Dichos criterios fueron los que se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 4.41: Criterios no implementados o muy poco implementados en los dúos

ID	Dúo A	Dúo B	Dúo C
3	0,90	0,80	0,80
4	0,64	0,64	0,50
5	0,64	0,64	0,50
7	1,00	1,00	1,00
9	1,00	0,63	0,25
11	0,80	0,40	0,00
12	1,00	0,75	0,50
14	1,00	0,70	0,70
15	0,00	0,00	0,00
medias	0,78	0,62	0,47

Fuente: Elaboración propia

Respecto a estos nueve criterios, los tres dúos consiguieron un promedio menor de un punto y el panel de expertos consideró que apenas habían podido contribuir a marcar diferencias entre los resultados obtenidos dado que en ningún momento habían sido utilizados (o muy poco utilizados) en alguno de los casos.

El siguiente grupo de criterios fueron los implementados con un nivel muy similar en todos los dúos (la diferencia entre dúos era menor de medio punto) y se podría decir que habían contribuido en la consecución de los resultados de la ejecución de las obras de una forma muy parecida en todos los casos (Tabla 4.42).

Tabla 4.42: Criterios implementados a un nivel similar en los tres dúos

ID	Dúo A	Dúo B	Dúo C
1	1,33	1,33	1,33
6	1,71	1,57	1,36
8	2,25	2,13	1,88
medias	1,76	1,68	1,52

Fuente: Elaboración propia

Respecto a estos tres criterios, los tres dúos consiguieron un promedio muy próximo entre ellos con un valor entre 1,52 y 1,76 en una escala de Likert de 0 a 3 puntos. El panel de expertos consideró que estas prácticas habían podido contribuir de igual manera sobre los resultados obtenidos en los tres dúos.

Y el tercer y último grupo lo constituyeron los criterios que habían sido implementados en unos dúos más que en otros y cuya diferencia entre dúos era igual o mayor de medio punto, habiendo podido contribuir a marcar diferencias entre los resultados obtenidos (Tabla 4.43).

Tabla 4.43: Criterios más implementados en uno de los dúos

ID	Dúo A	Dúo B	Dúo C
2	1,33	0,92	0,67
10	1,25	0,67	0,08
13	1,70	1,40	1,20
16	1,50	1,00	0,83
medias	1,44	1,00	0,69

Fuente: Elaboración propia

Respecto a estos cuatro criterios, los tres dúos consiguieron promedios distanciados entre ellos con un valor medio de 1,44 puntos en el dúo A y un valor medio de 0,69 puntos en el dúo C. El panel de expertos consideró que estas prácticas eran las que habían podido contribuir a conseguir resultados diferentes más significativos. El dúo A fue el mejor en los cuatro criterios y el dúo C siempre consiguió puntuaciones más bajas que alguno de los otros dos dúos.

El criterio más implementado de igual manera en los tres dúos fue “el uso de un plan maestro transparente y fácil de entender” (ID8) y el criterio con mayor diferencial fue “la estandarización de la planificación intermedia” (ID10).

4.3.3 Verificación externa de los hallazgos

Junto a los hallazgos ya obtenidos y desarrollados anteriormente por medio del “análisis comparativo cualitativo” (QCA), mediante el estudio de casos múltiple se obtuvieron los restantes hallazgos que daban respuesta a las preguntas de la investigación pendientes de esclarecer.

Al concluir los análisis del QCA se consiguió responder parcialmente a alguna de las preguntas de la investigación, pero el estudio de casos múltiple consiguió el análisis comparado entre los tres grupos de las obras que implementaron el SUP, que se llamaron dúos A, B y C, y que permitió conectar las preguntas de la investigación con los resultados del estudio de casos múltiple y de esta forma extraer los siguientes hallazgos de la investigación (Yin 2018).

Una manera de incrementar la validez de construcción en este estudio (Taylor et al. 2010; Yin 2018), una vez extraídos los hallazgos, fue proceder a contrastarlos con los dos jefes de obra que formaron el panel de expertos al inicio de esta investigación, dos arquitectos técnicos con más de 15 años de experiencia en gestión de la edificación, conocedores del SUP y que anteriormente lo habían implementado en alguna de sus obras. Se estimó que estos jefes de obra eran los informadores que más valor podrían aportar en la revisión de los siguientes hallazgos.

El contenido de las revisiones se centró en presentar a estos informadores clave los hallazgos de la investigación. Para ello se desarrolló una guía de las revisiones, que se incluyó en el protocolo aportado en el Anexo H. Se formularon las siguientes afirmaciones cerradas a las que, en una escala ordinal del 1 al 5 tenían que valorar su nivel de aceptación con cada idea planteada de los siguientes criterios: (1) totalmente en desacuerdo, (2) en desacuerdo, (3) indiferente, (4) de acuerdo y (5) muy de acuerdo):

1. Las desviaciones del plazo están inversamente relacionadas con la implementación del SUP y con los valores de los PPCs.
2. Implementar el SUP en obras cuyo encargado tenga amplia experiencia en la construcción de viviendas unifamiliares influirá positivamente en los resultados de su ejecución, tanto en coste y como en plazo.
3. El empleo de prácticas *Lean Design Management* (LDM) contribuye a conseguir una mejor implementación del SUP.
4. Algunos componentes del SUP influyen más que otros en el resultado de las obras
5. La implementación del SUP no influye de igual manera durante las diferentes fases de construcción. El nivel de implementación del SUP tiene mayor influencia sobre los valores del PPC en las etapas finales de la obra.
6. No se mantiene la implementación del SUP durante toda la ejecución de las obras. Cuando el SUP no funciona como se esperaba, se generan temores e inseguridades entre los agentes de la obra y se tiende a retomar los viejos roles de la gestión tradicional.

Tras haber realizado las revisiones se efectuó el análisis de las respuestas obtenidas (Tabla 4.44).

Tabla 4.44: Valoraciones de los informadores clave

Afirmación	Informador A	Informador B	Media	Validez
1	5	3	4,0	Fuerte
2	5	4	4,5	Fuerte
3	3	3	3,0	Aceptable
4	4	4	4,0	Fuerte
5	5	4	4,5	Fuerte
6	4	3	3,5	Aceptable
medias	4,3	3,5	3,9	Aceptable

Fuente: Elaboración propia

Para ello se calculó la media de los pares de las respuestas de ambos informadores clave. A partir de las medias y teniendo en cuenta los siguientes rangos se determinó el nivel de aceptación de cada valoración:

- Fuerte: Media ≥ 4
- Aceptable: $3 \leq \text{Media} < 4$
- Débil: $2 \leq \text{Media} < 3$
- Rechazada: Media < 2

Las valoraciones dadas por los informadores clave en la revisión de los hallazgos dieron como resultado una validez fuerte en cuatro de los seis hallazgos y una validez aceptable en los otros dos restantes.

4.3.4 Hallazgos

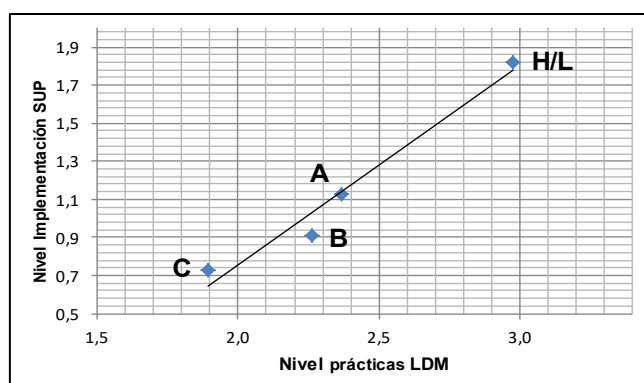
Una vez realizado el análisis de los datos de acuerdo con el procedimiento expuesto, a continuación, se presentan y se argumentan los hallazgos con un texto explicativo y justificativo. Adicionalmente, la argumentación de los hallazgos se reforzó con la ayuda de tablas y gráficos siguiendo la propuesta de Miles et al. (2013).

El empleo de prácticas *Lean Design Management* (LDM) contribuye a conseguir una mejor implementación del SUP.

Según las principales referencias encontradas en la investigación académica sobre prácticas de gestión *Lean* asociadas con la planificación y el control de proyectos (Hamzeh et al. 2009; Fosse y Ballard 2016), existen ciertas herramientas y prácticas estandarizadas que se utilizan comúnmente para la planificación y el control, específicamente durante la construcción de una obra, como puede ser considerado el SUP (Hamzeh et al. 2009; Munthe-kaas et al. 2015; Herrera et al. 2018). Sin embargo, no se encuentran tantas herramientas y prácticas para la planificación y el control para ser utilizadas por los proyectistas, antes del comienzo de las obras (Herrera et al. 2018), aunque se han realizado investigaciones y estudios de casos sobre la adaptación de los propios componentes del SUP (Rosas 2013) al ser aplicados durante el diseño de los proyectos.

En la investigación, en las seis obras que implementaron a diferente nivel el SUP, se pudo comprobar que la mayoría de las prácticas LDM recopiladas por Herrera et al. (2020) tenían cierta procedencia o relación con los componentes propios del SUP. Los análisis realizados entre el nivel de utilización de buenas prácticas *Lean Construction* durante la confección del diseño de los proyectos de construcción, denominadas según Herrera et al. (2020) *Lean Design Management* (LDM) y el nivel de implementación del SUP (Lagos et al. 2017) permitieron observar una fuerte correlación directa. Se compararon entre sí los tres dúos procedentes de la clasificaron de las seis obras de acuerdo con la mediana de sus PPCs: dúo A, dos proyectos con el PPC mayor que la mediana, dúo C, dos proyectos con el PPC menor que la mediana, y dúo B, dos proyectos que tuvieron un PPC con valor coincidente con la mediana. Se representaron en un gráfico de dispersión, los valores de las prácticas LDM y las NI SUP. Se tomó como referencia los valores obtenidos de los estudios de Herrera y Lagos y se incluyeron en el gráfico (denominados H/L), tal y como se aprecia en el Gráfico 4.6.

Gráfico 4.6: Relación entre las prácticas LDM y el nivel de implementación del SUP



A: los dos proyectos con el PPC mayor que la mediana
 C: los dos proyectos con el PPC menor que la mediana
 B: los dos proyectos que tuvieron un PPC con valor coincidente a la mediana
 H/L: valor teórico de comparación basado en los estudios de Herrera y Lagos

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos con este análisis se pudo afirmar que, en los casos estudiados, el empleo de prácticas *Lean Design Management* (LDM) antes del comienzo de las obras, mejoraba la implementación del SUP.

Las desviaciones de plazo están inversamente relacionadas con los valores de los PPCs.

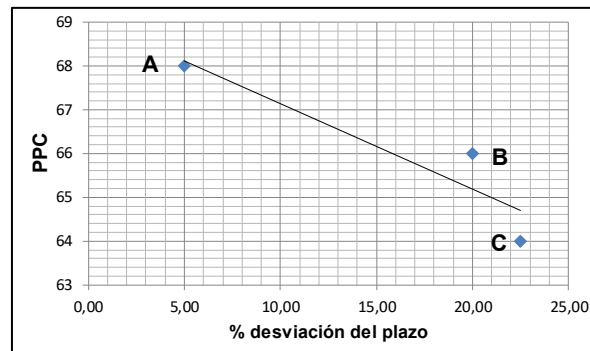
Un enfoque muy común para evaluar la construcción de estos proyectos es valorar el logro de objetivos marcados, como son el coste, el plazo y la calidad (Kagioglou et al. 2001). En la investigación se entendió el éxito desde el punto de vista del cumplimiento del coste y el plazo previstos por el promotor y las obras con un PPC más alto tenían más probabilidades de tener tasas de éxito más altas sobre todo en términos de cumplimiento del plazo (Alarcón et al. 2014; Ballard y Tommelein 2016; Lagos et al. 2019; Lagos y Alarcón 2020).

Algunos investigadores han encontrado relaciones directas entre los PPCs y los índices de productividad y cumplimiento del plazo de las obras (Kim et al. 2016; Leal y Alarcón 2010; Liu et al. 2011), pero no han podido determinar relaciones fuertes entre los PPCs promedio de las obras y su plazo final en parte debido a la falta de suficientes muestras (Formoso y Moura 2009; Kim et al. 2015). No obstante Lagos y Alarcón (2020) encontraron una fuerte relación inversa entre el PPC promedio y la desviación del plazo de las obras; observaron que cada incremento del 1,0% en el PPC promedio, entre valores de PPC del 50% al 100%, podía reducir un 0,8% la variación del plazo.

Se compararon entre sí los tres dúos procedentes de la clasificación de las seis obras de acuerdo con la mediana de sus PPCs: dúo A, dos proyectos con el PPC mayor que la mediana, dúo C, dos proyectos con el PPC menor que la mediana, y dúo B, dos proyectos que tuvieron un PPC con valor coincidente con la mediana. Se representaron en un gráfico de dispersión, las desviaciones de plazo y los PPCs.

Se detectó una fuerte relación inversa entre los PPC promedio de cada dúo y el % de la desviación de plazo. El Gráfico 4.7 muestra la fuerte relación obtenida, en esta ocasión, entre los PPCs de los tres dúos y la desviación de plazo.

Gráfico 4.7: Relación entre PPC y desviación del plazo



A: los dos proyectos con el PPC mayor que la mediana

C: los dos proyectos con el PPC menor que la mediana

B: los dos proyectos que tuvieron un PPC con valor coincidente a la mediana

Fuente: Elaboración propia

EL dúo más exitoso en lo que a la duración de las obras se refiere, exhibió un promedio de PPC sensiblemente más alto, lo que puede interpretarse como una reducción de la variabilidad en el cumplimiento a corto plazo al hacer promesas más sólidas. Los resultados mostraron que los proyectos que obtuvieron un PPC superior tenían más probabilidades de obtener una desviación del plazo más baja.

Algunos componentes del SUP influyen más que otros en el resultado de las obras

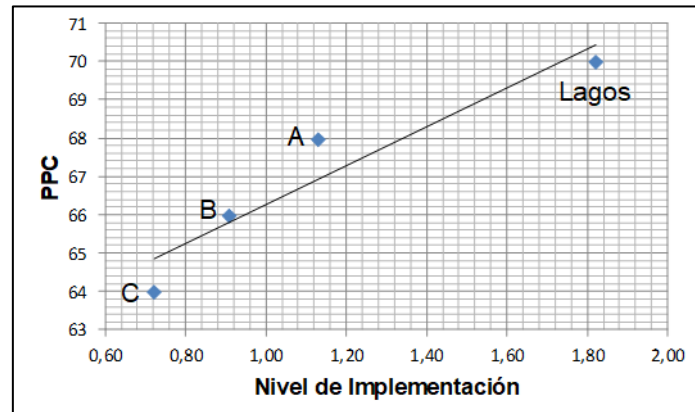
Uno de los objetivos de la investigación fue detectar qué componentes del SUP eran más influyentes en el cumplimiento de los indicadores de coste y plazo en la construcción de viviendas unifamiliares.

Si bien el nivel de implementación de la mayoría de los componentes del Sistema del Último Planificador (SUP) ha mejorado a lo largo de los años, la adopción de algunos de ellos se mantiene en un nivel muy básico (Daniel et al. 2015). Los componentes pertenecientes a la planificación a corto plazo se adoptan amplia y extensamente pero el uso de un “inventario de trabajo ejecutable” (ITE), la “gestión de restricciones”, el “análisis de causa/raíz” y la “gestión de acciones correctivas” siguen siendo las partes menos implementadas de la metodología (Daniel et al. 2015; Salvatierra et al. 2015; Lagos et al. 2016).

El insuficiente nivel de implementación de los componentes antes mencionados impide el aprovechamiento completo del potencial del SUP (Lagos et al. 2016). Además, investigaciones realizadas por el Centro de Gestión de la Producción de la Universidad Católica de Chile (GEPUC) también encontraron que la adopción de componentes de la planificación intermedia como la “gestión de las restricciones” y el uso del ITE estaban altamente relacionados con mejoras en el PPC (Alarcón et al. 2005; Lagos et al. 2017).

En la investigación se midió el nivel de implementación en una muestra compuesta por seis proyectos de edificación de viviendas unifamiliares que utilizaron el SUP durante su construcción, implementado por el investigador y siguiendo el método ya descrito en el capítulo tercero en todos los casos. Los seis proyectos tenían características similares, y fueron construidos por seis empresas diferentes que no habían utilizado el SUP anteriormente.

Los análisis realizados entre los PPCs y el nivel de implementación del SUP permitieron observar (Gráfico 4.8) una relación directa entre el nivel de implementación y el cumplimiento de los compromisos (Lagos et al. 2017).

Gráfico 4.8: Relación entre PPC y el nivel de implementación del SUP

A: los dos proyectos con el PPC mayor que la mediana

C: los dos proyectos con el PPC menor que la mediana

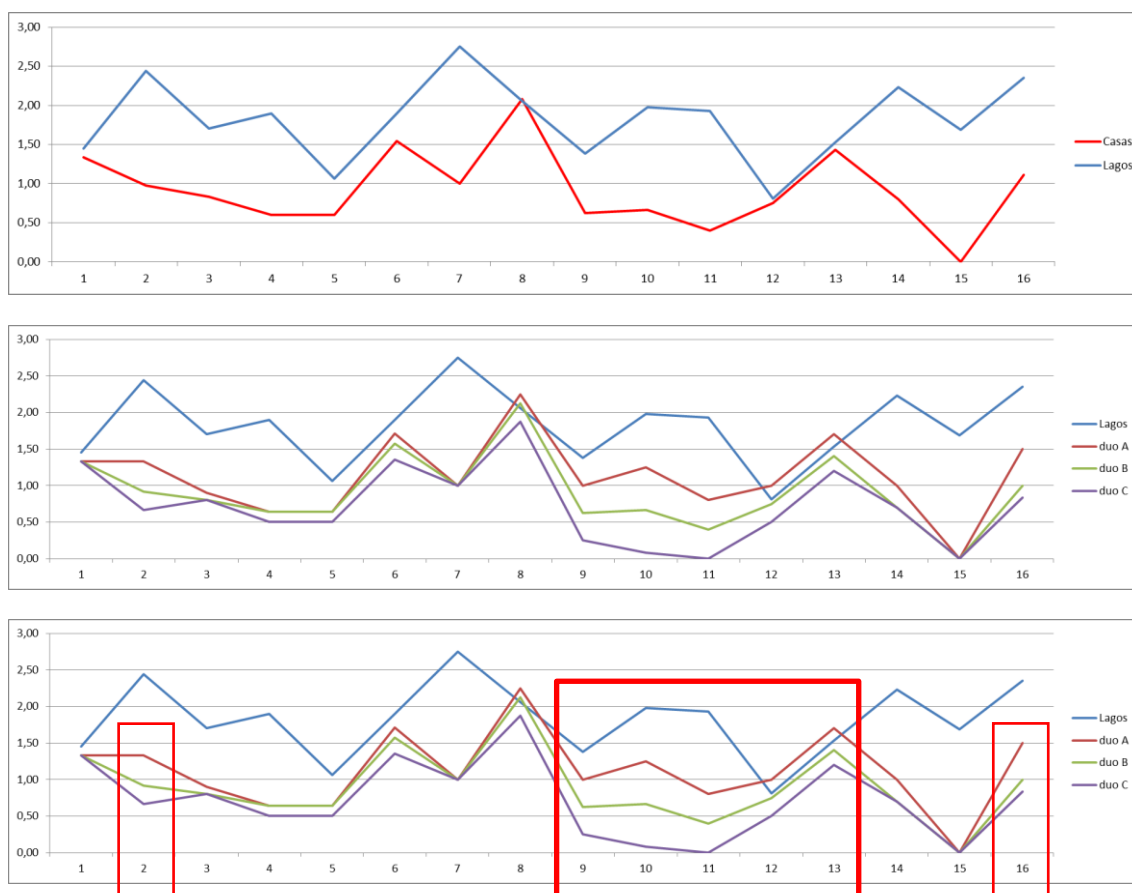
B: los dos proyectos que tuvieron un PPC con valor coincidente a la mediana

Lagos: valor teórico de comparación basado en los estudios de Lagos

Fuente: Elaboración propia

Con los Gráficos 4.9 se pudo comparar el nivel de implementación según la investigación de Lagos et al. (2017) de cada criterio (línea azul) respecto al promedio de los niveles de implementación de la investigación (línea roja). El nivel de implementación en los seis casos fue muy básico. De un total de 86 subcriterios de evaluación que componen la herramienta desarrollada por Lagos et al. (2017), solo 35 fueron implementados en estos casos con puntuaciones mayores a un punto. El resto, por desconocimiento o por su mayor complejidad, no pudieron ser implementados con puntuaciones superiores a uno.

La falta de una implementación más completa se pudo deber, en parte, a la falta de comprensión de cómo usar la información y, en parte, al tiempo y esfuerzo que necesitan los jefes de obra para procesar los datos. La falta de comprensión requerirá de más esfuerzo académico y empresarial para conseguir más investigación cuantitativa (Daniel et al. 2015).

Gráficos 4.9: Evaluación de criterios de implementación del SUP por dúos

Y: Niveles de implementación: inexistente (0 puntos), mal implementado (1 punto), moderadamente implementado (2 puntos) y completamente implementado (3 puntos).

X: Criterios de Evaluación: 1. Estandarización del proceso de planificación y control. 2. Estandarización de reuniones de planificación a corto plazo. 3. Participación de los planificadores en la reunión semanal. 4. Uso de indicadores para evaluar el cumplimiento de la planificación. 5. Análisis crítico de la información. 6. Gestión de la información visual. 7. Definición correcta de paquetes de trabajo. 8. Uso de un plan maestro transparente y fácil de entender. 9. Planificación de fases. 10. Estandarización de la planificación intermedia. 11. Análisis sistemático y eliminación de restricciones. 12. Uso de un Inventario de trabajo ejecutable (ITE). 13. Uso exclusivo de ITE en la planificación a corto plazo. 14. Planificación y control de flujos de trabajo físico. 15. Acciones correctivas basadas en las causas de incumplimiento. 16. Comunicación y trabajo en equipo.

Fuente: Elaboración propia

En los tres recuadros rojos del Gráfico 4.9, al analizar los casos de estudio, se señaló que el dúo de mayor éxito era el que tenía menores deficiencias en los criterios “la estandarización de la planificación intermedia” (ID10), “el análisis sistemático y eliminación de restricciones” (ID11), “la planificación de fases” (ID9), “la estandarización de reuniones de planificación a corto plazo” (ID2), “la comunicación y trabajo en equipo” (ID16), “el uso exclusivo de ITE en la planificación a corto plazo” (ID13), y “el uso de un Inventario de trabajo ejecutable” (ID12).

Se confirmó de esta manera en la investigación algunas de las evidencias aportadas por la investigación académica (Daniel et al. 2015; Salvatierra et al. 2015; Lagos et al. 2016): que, en referencia a la implementación del SUP, la adopción de componentes de la planificación intermedia como son la “gestión de las restricciones” y el uso del “itinerario de trabajo ejecutable” (ITE) está directamente relacionada con mejores valores del PPC (Alarcón et al. 2005; Lagos et al. 2017).

La implementación del SUP no influye de igual manera durante las diferentes fases de construcción. El nivel de implementación del SUP tiene mayor influencia sobre los valores del PPC en las etapas finales de la obra.

Toda obra es un proceso constructivo que atraviesa por varias fases constructivas. En proyectos de edificación, se pueden distinguir estas fases respecto a la tipología de los trabajos que se realizan: tareas previas (reposición o desvío de servicios o redes existentes), excavaciones, cimentaciones, estructura, cubiertas, cerramientos, saneamiento, albañilería, instalaciones, aislamientos, revestimientos, carpinterías, vidrios, pinturas y equipamiento (González et al. 2015). En este estudio se hizo un agrupamiento de estas fases de construcción, de acuerdo con las tres *pull session* celebradas en cada obra quedando de la siguiente manera: fase de estructura, fase de instalaciones y fase de acabados.

Antes de comenzar cada obra, se preparó una primera *pull session* con el equipo de profesionales y contratistas que iban a participar en la consecución de los trabajos previos, la reposición de servicios, el movimiento de tierras, la formación de las cimentaciones y la estructura del edificio. Una vez terminado el último forjado que formaba la estructura, y mientras permanecía apuntalada durante un periodo de veintiocho días, en cumplimiento de las normativas e instrucciones de la administración pública, hubo tiempo suficiente para preparar la segunda *pull session* correspondiente a la fase de instalaciones. Esta fase incluyó las tareas de formación de cubiertas, cerramientos, saneamiento, albañilería, instalaciones y aislamientos. Se realizó una última *pull session* a falta de dos o tres meses de la terminación de las obras, la cual contribuyó a adoptar y reforzar el compromiso final para el cumplimiento de las últimas tareas pendientes, fundamentalmente los revestimientos y los acabados de obra, que en esta tipología de edificios tiene una importancia especial.

La fase de estructura se caracterizó por ser la fase en la que menos subcontratistas interactuaron en la obra. El subcontratista principal de esta fase fue el estructurista, responsable de ejecutar la cimentación y la estructura del edificio y, también se le contrataron las excavaciones de tierras necesarias. Fue una fase cuya planificación se simplificó y en la que, por las características de los trabajos, fue más fácil recuperar tiempos perdidos en comparación con otras tareas de la obra. Se caracterizó por elevados costes de producción, de manera que el constructor tuvo especial cuidado con los retrabajos por errores de replanteo o de mala ejecución durante los vertidos del hormigón de las diferentes partes de la estructura.

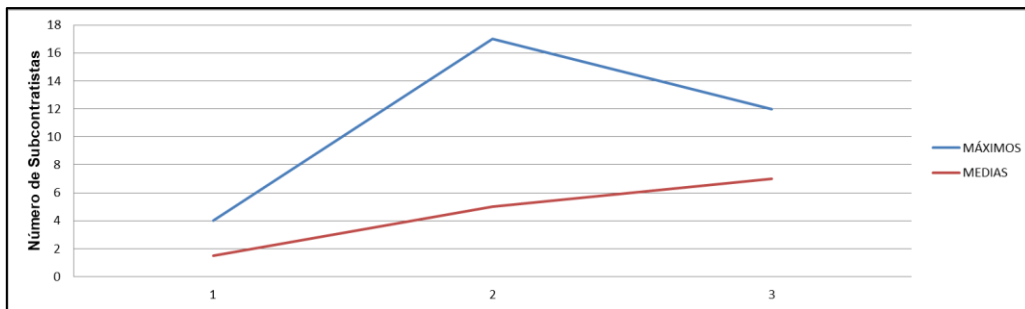
En la fase de instalaciones trabajaron de manera solapada un número elevado de subcontratistas, no solo los propiamente instaladores, como fueron la fontanería, el saneamiento, la electricidad, la climatización y algunas instalaciones especiales, sino que también comenzaron los trabajos de albañilería como fueron los cerramientos y las distribuciones de la tabiquería. Hubo una alta presencia de restricciones técnicas que requirieron que dichos trabajos se realizasen de manera ordenada según el número de plantas o forjados.

Finalmente, la fase de acabados se caracterizó por una mayor incertidumbre, inestabilidad y desperdicios que en las fases anteriores. No existieron restricciones técnicas que requieran que dichos trabajos se realizasen de manera ordenada como

sucedió en la fase anterior y, por lo general, lo llevaron a cabo múltiples subcontratistas. Los materiales que emplear en esta fase tuvieron una calidad exigida muy alta, un coste elevado y largos plazos de entrega. Además, la capacidad de producción de los subcontratistas fue más impredecible que en las otras fases, lo que provocó un flujo de trabajo turbulento (Brodetskaia et al. 2011). El flujo con reingresos (salir y volver a entrar en la obra) donde los equipos de producción regresaban a un lugar varias veces, hizo que las tareas fueran más difíciles de planificar y controlar (Brodetskaia et al. 2013).

En los seis casos, durante la fase primera (estructura) entraron en la obra un máximo de 4 subcontratistas por semana, con una media de 1,5 subcontratistas durante las semanas que duró esta fase, mientras que en la fase segunda (instalaciones) el máximo fue de 17, con una media de 5 subcontratistas, y en la fase tercera (acabados), un número máximo de 12 subcontratistas con una media de 7 subcontratistas (ver siguiente Gráfico).

Gráfico 4.10: Participación de subcontratistas en cada fase de las obras



Nota, 1: fase estructura, 2: fase instalaciones, 3: fase acabados

Fuente: Elaboración propia

Como ya se ha comentado anteriormente, existió una relación “desviación del plazo/nivel de implementación del SUP”, y a su vez “nivel de implementación del SUP/PPCs”, pero analizando fase a fase y caso a caso, se apreció que estas relaciones no se cumplían de manera continuada durante la ejecución de las obras (ver los cinco Gráficos siguientes de elaboración propia).

Gráfico 4.11: Relación entre PPC fase 1 y el nivel de implementación del SUP

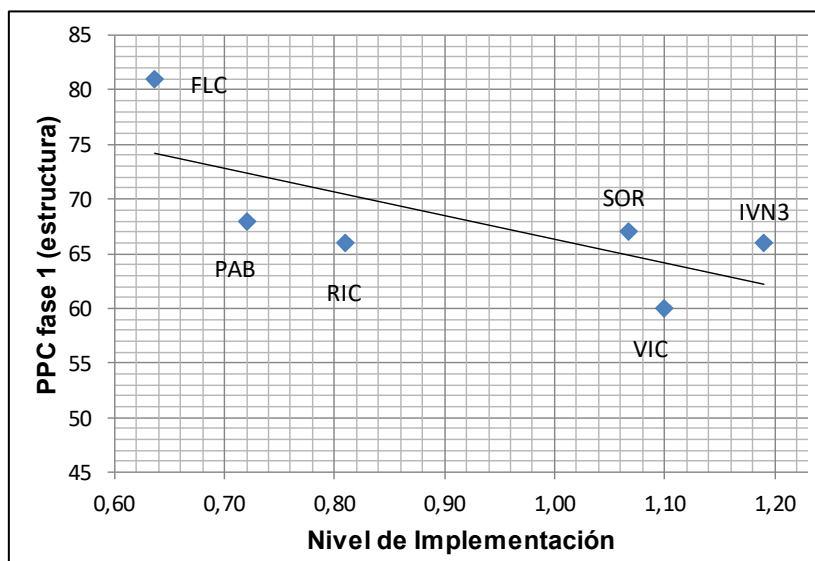


Gráfico 4.12: Relación entre PPC fase 2 y el nivel de implementación del SUP

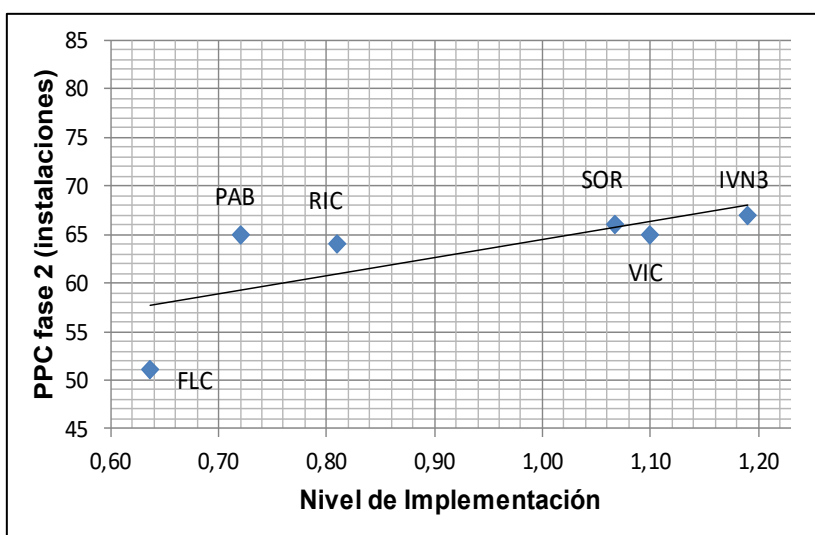


Gráfico 4.13: Relación entre PPC fase 3 y el nivel de implementación del SUP

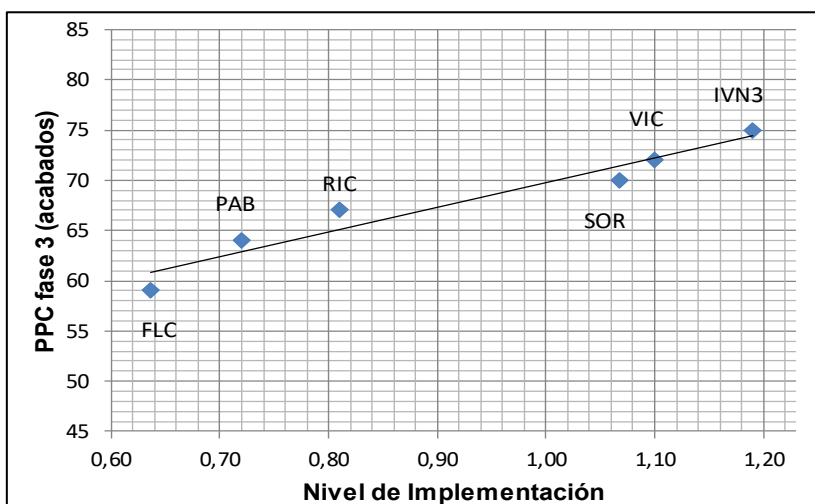
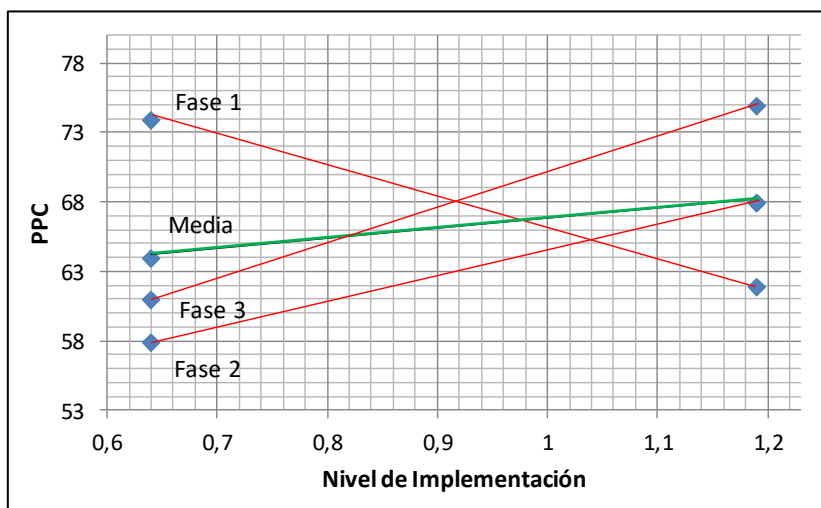
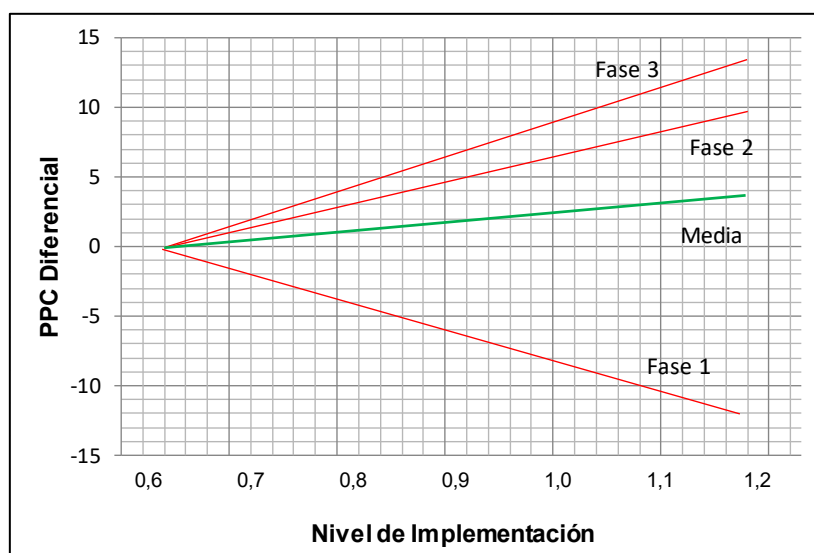


Gráfico 4.14: Relación entre PPCs fases y el nivel de implementación del SUP**Gráfico 4.15: Relación relativa entre PPCs fases y el nivel de implementación del SUP**

Fuente de los cinco gráficos anteriores: Elaboración propia

En la fase 2ª y 3ª, instalaciones y acabados, se detectó una relación directa entre el nivel de implementación del SUP y el PPC promedio en estas fases, que no se cumplió en la fase 1ª (estructura).

El PPC no es un indicador de avance sino un indicador que mide qué tan confiables son los compromisos que asume el equipo de obra. Por esto se mide de manera binaria, clasificándose con un “sí” o un “no” (compromiso cumplido o no cumplido), ya que en el Sistema del Último Planificador se da por hecho que las obras van avanzando en base a la consecución de los compromisos, por tanto, cada vez que se incumple un compromiso, aumenta la incertidumbre y la variabilidad en la obra y se pierde eficiencia y productividad (Ballard y Howell 1998).

En los seis casos, se descubrió que la variabilidad fue mayor en la primera fase de la ejecución de los proyectos, aunque el número de subcontratistas era menor. Sin embargo, el cumplimiento de los proyectos más exitosos se estabilizó conforme

avanzaba la ejecución de las obras; a pesar de que se estaban realizando una mayor cantidad de actividades con un mayor número de subcontratistas había mayor flexibilidad para la modificación de los planes anticipados.

La evolución del PPC, en los casos menos exitosos, no fue estable y presentó un pico en la primera fase, seguido de un descenso en segunda y tercera fases. Esto pudo ser causado por no seguir un proceso óptimo de preparación de los trabajos durante la planificación intermedia, lo que podría llevar a enfrentar varias limitaciones para completar dichos trabajos durante las últimas etapas de la ejecución de las obras.

Aunque los proyectos más exitosos no se ejecutaron de inicio de acuerdo con las expectativas planteadas, pudieron mejorar y reducir su variabilidad. Esto podría indicar que el uso del SUP fue mejorando su planificación a corto plazo durante el avance de las obras. Conforme avanzaban las obras, los participantes tenían más experiencia y podían aumentar la confianza en el “sistema” dado que era el primer proyecto en el que habían implementado el SUP.

Durante el estudio se detectó este hallazgo, pero no se estableció ningún análisis en profundidad de él. Tampoco ha sido objeto de este estudio calcular los retrasos concretos producidos en las diferentes fases. En el estudio no se recogieron los datos necesarios que permitieran establecer una relación de desviaciones de plazos en cada fase o etapa de las obras. Tampoco se obtuvieron valores intermedios de los niveles de implementación en cada fase.

No se mantuvo la implementación del SUP durante toda la ejecución de las obras. Cuando el SUP no funcionó como se esperaba, se generaron temores e inseguridades entre los agentes de la obra y se tendía a retomar los viejos roles de la gestión tradicional.

La confianza es un fenómeno complejo que no surge en un instante (Lühr et al. 2023). En el empleo del Sistema del Último Planificador (SUP), la transparencia de la información entre las partes es indispensable, ya que permite hacer promesas confiables y generar la confianza (Howell et al. 2004; Fauchier y Alves 2013).

La fiabilidad de las promesas con el uso del SUP ha sido ampliamente estudiada. Tommelein et al. (1999) enfatizaron el papel clave de los promotores, arquitectos, ingenieros y gerentes de construcción para permitir promesas confiables y prevenir flujos de trabajo no confiables.

Priven y Sacks (2015) examinaron 12 proyectos de construcción residencial y encontraron que el uso del SUP fortalecía la confianza entre los profesionales. Fernandez-Solis et al. (2013) en otro estudio de 26 proyectos, encontraron que el uso del SUP mejoró significativamente el flujo de trabajo y la comunicación entre las partes involucradas.

Sin embargo, centrarse en un flujo de trabajo y promesas confiables también ejerce presión sobre los responsables que hacen e intentan cumplir estas promesas, lo que puede provocar situaciones complicadas (Koskela et al. 2007).

Un motivador importante de la creciente popularidad del uso del SUP en la construcción es la búsqueda de una mejor productividad, que también se ha estudiado ampliamente. Ballard y Howell (1998) encontraron que el uso del SUP mejoraba significativamente la productividad de los proyectos. Además, mostraron que un alto número de promesas confiables conducía a una mayor productividad laboral, mientras que Liu et al. (2011) identificaron una relación similar entre las ganancias de productividad y la confiabilidad del flujo de trabajo en los equipos que utilizan el SUP.

Pero hay factores que pueden limitar el desarrollo positivo de la confiabilidad a pesar del uso del SUP. Un factor importante es la satisfacción de los trabajadores (Sageer et al. 2012). Curiosamente, para algunos empleados, el uso del SUP es evidentemente satisfactorio, pero para otros, el uso del SUP tiene en sí mismo un efecto adverso que incluso puede llegar a provocar la renuncia de continuar su propio trabajo (Sageer et al. 2012; Kalsaas 2012). Por lo tanto, el uso del SUP no es percibido de manera unidireccional por todos sus usuarios, no estando libre de producir temores, restricciones y condiciones límite. Con la observación directa informal que se realizó durante la construcción de los edificios y durante las reuniones semanales se detectaron tanto comentarios a favor como en contra del SUP.

Jørgensen y Emmitt (2009) observaron en su estudio que puede que los profesionales de la construcción no entiendan del todo la metodología *Lean Construction* y quieran volver a asumir los anteriores roles tradicionales. El uso del SUP requiere que las partes involucradas estén dispuestas a negociar e incluso a comprometer sus propios objetivos en beneficio de los demás y del conjunto (Ballard y Tommelein 2020). Sin embargo, el surgimiento de tal disposición en un proyecto, a menudo, supone un gran desafío. Los miembros del proyecto no generan la voluntad de compartir información, no se comprometen con sus propios objetivos y consideran la optimización propia, en lugar del rendimiento general del proyecto. Las negociaciones entre las partes requieren de la capacidad de los individuos para celebrar acuerdos sociales.

Priven y Sacks (2016) propusieron optimizar la relación entre las partes interesadas como solución al problema. Su idea era mejorar la comunicación, el respeto mutuo y la colaboración, creando acuerdos escritos para expresar la comprensión de cómo comportarse en la obra, cómo fortalecer la relación y cómo hacer el seguimiento de los acuerdos (Priven y Sacks 2016).

Durante las sesiones del SUP, se debe ser capaz de crear optimismo, esperanza, flexibilidad y, sobre todo, transparencia y confianza entre los participantes. (Fauchier y Alves 2013; Bach 2014). Si, por lo contrario, se muestra desconfianza en las reuniones del SUP, inevitablemente afectará a su implementación (Priven y Sacks 2016).

El SUP desafía los viejos roles y cambia el enfoque de la planificación de los plazos hecha por un planificador solitario, a la conseguida de manera colaborativa (Hamzeh 2011). En la investigación surgieron brechas en el flujo de información. Además, los gerentes de proyecto u otros planificadores, en ocasiones, tenían que dedicar mucho tiempo a compilar los datos del SUP, para adaptarlos a otras aplicaciones de la empresa (Dave et al. 2015).

El uso del SUP ha logrado resultados positivos en el sector de la construcción en varios países (Ballard 2000; Liu y Ballard 2008). Sin embargo, durante el estudio se

encontraron vacíos relacionados con la precisión del SUP y la confiabilidad de las promesas que no se han abordado adecuadamente en estudios anteriores (Daniel et al. 2015).

En general, al comienzo de las obras, los participantes estaban bastante involucrados en las reuniones, la participación era dinámica y las cuestiones de la planificación se discutían de forma conjunta. Sin embargo, a medida que avanzaban las obras, se observaba cierta frustración en mayor o menor grado, dependiendo de cada obra, entre los participantes respecto de las aportaciones del SUP.

Fue determinante la participación y el nivel de interés de los promotores, arquitectos, constructores y subcontratistas. En los casos estudiados, el promotor siempre era el usuario final y propietario, los arquitectos eran los proyectistas y directores de la ejecución de la obra, y los constructores y subcontratistas participaban habitualmente en la construcción de viviendas unifamiliares.

Conforme avanzaban las obras, los representantes de las diferentes empresas especializadas se mostraban algo escépticos sobre las duraciones y las fechas indicadas en los tableros del SUP. Esto era observado cada vez más, especialmente a medida que el volumen de las instalaciones comenzaba a aumentar sustancialmente generándose interferencias con el resto de los subcontratistas.

En las reuniones del SUP, surgían dudas entre las partes sobre la preparación de las tareas dispuestas por los demás. En consecuencia, comenzaban a posponer o alejar sus propias tareas de las que se realizaban en la etapa inmediatamente anterior a sus trabajos. En la mayoría de los casos, se aprovechó la información de los tableros del SUP, donde quedaba claro que algunos subcontratistas en la tarea anterior no habían podido cumplir sus promesas, y los de la siguiente tarea planificada tenían que posponer las suyas propias debido a la falta de esos cumplimientos.

Los participantes hacían poco para ceder en sus propios objetivos. Esto está en línea con estudios previos, como Fauchier y Alves (2013) y Ballard y Tommelein (2020). Las partes no se responsabilizaban mutuamente y no cedían en sus propios objetivos, aunque en algunas reuniones, se negociaron compromisos con los que todos pudieron trabajar según lo planificado durante algunas semanas sin tener que comprometer significativamente sus propios objetivos. Sin embargo, esto requiere más investigación y un enfoque más abierto (Chen 2012).

También hay que tener en cuenta el efecto de los métodos superpuestos tradicionales con la metodología *Lean*. Las herramientas de planificación utilizadas en las obras junto con el SUP parecieron un tanto frustrantes e hicieron que el SUP por momentos se sintiera innecesario y supusiera un trabajo extra. Cabe señalar que, a pesar de conseguir el uso a largo plazo del SUP, este se vio afectado negativamente por otras reuniones de obra, que en parte coincidieron con la agenda del SUP y tuvieron un efecto perjudicial. Se llegó a pensar que el SUP no suponía un cambio genuino en las prácticas o cultura propias de las empresas constructoras.

Los diversos participantes tal vez sintieron que las reuniones del SUP ya no eran el foro principal para coordinar los trabajos. Estudios anteriores han sugerido que el uso de sistemas superpuestos puede confundir, frustrar y perjudicar el uso de métodos

Lean y, a menudo, provocar el regreso a métodos tradicionales utilizados anteriormente (Sacks et al. 2009; Simonsen et al. 2019). Aunque, por otro lado, investigaciones previas proponen que incluso el uso parcial del SUP mejora el flujo de trabajo en la obra y que usarlo en combinación con otros métodos no perjudica su rendimiento (Priven y Sacks 2015).

Pero lo cierto es que el uso simultáneo de varios métodos puede crear presión por falta de tiempo a medida que avanza la obra. Y si la presión por falta de tiempo aumenta lo suficiente, puede afectar a la productividad del grupo (Sacks et al. 2009).

Otro factor que pudo haber influido en las críticas negativas sobre el uso del SUP entre los participantes fue el uso general de este sistema como una herramienta independiente sin una comprensión más amplia de la filosofía *Lean* (Hamzeh 2011). Como señaló Hamzeh (2011), la introducción del SUP no se puede hacer solo en términos de su implementación como una herramienta en un proyecto. Es necesario cambiar el pensamiento de los empleados, las formas de trabajar, es decir, la cultura y el entusiasmo para salir del sistema tradicional de gestión de proyectos de construcción establecido. Además, en las reuniones del SUP, el apoyo y alimentación del liderazgo mejorarán la confiabilidad del plan de obra y, por tanto, la productividad de los participantes a medida que aumente la motivación y la responsabilidad (Lindhard y Wandahl 2013).

4.4 Validación externa y fiabilidad de los resultados

Aunque el número de casos analizados en este estudio de casos múltiple, seis casos, incrementó la certeza de los resultados de la investigación, no fue posible contrastar los resultados de la investigación con las mismas prácticas aquí analizadas, en otras obras que hubieran implementado el SUP. Por la dificultad de conseguir datos con la misma orientación de otras obras en las que se hubiera implementado el SUP, no fue posible comprobar las proposiciones o los hallazgos, de modo que se pudieran generalizar al universo de las obras en general o incluso a obras similares a los casos de la investigación, la construcción de viviendas unifamiliares.

Los distintos pasos de la investigación podrían repetirse con resultados parecidos. La utilización del protocolo del estudio de casos múltiple (Anexo E) y el desarrollo de la matriz de datos de la investigación (Anexo B) han sido las herramientas para garantizarla.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

5.1 Cumplimiento de los objetivos

5.2 Contribuciones de la investigación

5.3 Recomendaciones prácticas

5.4 Limitaciones de la investigación

5.5 Futuras líneas de investigación

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Como resultado final de la investigación se presentan las contribuciones teóricas y prácticas de la investigación. Con los resultados obtenidos se elaborarán unas recomendaciones que ayuden a mejorar el sector de la construcción en España. También se plantean las limitaciones y las líneas futuras de investigación.

5.1 Cumplimiento de los objetivos

Conseguir cumplir con los objetivos de la investigación mediante el método propuesto (tanto para la toma de datos como para su análisis), implicó un pequeño avance en el conocimiento del Sistema del Último Planificador en general y del comportamiento de su implementación en los proyectos de construcción y sus obras en particular.

Las preguntas que se formularon en esta investigación, a partir del planteamiento del problema, fueron las siguientes:

- ¿Cuál es el estado del conocimiento del SUP en general y de su implementación en particular?
- ¿La desviación del plazo en las obras está relacionada con el nivel de implementación del SUP y con los valores del porcentaje del plan completado (PPC)?
- ¿Cómo influye la experiencia en gestión de proyectos del jefe de obra y del encargado junto a la implementación del SUP en el resultado de las obras?
- ¿Emplear prácticas de gestión *Lean* durante la fase del diseño de los proyectos de construcción (*Lean Design Management*, LDM) mejora la posterior implementación del SUP en la fase de construcción?
- ¿Existen componentes del SUP más influyentes que otros en el resultado de las obras?
- ¿Influye la implementación del SUP de igual manera durante las diferentes fases de las obras?
- ¿Se mantiene constante el nivel de implementación del SUP durante la ejecución de una obra?

A continuación, se responden, una a una, estas preguntas y con ello se procede a justificar el cumplimiento de los objetivos.

¿Cuál es el estado del conocimiento del SUP en general y de su implementación en particular?

Se revisó el estado del conocimiento de la implementación del SUP a partir de la literatura existente. De esta forma se identificó y analizó el trabajo realizado por otros investigadores en torno a los factores de éxito en la implementación SUP. Se detectaron carencias en el conocimiento publicado, y se conceptualizaron en el capítulo segundo las principales áreas de interés que focalizaban y desarrollaban la investigación.

La revisión exhaustiva del estado del conocimiento de la implementación del SUP en el proceso constructivo condujo a identificar las variables de coste y plazo empleadas habitualmente en la gestión de las obras por las empresas constructoras y se observó que la literatura existente analizaba la mejora del cumplimiento de estas variables, el coste y el plazo de entrega de las obras con la implementación del SUP, respecto de los sistemas tradicionales habitualmente empleados por las constructoras, manifestando las desviaciones estudiadas, y razonando las causas y los problemas encontrados.

Tanto para los promotores como para los constructores, aunque ambos valoran la calidad en las obras, el coste y el plazo de entrega de las obras son las variables principales para definir el éxito en una obra, desde el punto de vista de un negocio. Este estudio analizó estas desviaciones de los presupuestos y de los plazos en las obras entregadas por las empresas constructoras a los promotores.

¿La desviación del plazo en las obras está relacionada con el nivel de implementación del SUP y con los valores del porcentaje del plan completado (PPC)?

Se observó que la muestra de las seis obras con implementación del SUP tenía unas probabilidades de tasa de éxito más altas, sobre todo en términos de cumplimiento del plazo.

Además, algunos investigadores han encontrado relaciones directas entre el nivel de implementación del SUP y los índices de productividad, el coste y el cumplimiento del plazo de las obras, pero no han podido determinar relaciones fuertes entre el nivel de implementación del SUP en una obra y su plazo final en parte debido a la falta de suficientes muestras.

En una primera exploración, con el “análisis comparativo cualitativo” (QCA), se pudo comprobar la relación inversamente proporcional existente entre las desviaciones del plazo en las obras y la implementación del SUP durante su proceso constructivo, hallazgo que fue posteriormente desarrollado mediante el estudio de casos múltiple.

Durante la construcción de los seis proyectos estudiados en la investigación en los que se implementó el SUP, se llevó a cabo un cálculo semanal del PPC y se detectó una fuerte relación inversa entre los PPCs promedio de cada proyecto y la desviación del plazo respecto del inicialmente planificado.

Los proyectos más exitosos, en lo que a desviación de plazo se refiere, exhibieron un PPC promedio sensiblemente más alto. El hacer promesas más sólidas pudo interpretarse como una reducción de la variabilidad en el cumplimiento a corto plazo. Estos resultados confirmaron que los proyectos que consiguieron un PPC superior tenían más probabilidades de alcanzar una desviación del plazo más baja.

¿Cómo influye la experiencia en gestión de proyectos del jefe de obra y del encargado junto a la implementación del SUP en el resultado de las obras?

Un factor que se analizó fue la influencia de la experiencia en gestión del equipo de obra junto a la implementación del SUP en el éxito del cumplimiento de los indicadores de coste y plazo en la construcción de viviendas unifamiliares.

Tal y como se desarrolló en el capítulo segundo, la implementación del SUP requiere el compromiso del jefe de obra y del encargado; este compromiso es un factor clave del liderazgo en los mandos medios y altos.

La influencia de la experiencia de este equipo de obra, jefe de obra y encargado fundamentalmente, es uno de los principales impulsores potenciales en la gestión exitosa cuando se implementa el SUP. En este estudio, la gestión exitosa de las obras se midió en términos de desviación de costes y de plazos desde el punto de vista del promotor.

Muchos autores han descrito la influencia de la experiencia del jefe de obra y del encargado en el éxito de la gestión de proyectos de construcción (Rojas 2013; Ceric 2014; Savelsbergh et al. 2016). Además, varios estudios han destacado los beneficios de la colaboración con el SUP como un enfoque clave, en términos de planificación y control de proyectos de construcción (Deep et al. 2022; Priven y Sacks 2015). Sin embargo, el papel que juegan estos factores en el éxito de las obras junto a la implementación del SUP ha sido sólo brevemente analizado en la investigación académica; además, ningún estudio hasta la fecha había analizado específicamente la influencia de los niveles de experiencia de estos gerentes de obra en la gestión exitosa de proyectos de construcción al implementar el SUP.

Se examinaron veinte proyectos, viviendas unifamiliares de nueva construcción con características similares y se analizó cómo la implementación del SUP y la experiencia en gestión de proyectos similares a estos del jefe de obra y del encargado influían individualmente en el éxito de las obras, consiguiendo desviaciones mínimas o asumibles de plazo y coste. Los resultados del análisis mostraron que la experiencia del encargado influía en la desviación de costes, mientras que la implementación del SUP lo hacía significativamente en la desviación del plazo.

El análisis cualitativo se realizó mediante la técnica QCA (siglas en inglés de “análisis comparativo cualitativo”). Este enfoque permitió analizar la influencia de la interacción de las variables en términos de los resultados de la gestión de las obras. Se realizaron dos QCAs para identificar las condiciones necesarias y las condiciones suficientes para lograr desviaciones mínimas o asumibles de coste y plazo.

Entre los proyectos estudiados, se encontró que una combinación de condiciones era suficiente para minimizar las desviaciones tanto de coste como de plazo en una obra: implementar el SUP y tener un encargado de obra con más de 15 años de experiencia en gestión de obras. Además, se detectó que la experiencia en gestión de la construcción del jefe de obra no influía significativamente en las desviaciones de coste y plazo; el efecto de esta variable fue eclipsado por la experiencia del encargado y por la implementación del SUP.

¿Emplear prácticas de gestión *Lean* durante la fase del diseño de los proyectos de construcción (*Lean Design Management*, LDM) mejora la posterior implementación del SUP en la fase de construcción?

Se obtuvo una relación directa entre el uso de prácticas *Lean* durante el diseño de proyectos de construcción y la implementación del SUP en el transcurso de la construcción.

En la investigación, en las seis obras que implementaron a diferente nivel el SUP, se pudo comprobar que la mayoría de las prácticas LDM recopiladas por Herrera et al. (2020) tenían cierta procedencia o relación con los componentes propios del SUP.

Los análisis realizados entre el nivel de utilización de esas buenas prácticas *Lean Construction* durante la confección del diseño de los proyectos de construcción, denominadas según Herrera et al. (2020) *Lean Design Management* (LDM) y el nivel de implementación del SUP (Lagos et al. 2017) permitieron observar una fuerte correlación directa entre ellos.

De los resultados obtenidos con este análisis se pudo afirmar que en estos seis casos el empleo a diferente nivel de prácticas *Lean Design Management* (LDM) antes del comienzo de las obras, influía directamente en la posterior implementación del SUP.

¿Existen componentes del SUP más influyentes que otros en el resultado de las obras?

Se detectaron componentes del SUP más influyentes que otros en el cumplimiento de los indicadores de coste y plazo en la construcción de viviendas unifamiliares.

Si bien el nivel de implementación de la mayoría de los componentes del Sistema del Último Planificador (SUP) ha mejorado a lo largo de los años, la adopción de algunos de ellos se mantiene en un nivel muy básico. Los componentes pertenecientes a la planificación a corto plazo se adoptan amplia y extensamente pero el uso de un “inventario de trabajo ejecutable” (ITE), la “gestión de restricciones”, el “análisis causa/raíz” y la “gestión de acciones correctivas” siguen siendo las partes menos implementadas de la metodología.

Se midió el nivel de implementación en una muestra compuesta por seis proyectos de edificación de viviendas unifamiliares que utilizaron el SUP durante su construcción, implementado por el investigador y siguiendo el método ya descrito en el capítulo tercero en todos los casos. Los seis proyectos tenían características similares, y fueron construidos por seis empresas diferentes que no habían utilizado el SUP anteriormente.

Se comparó el nivel de implementación, según la investigación de Lagos et al. (2017), de cada criterio respecto al promedio de los niveles de implementación de esta investigación, aunque el nivel de implementación en los casos de estudio fue muy básico, ya que, de un total de 86 subcriterios de evaluación, solo 35 fueron implementados con puntuaciones superiores a un punto sobre un máximo de tres. El resto, por desconocimiento o por su mayor dificultad, no pudieron ser implementados con puntuaciones superiores a un punto según el criterio de valoración de Lagos et al. (2017).

Después de analizar los casos de estudio agrupados de dos en dos formando dúos, se pudo observar que el dúo de mayor éxito era el que tenía menores deficiencias en los criterios: “estandarización de la planificación intermedia”, “análisis sistemático y eliminación de restricciones”, “planificación de fases”, “estandarización de reuniones de planificación a corto plazo”, “comunicación y trabajo en equipo”, “uso exclusivo de un ITE en la planificación a corto plazo”, y “uso de un inventario de trabajo ejecutable”.

Se confirmó de esta manera en la investigación algunas de las evidencias aportadas por la literatura (Daniel et al. 2015; Salvatierra et al. 2015; Lagos et al. 2016) que afirman en referencia a la implementación del SUP, que la adopción de componentes de la planificación intermedia como son la “gestión de las restricciones” y el “uso del itinerario de trabajo ejecutable” (ITE) está directamente relacionada con mejores valores del PPC.

¿Influye la implementación del SUP de igual manera durante las diferentes fases de las obras?

Se analizó la influencia del SUP durante las diferentes fases de construcción. Toda obra es un proceso constructivo que atraviesa por varias fases constructivas. En este estudio se hizo un agrupamiento de estas fases de construcción, de acuerdo con las tres sesiones *pull* celebradas en cada una de las obras quedando de la siguiente manera: fase de la estructura del edificio, fase de las instalaciones y fase de acabados.

La fase de la estructura se caracterizó por ser la fase en la que menos subcontratistas interactuaron en la obra. El subcontratista principal de esta fase fue el estructurista, responsable de ejecutar la cimentación y la estructura del edificio y, también se le contrataban los movimientos de tierras necesarios. Fue una fase cuya planificación se simplificó y en la que, por las características de los trabajos, fue más fácil recuperar tiempos perdidos en comparación con otras tareas de la obra. Se caracterizó por elevados costes de producción, de manera que el constructor tenía especial cuidado con los retrabajos por errores de replanteo o de mala ejecución durante los vertidos de hormigón de las diferentes partes de la estructura.

En la fase de las instalaciones trabajaron de manera solapada un número elevado de subcontratistas, no solo los propiamente instaladores, como fueron la fontanería, el saneamiento, la electricidad, la climatización y algunas instalaciones especiales, sino que también comenzaron los trabajos de albañilería como fueron los cerramientos y las distribuciones de la tabiquería. La presencia elevada de restricciones técnicas obligó a que dichos trabajos se realizasen de manera ordenada según el número de plantas o forjados.

Finalmente, la fase de acabados se caracterizó por una mayor incertidumbre, inestabilidad y desperdicio que en las fases anteriores. No existieron restricciones técnicas que requieran que dichos trabajos se realizasen de manera ordenada como sucedió en la fase anterior y, por lo general, lo llevaron a cabo múltiples subcontratistas. Los materiales que emplear en esta fase tuvieron una calidad exigida muy alta, un coste elevado y largos plazos de entrega. Además, la capacidad de producción de los subcontratistas fue más impredecible que en las otras fases, lo que provocó un flujo de trabajo turbulento. El flujo con reingresos (salir y volver a entrar en la obra) donde los equipos de producción regresaban a un lugar varias veces, hizo que las tareas fueran más difíciles de planificar y controlar.

En los seis casos, durante la fase primera (estructura) entraron en las obras un máximo de 4 subcontratistas por semana, con una media de 1,5 subcontratistas durante las semanas que duró esta fase, mientras que en la fase segunda (instalaciones) el máximo fue de 17, con una media de 5 subcontratistas, y en la fase

tercera (acabados), un número máximo de 12 subcontratistas con una media de 7 subcontratistas.

Como ya se ha comentado anteriormente, existió una relación “desviación del plazo/nivel de implementación del SUP”, y a su vez “nivel de implementación del SUP/PPCs”, pero analizando cada fase de construcción por separado se observó que estas relaciones no se cumplían de manera continuada durante la ejecución de las obras.

En las fases 2ª y 3ª, instalaciones y acabados, se detectó una relación directa entre el nivel de implementación del SUP y el PPC promedio, que no se apreció en la fase 1ª, la estructura.

La variabilidad fue mayor en la primera fase de la ejecución de los proyectos, donde el número de subcontratistas era menor. Sin embargo, el cumplimiento de las promesas en los proyectos más exitosos se estabilizó conforme avanzaba la ejecución de las obras. A pesar de que se estaban realizando una mayor cantidad de actividades con un mayor número de subcontratistas había mayor flexibilidad para la modificación de los planes anticipados.

La evolución del PPC, en los casos menos exitosos, no fue estable y presentó un “pico” (un rápido aumento) en la primera fase, seguido de un descenso en la segunda y tercera fases. Esto pudo ser causado por no conseguir un proceso óptimo de preparación del trabajo durante la planificación intermedia, lo que pudo llevar a enfrentarse con varias restricciones para completar los trabajos durante las últimas etapas de la ejecución.

Aunque los proyectos más exitosos no se ejecutaron de inicio de acuerdo con las expectativas planteadas, pudieron mejorar y reducir su variabilidad fase a fase. Esto podría indicar que el uso del SUP fue mejorando su planificación a corto plazo durante el avance de las obras. Conforme avanzaban las obras, los participantes tenían más práctica y destreza, y podían aumentar la confianza en el “sistema” dado que era el primer proyecto en el que habían implementado el SUP.

¿Se mantiene constante el nivel de implementación del SUP durante la ejecución de una obra?

En los seis casos, no se mantuvo la implementación del SUP durante toda la ejecución de las obras. Cuando el SUP no funcionó como se esperaba, se generaron temores e inseguridades entre los agentes de la obra y se tendía a retomar los viejos roles de la gestión tradicional.

Centrarse en un flujo de trabajo y promesas confiables ejerció presión sobre los responsables que intentaban hacer cumplir estas promesas, lo que pudo provocar ciertos conflictos.

El uso del SUP no fue percibido de manera unidireccional por todos los usuarios, no estando libre de temores, restricciones y condiciones límite. Con la observación directa informal que se realizó durante la construcción de los edificios y durante las reuniones semanales se pudieron detectar comentarios tanto a favor como en contra del SUP.

En la investigación surgieron brechas en el flujo de información. Además, los gerentes de proyecto y otros planificadores, en ocasiones, tenían que dedicar mucho tiempo a compilar los datos del SUP, para adaptarlos a otras aplicaciones de la empresa.

En general, al comienzo de las obras, los participantes estaban bastante involucrados en las reuniones, la participación era dinámica y los temas de planificación se discutían de forma conjunta. Sin embargo, a medida que avanzaban las obras, se observaba cierta frustración en mayor o menor grado, dependiendo de cada obra, entre los participantes respecto de las aportaciones del SUP.

Fue determinante la participación y el nivel de interés de los promotores, arquitectos, constructores y subcontratistas. El promotor siempre era el usuario final y propietario, los arquitectos eran los proyectistas autores de los proyectos y directores de la ejecución de la obra, y los constructores y subcontratistas participaban habitualmente en la construcción de viviendas unifamiliares.

Conforme avanzaban las obras, los representantes de las diferentes empresas subcontratistas se mostraban algo escépticos sobre las duraciones y las fechas indicadas en los tableros del SUP. Esto era observado cada vez más, especialmente a medida que el volumen de los trabajos en la fase de instalaciones comenzaba a aumentar sustancialmente generándose interferencias con el resto de los subcontratistas.

En las reuniones del SUP, surgían dudas entre los participantes sobre la preparación de las tareas asignadas a los demás profesionales. En consecuencia, comenzaban a posponer o alejar en el tiempo sus propias tareas que se tenían que iniciar de manera inmediatamente anterior a esos trabajos.

Los participantes no se responsabilizaron mutuamente y no cedían en sus propios objetivos. Aunque en algunas reuniones, las partes negociaron compromisos con los que todos pudieron trabajar según lo planificado durante algunas semanas sin tener que comprometer significativamente sus propios objetivos.

Por otra parte, algunos métodos superpuestos tradicionales de planificación utilizados en las obras junto con el SUP provocaron frustración e hicieron que su implementación, por momentos, se sintiera innecesaria y supusiera un trabajo extra. Cabe señalar que, a pesar del uso a largo plazo del SUP, este se vio afectado negativamente por otras reuniones de obra, que en parte coincidieron con la agenda del SUP y tuvieron un efecto perjudicial. Se llegó a pensar que el SUP no suponía un cambio genuino en las prácticas o cultura propias de las empresas constructoras. Los diversos participantes tal vez sintieron que las reuniones del SUP ya no eran el foro principal para coordinar los plazos.

Otro factor que pudo haber influido en las críticas sobre el uso del SUP entre los participantes fue el uso general de este sistema como una herramienta independiente sin una comprensión más amplia de la metodología *Lean Construction*. Como señalaron Hamzeh (2011) y Sarhan y Fox (2012), la introducción del SUP no se puede llevar a cabo solo en términos de su propia implementación como una herramienta de planificación y control aislada en un proyecto.

5.2 Contribuciones de la investigación

En este apartado se exponen las contribuciones derivadas de esta investigación ordenadas de acuerdo con los objetivos conseguidos:

- Las veinte obras elegidas tuvieron un alto grado de homogeneidad en cuanto a su tipología: nueva construcción de vivienda unifamiliar de dos plantas con cubierta plana y cimentación superficial a base de zapatas.
- El plazo promedio inicial previsto de construcción fue de 10,70 meses, mientras que el plazo real promedio, teniendo en cuenta solo los retrasos achacables a la constructora, fue de 13,60 meses. Las interrupciones provocadas por promotores y arquitectos tuvieron valores muy similares de 1,20 y 1,15 meses de media respectivamente. Mientras que los retrasos achacados a la constructora fueron de 2,90 meses de media. Fue muy significativo que los retrasos atribuidos a la constructora supusieran un valor promedio de más del doble que los asignados a promotores y arquitectos.
- Las obras objeto de estudio tuvieron un presupuesto medio de estudio de 459.500 €, un presupuesto de adjudicación de 414.900 € y concluyeron teniendo un presupuesto medio de ejecución de 466.900 €. Entre el presupuesto de estudio y el presupuesto de adjudicación normalmente se producía una disminución del importe, fruto del ajuste y la rebaja de algunos precios, la reducción de mediciones, incluso modificación del alcance original del proyecto. Durante la ejecución de las obras surgían imprevistos; el promotor solicitaba cambios o se retomaban trabajos que se habían descartado antes de la contratación de las obras y que el promotor volvía a desear y ordenaba su construcción. Una parte de la desviación positiva de los presupuestos se produjo por las mejoras en las instalaciones y por los cambios en la calidad de los acabados elegidos por el promotor durante la ejecución de las obras.
- Los proyectos más exitosos, en lo que a la desviación de plazo se refiere, exhibieron un promedio de PPC sensiblemente más alto, lo que puede interpretarse como una reducción de la variabilidad en el cumplimiento a corto plazo al hacer promesas más sólidas.
- Respecto a los equipos de obra estudiados de la muestra, en el 40%, tanto jefe de obra como encargado tenían más de 15 años de experiencia en gestión de la construcción de obras similares; en el 35% de los casos, solo el encargado tenía más de 15 años de experiencia; y en el 25% restante ni jefe de obra ni encargado poseían más de 15 años de experiencia en gestión de construcción de obras similares. En todos los casos la experiencia media del equipo de obra formado por jefe de obra y encargado fue superior a 10 años.
- Ninguno de los jefes de obra y encargados involucrados en los veinte proyectos analizados tenía experiencia en la implementación del SUP; por tanto, la experiencia del equipo de obra respecto a la implementación del SUP no fue analizada en esta investigación.
- En términos de desviaciones de coste, la experiencia del encargado de más de 15 años en la gestión de obras similares a las analizadas fue condición necesaria para garantizar desviaciones de coste inferiores al 10,14%. Y en cuanto a las desviaciones de plazo, la implementación del SUP pudo

considerarse empíricamente significativa para garantizar plazos de obra con desviaciones inferiores al 25%.

- Los resultados del “análisis comparativo cualitativo” (QCA) corroboraron los valores obtenidos mediante la prueba “U de Mann-Whitney” y confirmaron que la implementación del SUP tenía un efecto significativo en el éxito de la gestión de las obras en términos de reducción de la desviación del plazo de construcción. En cuanto a la desviación del coste, los resultados resaltaron que la experiencia en gestión de obra del encargado era la variable más significativa. Por el contrario, este análisis no manifestó que la implementación del SUP ejerciera una influencia significativa sobre las desviaciones del coste.
- Se identificó una combinación de condiciones que minimizaba tanto la desviación del coste como la desviación del plazo entre las obras estudiadas: implementar el SUP en obras donde el encargado tenía más de 15 años de experiencia en gestión de obras similares.
- La experiencia del jefe de obra no presentó una influencia significativa respecto a la desviación del plazo y del coste; posiblemente este factor se vio eclipsado por la mayor influencia sobre esta variable, de la experiencia del encargado y la implementación del SUP.
- Ningún estudio hasta la fecha había analizado específicamente la influencia de los niveles de experiencia de los gerentes en la gestión exitosa de proyectos de construcción al implementar el SUP. Como parte de este estudio, se realizó una publicación en la revista indexada Ain Shams Engineering Journal (Montalbán et al. 2024), titulada “Influencia de la experiencia del jefe de obra y del encargado sobre el éxito de la gestión de proyectos en el contexto de la implementación del Sistema del Último Planificador”.
- Para gestionar los requisitos de los proyectos, fue fundamental la participación sistemática del promotor, retroalimentando las propuestas generadas por los arquitectos proyectistas. Adicionalmente a esto, la participación temprana de los constructores adjudicatarios ayudó a generar una propuesta de diseño más acorde a las necesidades del promotor, ya que se pudo tener en cuenta su conocimiento y experiencia, permitiendo anticipar posibles problemas de indefiniciones o malas interpretaciones entre promotores, proyectistas y constructores antes del inicio de las obras.
- En los seis casos, durante la fase primera de construcción, en la ejecución de la estructura, entraron en la obra un máximo de 4 subcontratistas por semana, con una media de 1,5 subcontratistas durante las semanas que duró esta fase. En la fase segunda, las instalaciones, el máximo fue de 17, con una media de 5 subcontratistas. En la tercera fase, los acabados, hubo un número máximo de 12 subcontratistas con una media de 7 subcontratistas por semana.
- En general, al comienzo de las obras, los participantes estuvieron bastante involucrados en las reuniones, la participación era dinámica y las cuestiones de planificación se discutían de forma conjunta. Sin embargo, a medida que avanzaban las obras, se observaba cierta frustración en mayor o menor grado, dependiendo de cada obra, entre los participantes respecto de las aportaciones del SUP.
- Cabe señalar que el uso del SUP se vio afectado negativamente por otras reuniones de obra, que en parte coincidieron con su agenda, produciendo un

efecto perjudicial. Algunos participantes llegaron a pensar que el SUP no suponía un cambio genuino en las prácticas o cultura propias de las empresas constructoras.

5.3 Recomendaciones prácticas

La implementación del SUP en un proyecto de construcción puede ser eficaz en la mejora de su productividad, en la medida de la adopción de sus componentes y el ajuste y adaptación a la realidad de la empresa constructora. Para ello, será fundamental comprender el sistema en su totalidad y generar las condiciones adecuadas para asegurar una implementación exitosa. Se presentan varias recomendaciones que facilitarán este proceso:

- Es necesario optimizar la relación entre las partes interesadas, mejorar la comunicación, el respeto mutuo y la colaboración, creando acuerdos escritos para expresar la comprensión de cómo comportarse en la obra, cómo fortalecer la relación y cómo controlar que se cumplen los acuerdos. Aunque en un primer momento el promotor y el constructor no tengan especial interés en la labor de mediación y de “hacer equipo”, durante la ejecución de la obra resultará muy gratificante y finalmente todos ellos percibirán las ventajas que aporta el SUP.
- Los tiempos de reacción para corregir una desviación de coste o de plazo son muy cortos y habitualmente se detectan demasiado tarde, sin posibilidad de corrección. El SUP puede ayudar a prever problemas, pero sobre todo a tomar medidas correctivas para solventarlos una vez que se han detectado.
- Durante las reuniones del SUP, se deberá crear optimismo, esperanza, flexibilidad y, sobre todo, transparencia y confianza entre los participantes. Si, por lo contrario, se muestra desconfianza en las reuniones del SUP, inevitablemente afectará a su implementación.
- Se deberá prever que, en las etapas iniciales del proyecto, los subcontratistas participarán con facilidad en las reuniones de planificación, sin embargo, en las etapas de acabados, a medida que aumente el número de subcontratistas, será más complicado realizar las convocatorias y llevar a cabo las reuniones organizadas con asistencia total.
- Por tanto, se requerirá de la participación de un “facilitador” que asista en la supervisión de la implementación del SUP en el proyecto, y que sea responsable de organizar las reuniones semanales de planificación y garantizar que los compromisos acordados se lleven a cabo. El equipo de trabajo, a pesar de su disposición favorable para llevar a cabo el sistema, a menudo carece del tiempo suficiente para completar todas las tareas administrativas que esto implica. Sin una persona encargada de estas labores, la implementación de este sistema se tornará extremadamente complicada.
- Establecer una nueva perspectiva en la organización, centrada en optimizar la productividad y la competitividad, requiriendo un liderazgo sólido que emane de la alta dirección hacia todos los niveles jerárquicos de la entidad. Con base en esta nueva perspectiva, será fundamental elaborar estrategias que favorezcan las condiciones necesarias para la adecuada implementación del SUP. La alta dirección de la empresa deberá coordinar y estructurar la formación y el

adiestramiento necesarios para la aplicación del SUP, con el objetivo de que todos los empleados comprendan el sistema y el papel que deben desempeñar en él.

- Cuando la mayoría de los participantes cuente con una extensa trayectoria en el ámbito de la construcción, la correcta implementación del SUP se volverá considerablemente más difícil. Esto se debe a que añadir o cambiar los métodos de trabajo a los que ya están acostumbrados representará un gran desafío. No ocurrirá esto en igual medida con individuos más jóvenes, quienes estarán más dispuestos a adoptar nuevas técnicas laborales.
- Encargados y capataces tienden a no documentar los trabajos por escrito. Es fundamental que los reportes se comuniquen de manera clara, dado que las instrucciones proporcionadas verbalmente pueden dar lugar a malentendidos. Será necesario habituarlos a redactar y revisar las instrucciones, puesto que la claridad de estas influirá en el desarrollo efectivo y el avance de las obras.
- Si encargado o capataces no participan activamente en la implementación del SUP, esta carecerá de interés y relevancia para ellos, priorizando así aquellas tareas por las que se les hace verdaderamente responsables. Un grado más importante de involucramiento en todas las etapas de la planificación incrementará su sentido de responsabilidad y su compromiso con el proceso de implementación.
- El entrenamiento previo a la aplicación del SUP será la acción más práctica y más fácil de incorporar, que reportará mayores beneficios a la implementación del sistema, aunque este aspecto dependerá de los recursos disponibles para su desarrollo y actualización adecuados.
- La formación y capacitación de los trabajadores no debe enfocarse únicamente hacia el funcionamiento del SUP, sino que también debe incluir un entrenamiento en las habilidades necesarias para ejecutar las actividades de las obras conforme a los procedimientos constructivos. Por tanto, la implementación del SUP, a ser posible, deberá ir de la mano de un sistema de gestión de la calidad eficaz, para detectar y corregir errores de ejecución de manera oportuna, evitando así la necesidad de reparaciones.
- Se deberá prestar atención para que los planificadores, durante el proceso de revisión, no incluyan únicamente las actividades de fácil realización con el propósito de cumplir con todas y lograr un “falso” alto porcentaje de productividad, lo que no permitirá cumplir con el plan inicial.
- Será necesario tener precaución respecto al cálculo indebido del PPC, dado que, si se consideraran como 100% finalizadas ciertas actividades que en realidad no lo estén, esto generará PPCs engañosos. Por lo tanto, es fundamental verificar constantemente el procedimiento empleado en el cálculo del PPC.
- Es aconsejable que las actividades planificadas semanalmente demanden un esfuerzo significativo de los equipos de producción y que se planifique un volumen de tareas algo superior a la capacidad de los equipos de producción. Si el personal observa que las tareas establecidas se están realizando con facilidad, es probable que se relajen. Un PPC muy elevado, si además su cálculo no es del todo fiel, podrá conducir a que el personal pierda la

motivación para superarse semana a semana al suponer que ha alcanzado los objetivos de la planificación.

- Se deberá establecer un registro histórico dentro de la empresa, con toda la información que proporcionen los indicadores del SUP, con el fin de no comenzar desde cero en la construcción de cada proyecto.

5.4 Limitaciones

En este estudio se observaron algunos aspectos restrictivos. Los resultados obtenidos se analizaron considerando ciertas limitaciones que podían provenir tanto de la aplicación del fenómeno investigado, la implementación del SUP, como de la particular estrategia de la gestión de los proyectos de construcción. Esta investigación identifica sus siguientes limitaciones:

- Una limitación evidente es el tamaño de la muestra del estudio. Para poder aplicar procedimientos estadísticos paramétricos se requiere conocer previamente la forma de distribución de los datos resultantes y para ello es necesario que la muestra sea mayor o igual a 30 individuos. En la investigación, al disponer solo de 20 obras, se tuvieron que aplicar procedimientos de estadística no paramétrica.
- Aunque la selección de las obras no introdujo sesgos, tal y como quedó justificado en el capítulo tercero, la toma de datos mediante entrevistas pudo generar percepciones subjetivas de los entrevistados dependiendo del éxito que hubiera tenido cada obra. Los entrevistados podrían dejar de transmitir algunas deficiencias en la implementación del SUP en el caso de las obras con mayor éxito.
- La investigación se centra únicamente en la construcción de viviendas unifamiliares, y los resultados estarán limitados a la generalización de otras tipologías de proyectos, ya que los resultados obtenidos pudieran ser distintos en otros subsectores de la construcción como son la obra civil o la edificación en general.
- El tipo de contratación y entrega de proyectos de construcción que se ha elegido y llevado a cabo en los proyectos de esta investigación se ha ceñido a la gestión tradicional diseño/licitación/construcción (DBB). Este tipo de gestión y entrega de obras coarta la incorporación del contratista desde un primer momento y, por tanto, este tendrá más dificultades para ejercer la colaboración.
- En el estudio no se recogieron los datos necesarios que permitieran analizar la relación de las desviaciones de plazos en cada fase o etapa de construcción de las obras. Tampoco se obtuvieron valores intermedios de los niveles de implementación en cada fase.
- Otra limitación fue el uso de este sistema como una herramienta independiente sin una comprensión más amplia de la metodología *Lean Construction*. Para comenzar, la introducción del SUP se puede hacer solo en términos de su implementación como una herramienta en un proyecto, pero es necesario cambiar el pensamiento de las personas, las formas de trabajar, es decir, la cultura y el entusiasmo.
- La falta de una implementación más completa en los primeros proyectos se puede deber, en parte, a la falta de comprensión de cómo usar la información

y, en parte, al tiempo y esfuerzo que necesitan los jefes de obra para procesar los datos. La falta de comprensión requerirá de más esfuerzo académico y empresarial para conseguir más investigación cuantitativa.

- Durante la investigación, se encontraron vacíos relacionados con la precisión en la confiabilidad de las promesas. Es fundamental tener precaución respecto al cálculo indebido del PPC y verificar constantemente el procedimiento empleado para evaluar los PPCs por que se podrían generar PPCs engañosos.
- En este estudio, no fue posible contrastar los resultados de la investigación con las mismas prácticas aquí analizadas, por la dificultad de conseguir datos con la misma orientación de otras obras en las que se hubiera implementado el SUP junto al empleo de otras prácticas *Lean*. No fue posible comprobar las proposiciones o los hallazgos, de modo que se pudieran generalizar al universo de las obras en general o incluso a obras similares a los casos de la investigación, la construcción de viviendas unifamiliares.

5.5 Futuras líneas de investigación

Las futuras líneas de investigación del SUP se deberán centrar en la mejora de la implementación y la adaptación a diferentes contextos de proyectos. Esto incluye la optimización de la colaboración y la comunicación, y la adaptación del SUP a diferentes proyectos y empresas constructoras. En concreto, se plantean las siguientes futuras líneas de investigación:

- Analizar la relación de las desviaciones de plazo con el nivel de implementación del SUP y con los valores del PPC en las diferentes fases constructivas de las obras o por intervalos de tiempo realizando tomas de datos específicos en cada fase constructiva.
- Analizar la experiencia del equipo de obra respecto a la implementación del SUP y las variables de resultado, coste, plazo y calidad.
- Analizar intensamente las consecuencias de la participación de la empresa constructora en la fase de diseño y junto a la implementación del SUP.
- Analizar en profundidad qué componentes del SUP son más influyentes en el cumplimiento de los indicadores de coste y plazo en diferentes tipologías de proyectos de construcción.
- Averiguar qué prácticas tienden a decaer durante la implementación del SUP en una obra.
- Protocolarizar la formación y capacitación de los trabajadores, no sólo hacia el funcionamiento del SUP, sino también hacia un entrenamiento en las habilidades necesarias para ejecutar las actividades de las obras conforme a los procedimientos constructivos.
- Avanzar en los métodos de cálculo de los indicadores del SUP en general y del PPC en particular para buscar la excelencia en las técnicas de cálculo, ya sea en la academia o en la gestión de proyectos, para lograr mayor precisión, eficiencia y un mejor control sobre los resultados.

REFERENCIAS

Akinsiku, O. E. y Akinsulire, A. (2012). Stakeholders' perception of the causes and effects of construction delays on project delivery. *Journal of Construction Engineering and Project Management*, 2(4)

<http://dx.doi.org/10.6106/JCEPM.2012.2.4.025>

Al Balkhy, W., Sweis, R. y Lafhaj, Z. (2021). Barriers to adopting Lean Construction in the construction industry-the case of Jordan. *Buildings*, 11(6), 222.

<https://doi.org/10.3390/buildings11060222>

Alarcón, L. F., Pavez, I., Bascuñan, C. y Diethelm, S. (2005). *Diagnóstico organizacional en empresas constructoras chilenas*. SIBRATEC IV, Porto Alegre, Brasil, (pp. 1-10).

<https://www.ing.uc.cl/publicaciones/diagnostico-organizacional-en-empresas-constructoras-chilenas/>

Alarcón, L. F., Diethelm, S., Rojo, O. y Calderón, R. (2008). Assessing the impacts of implementing Lean Construction. *Revista Ingeniería de Construcción*, 23(1), 26-33.

<https://www.researchgate.net/publication/255606265>

Alarcón, L. F., Rivas, R. y Serpell, A. (1999). Evaluation and improvement of the procurement process in construction projects. *7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 219–230).

<https://iglc.net/Papers/Details/61>

Alarcón, L. F., Salvatierra, J. L. y Letelier, J. A. (2014). Using Last Planner® indicators to identify early signs of project performance. *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 547–558).

<https://www.researchgate.net/publication/286084153>

Alarcón, L. F. y Calderón, R. (2003). *Implementing lean production strategies in construction companies*. Construction Research Congress: Wind of Change: Integration and Innovation.

[https://doi.org/10.1061/40671\(2003\)38](https://doi.org/10.1061/40671(2003)38)

Alonso, A. M., Peña, D. y Romo, J. (2002). Una revisión de los métodos de remuestreo en series temporales. *Estadística Española*, 44(150), 133-159.

<https://www.researchgate.net/publication/28056549>

Alshubbak, A. M. M. (2010). *Modelo de identificación de las necesidades del promotor en el proceso proyecto-construcción: INPro* [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València.

<https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/11227>

Alsehaimi, A. O., Fazenda, P. T. y Koskela L. (2014). Improving construction management practice with the Last Planner® System: A case study. *Engineering Construction & Architectural Management*, 21(1), 51-64.

<http://dx.doi.org/10.1108/ECAM-03-2012-0032>

REFERENCIAS

Anderson, G. R., Mukherjee, A. y Onder, N. (2009). Traversing and querying constraint driven temporal networks to estimate construction contingencies. *Automation in Construction*, 18(6), 798-813.

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.03.010>

Araque, G. A., García, D. A., Aguirre, E. D., Henao, C. F., Echeverry C. A. y Sidek, S. (2019). The planning in Lean Construction methodology at colombian civil sector. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(1), 173-178.

<https://www.ijrte.org/download/volume-8- issue-1s5/>

Araya, F. (2020). Agent based modeling: a tool for construction engineering and management. *Revista Ingeniería de Construcción*, 35(2), 111-118.

<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732020000200111>

Arditi, D. y Gunaydin, H. M. (2019). Evaluating the critical factors affecting contractor profitability in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(5), 04019019.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.19437862.0001635](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.19437862.0001635)

Aslam, M., Gao, Z. y Smith, G. (2020). Exploring factores for implementing Lean construction for rapid initial successes in construction. *Journal of Cleaner Production*, 277(3), 123295.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123295>

Assaf, S. A. y Al-Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects. *International Journal of Project Management*, 24(4), 349-357.

<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.11.010>

Atout, M. M. (2014). The influence of construction manager experience in project accomplishment. *Management Studies*, 2(8), 515-532.

<https://doi.org/10.17265/2328-2185/2014.08.004>

Bach, M. (2014). The project coach: the new role of the project manager for the future due to the news tools like Building Information Modelling, Integrated Project Delivery, Last Planner® and Others. *Construction and Building Research*, (pp.43-48).

https://doi.org/10.1007/978-94-007-7790-3_6

Badger, W. W., Wiezel, A., Adams, D. M. y Bopp, P. (2012). Superintendent's leadership: a key factor in project success. *International Journal of Project Organisation and Management*, 4(4), 414-424.

<https://doi.org/10.1504/IJPOM.2012.050333>

Bajjou, M. S., Chafi, A., Ennadi, A. y El Hammoumi, M. (2017). The practical relationships between Lean Construction tools and sustainable development: A literature review. *Journal of Eng. Science and Technology Review*, 10(4), 170-177.

<https://www.researchgate.net/publication/320053607>

Ballard, G. (2000). *The Last Planner® System of production control*. A thesis submitted to the Faculty of Engineering of The University of Birmingham for the degree of doctor of philosophy. The University of Birmingham.

<https://www.researchgate.net/publication/239062242>

- Ballard, G., Hammond, J. y Nickerson, R. (2009). Production control principles. *17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 489–500).
<https://iglc.net/papers/Details/623>
- Ballard, G. y Howell, G. (1994). Implementing lean construction: stabilizing work flow - Lean construction. *2nd Annual Conference on Lean Construction at Catolica Universidad de Chile Santiago*.
<https://www.researchgate.net/publication/237612849>
- Ballard, G. y Howell, G. (1998). Shielding production: essential step in production control. *Journal of Construction Engineering and Management*, 124(1), 11-17.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1998\)124:1\(11\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:1(11))
- Ballard, G. y Howell, G. (2003). Lean project management. *Building Research & Information*, 31(2), 119-133.
<https://www.researchgate.net/publication/233542312>
- Ballard, G. y Tommelein, I. (2016). Current process benchmark for the Last Planner® System. *Lean Construction Journal*, 89, 57-89.
<https://doi.org/10.60164/32b7a3h4d>
- Ballard, G. y Tommelein, I. (2021). 2020 *Current process benchmark for the Last Planner® System of project planning and control*. Technical Report, Project Production Systems Laboratory, University of California.
<https://doi.org/10.60164/47e7h7a1b>
- Barathwaj, R., Singh, R. V. y Gunarani, G. I. (2017). Lean construction: Value Stream Mapping for residential construction. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(5), 1072-1086.
https://iaeme.com/Home/article_id/IJCIET_08_05_115
- Bellaver, G. B., Santos, D. O. R. S., Etges, B. M, Santos, P. H. J., de S. Mota, W. (2022). Implementing Lookahead Planning and Digital Tolls to enable scalability and Set of Information in a Multi-Site Lean implementation. *30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 750–761).
<https://doi.org/10.24928/2022/0186>
- Bloom, N. y Van Reenen, J. (2007). Measuring and explaining management practices across firms and countries. *The Quarterly Journal of Economics*, 122(4), 1351–1408.
<https://doi.org/10.1162/qjec.2007.122.4.1351>
- Bloom, N. y Van Reenen, J. (2010). Why do management practices differ across firms and countries? *Journal of Economic Perspectives*, 24(1), 203–224).
<https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.24.1.203>
- Bonache, J. (1999). El estudio de casos como estrategia de construcción teórica: características, críticas y defensas. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, Ed. 3, (pp. 123-140).
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=195459>

REFERENCIAS

Borrego, I. (2010). *Un arquitecto es una casa (An architect is a house). Domesticando la realidad*. Maireia Libros, (pp. 30-35).

<https://ignacioborrego.com/es/estudio/publicaciones/>

Brady, D., Tzortzopoulos, P. y Rooke, J. (2011). An examination of the barriers to Last Planner® implementation. *19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.

<https://iglc.net/papers/Details/1109>

Bresnen, M. J., Bryman, A. E., Ford, J. R., Keil, E. T., Beardsworth, A. D., Jepson, M. A. y Wray, K. (1984). Effective construction site management: a review. *Journal of Construction Engineering and Management*, 110(04), 420–436.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1984\)110:4\(420\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1984)110:4(420))

Brioso, X., Delgado, K. y Bravo, L. (2023). Planificación colaborativa de subcontratistas usando el Last Planner® System: estudio de caso de un subcontratista de instalaciones de gas en proyectos repetitivos de viviendas. *Anales de edificación*, 9(1).

<https://doi.org/10.20868/ade.2023.5306>

Brissi, S. G. y Debs, L. (2019). Lean, automation and modularization in construction. *27th Annual Conf. of the International Group for Lean Construction*, (pp. 711–722).

<https://doi.org/10.24928/2019/0177>

Brodetskaia, I., Sacks, R. y Shapira, A. (2011). A workflow model for systems and interior finishing works in building construction. *Construction Management and Economics*, 29(12), 1209-1227.

<https://doi.org/10.1080/01446193.2011.647829>

Brodetskaia, I., Sacks, R. y Shapira, A. (2013). Stabilizing production flow of interior and finishing works with reentrant flow in building construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(6).

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000595](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000595)

Bustos, O. H. (2015). *Factores latentes de la desviación de presupuestos en proyectos de arquitectura. Un análisis empírico* [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València.

<https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/48558>

Campo Baeza, Alberto (2010). *Un arquitecto es una casa. Memoria del curso 2009-2010. Universidad de Lusíada*. Maireia Libros, (pp. 6-7).

<https://oa.upm.es/55573/>

Cao Y., Kamaruzzaman, S. N. y Aziz, N. M. (2022). Green building construction: a systematic review of BIM utilization. *Buildings*, 12(8), 1205.

<https://doi.org/10.3390/buildings12081205>

Castillo, T., Alarcón, L. F. y Salvatierra, J. L. (2016). Last Planner® System, Social Networks and Performance of Construction Projects. *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.

<https://iglc.net/papers/Details/1311>

- 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. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(3).
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001443](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001443)
- Celoza, A., Leite, F. y de Oliveira, D. P. (2021). Impact of BIM - Related contract factors on project performance. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, 13(3), 04521011.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LA.1943-4170.0000478](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000478)
- Ceric, A. (2014). Strategies for minimizing information asymmetries in construction projects: Project managers' perceptions. *Journal of Business Economics and Management*, 15(3), 424-440.
<https://doi.org/10.3846/16111699.2012.720601>
- Chan, A. P. C., Scott, D. y Chan, A. P. L. (2004). Factors affecting the success of a construction project. *Journal of Construction Eng. and Management*, 130(1), 153-155.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:1\(153\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:1(153))
- Chan, A. P. C. y Chan, A. P. L. (2004). Key performance indicators for measuring construction success. *Benchmarking: An International Journal*, 11(2), 203-221.
<https://doi.org/10.1108/14635770410532624>
- Chen, Y. (2012). Study on the application of lean construction supply chain management in EPC project. *Sustainability*, 16(22), 9748.
<https://doi.org/10.3390/su16229748>
- Cohen, D., Crampton, J., Gagarin, A. y Gutin, G. (2014). Iterative plan construction for the workflow satisfiability problema. *Journal of A.I. Research*, 51(1), 555-577.
<https://doi.org/10.1613/jair.4435>
- Coller, X. (2005). *Estudio de casos. Volumen 30 de Cuadernos Metodológicos*. Centro de Investigaciones Sociológicas.
- Correa, C. L. (2009). *Desarrollo e implementación de un modelo de gestión de la I+D+i para las empresas constructoras basado en la norma UNE 166002* [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València.
<https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/4344>
- Cruz-Machado, V. y Rosa, P. (2007). Modelo de planificación basado en la construcción ajustada para obras de corta duración. *Revista Información Tecnológica*, 18(1), 107-118.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642007000100015>
- Daniel, E. I., Pasquire, C. y Dickens, G. (2014). Social perspective of planning in construction: The UK experience. *30th Annual Conf. of Association of Researchers in Construction Management. Univeristy of Portsmouth, UK*. (pp. 1355- 1365).
<http://dx.doi.org/10.13140/2.1.3227.5846>

REFERENCIAS

- Daniel, E. I., Pasquire, C. y Dickens, G. (2015). Exploring the implementation of the Last Planner® System through IGLC community: twenty one years of experience. *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 153–162).
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4777.2000>
- Darabseh, M. (2019). Lean applications in construction: Review Article. *U.Porto Journal of Engineering*, 5(2), 29-37.
https://doi.org/10.24840/2183-6493_005.002_0004
- Dave, B., Hämmäläinen, J. P., Kemmer, S. y Koskela, L. (2015). Suggestions to improve lean construction planning. *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 193–202).
<https://iglc.net/Papers/Details/1225>
- Deep, S., Simon, L., Asim, M., Rahimzadeh, A. y Al-Hamdani, S. (2018). An analytical study of critical factors affecting contractor efficiency in construction projects in indian scenario organ. *Technology and Management in Construction*, 10(1), 1794-1802.
<https://doi.org/10.2478/otmcj-2018-0010>
- Deep, S., Gajendran, T. y Jefferies, M. (2022). Antecedents of “power” and “dependence” in the context of collaborations in construction projects: a systematic literature review. *Construction Innovation* 23(10).
<https://doi.org/10.1108/CI-11-2021-0226>
- Delfin, M. (2002). *La promoción inmobiliaria. Aspectos prácticos*. 5ª ed. Editorial Dossat, S.A.
- Demirkesen, S. y Bayhan, H. G. (2022). Critical success factores of lean implementation in the construction industry. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 69(6), 2555-2571.
<https://doi.org/10.1109/TEM.2019.2945018>
- Dominguez, M. M. (2022). *Responsabilidad social de las empresas en el sector de la edificación. Análisis de la sostenibilidad en el caso de las empresas constructoras de la provincia de Santa Cruz de Tenerife* [Tesis doctoral]. Universidad de La Laguna.
<http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/25215>
- Ebbs, P. J. y Pasquire, C. L. (2018). Make ready planning using flow walks: a new approach to collaboratively identifying project constraints. *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 734–743).
<https://doi.org/10.24928/2018/0448>
- Echegaray, J. M., Jara, R. y Ramos, C. (2009). *Pautas para la implementación del sistema del último planificador (Last Planner® System) en una empresa constructora pequeña* [Tesis de Maestría]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
<http://hdl.handle.net/10757/273973>
- El Reifi, M. H. y Emmitt, S. (2013). Perceptions of lean design management. *Architectural Engineering and Design Management*, 9(3), 195-208.
<https://doi.org/10.1080/17452007.2013.802979>

El Samad, G., Hamzeh, F. y Emdanat, S. (2017). Last Planner® System -The need for new metrics. *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 637–644).

<https://doi.org/10.24928/2017/0218>

El-Sabaa, S. (2001). The skills and career path of an effective project manager. *International Journal of Project Management*, 19(1), 1-7.

[https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00034-4](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00034-4)

Fauchier, D. y Alves, T. (2013). Last Planner® System is the gateway to lean behaviors. *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 559–568).

<https://iglc.net/Papers/Details/898>

Fellows, R. y Liu, A. (2008). Impact of participants' values on construction sustainability. *Institute of Civil Engineers: Engineering Sustainability*, 161(4), 219-227.

<https://doi.org/10.1680/ensu.2008.161.4.219>

Fernandez-Solis, J. L., Porwal, V. y Lavy, S. (2013). Survey of motivations, benefits, and implementation challenges of Last Planner® System users. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(4), 354-360.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000606](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000606)

Ferrao, F. (2016). *Valoración de la aplicación del método del valor ganado a proyectos de construcción de viviendas unifamiliares de autopromoción* [Tesis de Maestría]. Universidad de Oviedo.

Flores, C. E. y Mamani, E. (2018). *Análisis de implementación de prefabricados y el uso de herramientas modernas como el Bim y Lean Construction para viviendas destinadas al sector socioeconómico "C" en la ciudad de Juliaca* [Tesis de Maestría]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

<https://doi.org/10.19083/tesis/626010>

Formoso, C. T., Bølviken, T. y Viana, D. D. (2020). Understanding waste in construction. *Lean Construction*. Routledge, (pp.129-145).

<https://doi.org/10.1201/9780429203732-7>

Formoso, C. T. y Moura, C. B. (2009). Evaluation of the impact of the Last Planner® System on the performance of construction projects. *7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 153–164).

<https://iglc.net/papers/Details/634>

Fosse, R. y Ballard, G. (2016). Lean design management in practice with the Last Planner® System. *24th Annual Conf. of the International Group for Lean Construction*.

<https://iglc.net/papers/Details/1316>

Frampton, K. (2014). *Historia crítica de la Arquitectura Moderna*. Editorial GG (Gustavo Gili).

REFERENCIAS

García, R. y González, A. (2014). Condiciones de forma y desempeño energético de viviendas unifamiliares en el centro-sur de Chile. *Revista INVI*, 29(80).

<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582014000100005>

Giménez, Z., Mourgues, C., Alarcón, L. F., Mesa, H. y Pellicer, E. (2020). Value analysis model to support the building design process. *Sustainability*, 12(10), 4224.

<https://doi.org/10.3390/su12104224>

Goh, M. y Goh Y. M. (2019). Lean production theorybased simulation of modular Construction processes. *Automation in Construction*, 101, 227-244.

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.017>

Gómez-Cabrera, A., Salazar, L. A., Ponz-Tienda, J. L. y Alarcón, L. F. (2020). Lean tools proposal to mitigate delays and cost overruns in construction projects. *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 781–792).

<https://doi.org/10.24928/2020/0049>

González, G. E. G., Casas, G. H. P. y Coronado, C. A. L. C. (2013). Project manager profile characterization in the construction sector in Bogotá, Colombia. *Project Management Journal*, 44(6), 68-93.

<https://doi.org/10.1002/pmj.21381>

González, P., Solís, J., Llácer, R. y Marrero, M. (2015). La construcción de edificios residenciales en España en el período 2007-2010 y su impacto según el indicador Huella Ecológica. *Informes de la Construcción*, 67(539), 111.

<http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.017>

Grau, D., Cruz-Rios, F. y Sherman, R. (2019). Project validation - A novel practice to improve value and project performance. *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 63–72).

<https://doi.org/10.24928/2019/0199>

Gunduz, M. y Naser, A. (2019). Value Stream Mapping as a lean tool for construction projects. *International Journal of Structural and Civil Eng. Research*, 8(1), 69-74.

<https://doi.org/10.18178/ijscer.8.1.69-74>

Hallavo, V., Kuula, M. y Putkiranta, A. (2018). Evolution and effect of LEAN bundles: a longitudinal study. *Benchmarking: An International Journal*, 25(9), 3789-3808.

<https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2017-0108>

Hamzeh, F. R. (2011). The lean journey: implementing the Last Planner® System in construction. *19th conference for the International Group of Lean Construction*.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3648.7522>

Hamzeh, F. R., Ballard, G. y Tommelein, I. D. (2008). Improving construction workflow: the connective role of lookahead planning. *16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 635–646).

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3804.3685>

Hamzeh, F. R., Ballard, G. y Tommelein, I. D. (2009). Is the Last Planner® System applicable to design? A case study. *17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 165–176).

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1133.5761>

Hamzeh, F. R., Ballard, G. y Tommelein, I. D. (2012). Rethinking Lookahead Planning to optimize construction workflow. *Lean Construction Journal*, (pp. 15-34).

<https://doi.org/10.60164/g3c3a1f5c>

Hamzeh, F. R., González, V. A. Alarcón, L. F. (2021). Lean construction 4.0: Exploring the challenges of development in the AEC industry. *9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 207–216).

<https://doi.org/10.24928/2021/0181>

Hamzeh, F. R., Kallassy, J. y Lahoud, M. (2016). The first extensive implementation of lean and LPS in Lebanon: results and reflections. *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 33–42).

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1455.3847>

Hamzeh, F. R., El Samad, G. y Emdanat, S. (2019). Advanced Metrics for Construction Planning. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(11), 1-16.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001702](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001702)

Hamzeh, F. R. y Aridi, O. Z. (2013). Modeling the Last Planner® System metrics: A case study of an AEC company. *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 599–608).

<https://doi.org/10.13140/2.1.3852.5121>

Hernández-Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw Hill España.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>

Herrera, R. F., Mourgues C. y Alarcón, L. F. (2018). Assessment of lean practices, performance and social networks in chilean airport projects. *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 603–613).

<https://doi.org/10.24928/2018/0493>

Herrera, R. F., Mourgues C., Alarcón, L. F. y Pellicer, E. (2020). Understanding interactions between design team members of construction projects using social network analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(6).

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001841](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001841)

Herrera, R. F., Mourgues C., Alarcón, L. F. y Pellicer, E. (2021). Comparing team interactions in traditional and bim-lean design management. *Buildings*, 11(10), 447.

<https://doi.org/10.3390/buildings11100447>

Hewage, K. N., Gannoruwa, A. y Ruwanpura, J. Y. (2011). Current status of factors leading to team performance of on-site construction professionals in Alberta building construction projects. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 38(6), 679-689.

<https://doi.org/10.1139/I11-038>

REFERENCIAS

Hollnagel, E. (2012). *FRAM: the functional resonance analysis method. Modelling Complex Socio-Technical Systems*. Ashgate.

<https://doi.org/10.1201/9781315255071>

Holt, G. D., Olomolaiye, P. O. y Harris, F. C. (1994). Factors influencing UK construction clients' choice of contractor. *Building and Environment*, 29(2), 241-248.

[https://doi.org/10.1016/0360-1323\(94\)90074-4](https://doi.org/10.1016/0360-1323(94)90074-4)

Howell, G. (1999). What is Lean Construction. *7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.

<https://iglc.net/papers/details/74>

Howell, G. (2012). Uncertainty and contingency: implications for managing projects. *20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.

<https://iglc.net/papers/Details/781>

Howell, G., Laufer, A. y Ballard, G. (1993). Interaction between subcycles: one key to improved methods. *Journal of Construction Engineering and Management*, 119(4).

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1993\)119:4\(714\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1993)119:4(714))

Howell, G., Macomber, H., Koskela, L. y Draper, J. (2004). Leadership and project management: time for a shift from fayol to Flores. *12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.

<https://iglc.net/papers/Details/302>

Howell, G. y Koskela, L. (2000). Reforming project management: the role of lean construction. *8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.

<https://iglc.net/Papers/Details/107>

Hunt, R. J. y Gonzalez, V. A. (2018). Innovation in the New Zealand construction industry – diffusion of the Last Planner® System. *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 422–431).

<https://doi.org/10.24928/2018/0486>

Indira, M. y Jyothsna, M. (2017). An approach to effective construction management based on lean construction techniques. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(4), 1954–1959.

https://iaeme.com/Home/article_id/IJCIET_08_04_221

INE (2023). *Productos y Servicios. El IPC en un clic*.

<https://www.ine.es/calcula/>

Issa, U. H. y Alqurashi, M. (2020). A model for evaluating causes of wastes and Lean implementation in construction projects. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(4), 331-342.

<https://doi.org/10.3846/jcem.2020.12323>

Jang, J. W. y Kim Y. W. (2007). Use of percent of constraint removal to measure the make ready process. *15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 529–538).

<https://www.iglc.net/papers/details/497>

- Javanmardi, A., Alireza, S. y Liu, M. (2020). Improving effectiveness of constraints removal in construction planning meetings: information-theoretic approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(4), 04020015.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001790](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001790)
- Jordan, E., Gross, M. E., Javernick-Will, A. N. y Garvin, M. J. (2011). Use and misuse of qualitative comparative analysis. *Construction Management and Economics*, 29(11), 1159-1173.
<https://doi.org/10.1080/01446193.2011.640339>
- Jørgensen, B. y Emmitt, S. (2009). Investigating the integration of design and construction from a “lean” perspective. *Construction Innovation*, 9(2), 225-240.
<https://doi.org/10.1108/14714170910950849>
- Kabirifar, K. y Mojtahedi, M. (2019). The impact of engineering, procurement and construction (EPC) phases on project performance: A case of large-scale residential construction project. *Buildings*, 9(1), 15.
<https://doi.org/10.3390/buildings9010015>
- Kagioglou, M., Cooper, R. y Aouad, G. (2001). Performance management in construction: a conceptual framework. *Construction Management and Economics*, 19(1), 85-95.
<https://doi.org/10.1080/01446190010003425>
- Kalsaas, B. T. (2012). The Last Planner® System style of planning: its basis in learning theory. *Journal of Eng., Project, and Production Management*, 2(2), 88-100.
<https://doi.org/10.32738/JEPPM.201207.0005>
- Katar, I. M. (2019). Enhancing the project delivery quality; Lean Construction concepts of design-build & design-bid-build methods. *International Journal of Management*, 10(6), 324-337.
<https://doi.org/10.34218/IJM.10.6.2019.031>
- Kemmer, S., Biotto, C., Chaves, F., Koskela, L. y Fazenda P. T. (2016). Implementing Last Planner® System in the context of social housing retrofit. *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 83–92).
<https://iglc.net/papers/Details/1302>
- Kim Y. W., Rezaqallah, K., Lee, H. W. y Angeley, J. (2016). Integrated Project Delivery in public projects: limitations and opportunity. *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 93–102).
<https://iglc.net/papers/Details/1305>
- Kim Y. W. y Ballard, G. (2010). Management thinking in the earned value method system and the Last Planner® System. *Journal Of Manag. In Eng.*, 26(4), 223–228.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000026](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000026)
- Ko, C. H. y Chung, N. F. (2014). Lean design process. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(6).
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000824](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000824)

REFERENCIAS

- Konchar, M. y Sanvido, V. (1998). Comparison of U.S. Project Delivery Systems. *Journal of Construction Engineering and Management*, 124(6), 435.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1998\)124:6\(435\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:6(435))
- Koskela, L. (1992). *Aplicación de la filosofía de la nueva producción a la construcción*. Stanford University.
<https://www.researchgate.net/publication/243781224>
- Koskela, L. (1999). Management of production in construction: A theoretical view. *7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 241–252).
<https://www.iglc.net/papers/details/76>
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction; 2000*. Dissertation for the degree of Doctor of Technology. Technical Research Centre of Finland. VTT Publications.
<https://www.researchgate.net/publication/35018344>
- Koskela, L., Ballard, G. y Howell, G. (2003). Achieving change in construction. *11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
<https://iglc.net/Papers/Details/251>
- Koskela, L., Rooke, J., Bertelsen, S. y Henrich, G. (2007). The TFV theory of production: new developments. *15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
<https://iglc.net/Papers/Details/452>
- Koskela, L., Stratton, R. y Koskenvesa, A. (2010). Last Planner® and critical chain in construction management: comparative analysis. *18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 538–547).
<https://iglc.net/Papers/Details/680>
- Koskela, L., Ferrantelli, A., Niiranen, J., Pikas, E. y Dave, B. (2019). Epistemological explanation of Lean Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(2).
<https://doi.org/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0001597>
- Koskela, L. y Howell, G. (2001). Reforming project management: the role of planning, execution and controlling. *9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
<http://iglc.net/Papers/Details/147>
- Koskela, L., Tezel, A. y Tzortzopoulos, P. (2018). Why visual management? *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 250–260).
<https://doi.org/10.24928/2018/0527>
- Kraus, S., Ribeiro, D. y Schüssler, M. (2018). Fuzzy-set qualitative comparative analysis (fsQCA) in entrepreneurship and innovation research – the rise of a method. *International Entrepreneurship and Management Journal*, 14(1), 15–33.
<https://doi.org/10.1007/s11365-017-0461-8>

Kumar, C. S., Kapuganti, C. B., Eswara, S., Santhosh, T. y Ramesh, B. (2020). Application of Last Planner® System as Lean Construction technique. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(9), 6035-6041.

<https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/184892020>

Laakkonen, R. (2023). *Potentials of takt production for performance improvement and requirements for successful implementations*. Bachelor's thesis. Lappeenranta-Lahti University of Technology.

<https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2023051243960>

Lagos, C., Alarcón, L. F. y Salvatierra, J. L. (2016). Improving the use of information management for continuous improvement with the Last Planner® System. *Memorias del VII Elagec*, (pp. 737–745).

<https://www.researchgate.net/publication/318216903>

Lagos, C., Herrera, R. F. y Alarcón, L. F. (2017). Contribución de las tecnologías de la información a la implementación del sistema Last Planner®. *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 87–94).

<https://doi.org/10.24928/2017/0255>

Lagos, C., Herrera, R. F. y Alarcón, L. F. (2019). Assessing the impacts of an IT LPS support system on schedule accomplishment in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(10).

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001691](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001691)

Lagos, C., Herrera, R. F. y Muñoz, J. (2022). Influence of Last Planner® System adoption level on project management and communication. *30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 211–222).

<https://doi.org/10.24928/2022/0124>

Lagos, C., Herrera, R. F., Mac Cawley, A., Maluk, P., y Alarcón, L. F. (2023). Methodology to quantitatively assess collaboration in the make-ready process. *Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC31)* (pp. 942–953).

<https://doi.org/10.24928/2023/0193>

Lagos, C., Herrera, R. F., Mac Cawley, A. y Alarcón, L. F. (2024). An AI copilot for make-ready planning in the Last Planner® System. *32nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 365–376).

<https://doi.org/10.24928/2024/0155>

Lagos, C. y Alarcón, L. F. (2020). Using percent plan completed for early success assessment in the Last Planner® System. *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 469–480).

<https://doi.org/10.24928/2020/0052>

Lagos, C. y Alarcón, L. F. (2021). Assessing the relationship between constraint management and schedule performance in chilean and colombian construction projects. *Journal of Management in Engineering*, 37(5).

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000942](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000942)

REFERENCIAS

Lappalainen, E., Reinbold, A. y Seppänen, O. (2023). Planned Percentage Completed in construction – a quantitative review of literature. *31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 1104–1115).

<https://doi.org/10.24928/2023/0104>

Leal, M. y Alarcón, L. F. (2010). Quantifying impacts of Last Planner® implementation in industrial mining projects. *18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 518–527).

<https://iglc.net/Papers/Details/733>

Lemna, G. J., Borchering, J. D. y Tucker, R. L. (1986). Productive foremen in industrial construction. *Journal of Construction Eng. and Manag.*, 112(2), 192-210.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1986\)112:2\(192\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1986)112:2(192))

Lerche, J., Neve, H., Wandahl, S. y Gross, A. (2020). Continuous improvements at operator level. *Journal of Eng., Project, and Production Management*, 10(1), 64-70.

<https://doi.org/10.2478/jeppm-2020-0008>

Lindhard, S. M. y Wandahl, S. (2013). Improving onsite scheduling: looking into the limits of the Last Planner® System. *The Built & Human Environment Review*, 6, 46-60.

<https://www.researchgate.net/publication/276417073>

Liu, M., Ballard, G. y Ibbs, W. (2011). Work flow variation and labor productivity: Case study. *Journal of Management in Engineering*, 27(4):236-242.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000056](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000056)

Liu, M. y Ballard, G. (2008). Improving labor productivity through production control. *16th Annual Conf. of the International Group for Lean Construction*, (pp. 657–666).

<https://iglc.net/Papers/Details/592>

Loosemore, M. y Denny-Smith, G. (2016). Barriers to indigenous enterprise in the australian construction industry. *32nd Annual ARCOM. Association of Researchers in Construction Management*, 2, 629-638.

<https://www.arcom.ac.uk/->

<docs/proceedings/478b6e1487122c6a01fca21e18464930.pdf>

Luna, K. (2017). *Indicadores de desempeño en empresas promotoras constructoras de vivienda. El caso de México* [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València.

<https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/90447>

Marcucci, A.C., Belandria, D. y Machado, M. V. (2021). La liquidez en las formas de la arquitectura japonesa contemporánea. Una mirada a la obra de Junya Ishigami. *Módulo Arquitectura CUC*, 28(1), 189-224.

<https://doi.org/10.17981/mod.arq.cuc.28.1.2022.06>

Meng, X. (2019). Lean management in the context of construction supply chains. *International Journal of Production Research*, 57(11), 3784-3798.

<https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1566659>

Mesa, H. A., Molenaar, K. R. y Alarcón, L. F. (2019). Comparative analysis between integrated project delivery and lean project delivery. *International Journal of Project Management*, 37(3), 395-409.

<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.01.012>

Miles, M.B., Huberman, A.M. y Saldana, J. (2013). *Qualitative data analysis: a methods sourcebook*. SAGE Publications, Thousand Oaks.

Molenaar, K. R., Gransberg, D.D. y Sillars, D.N. (2015). *Guidebook on alternative quality management systems for highway construction*. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine.

<https://doi.org/https://doi.org/10.17226/22128>

Monge, E. C. (2010). El estudio de casos como metodología de investigación y su importancia en la dirección y administración de empresas. *Revista Nacional de Administración*, 1(2), 31-54.

<https://doi.org/10.22458/rna.v1i2.332>

Montgomery, D. C. (2012). *Design and analysis of experiments*. J. Wiley & Sons, Inc.

<https://www.researchgate.net/publication/362079778>

Montalbán, L., Casas, J., Alarcón, L. F. y Pellicer, E. (2024). Influence of the experience of the project manager and the foreman on project management's success in the context of LPS implementation. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(1).

<https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102324>

Mossman, A. (2018). What Is Lean Construction: Another Look. *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 1240–1250).

<https://doi.org/10.24928/2018/0309>

Mossman, A. y Ramalingam S. (2021). Last Planner®, everyday learning, shared understanding & rework. *29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 697–706).

<https://doi.org/10.24928/2021/0137>

Munthe-kaas, T. S., Hjelmekke, H., Lohne, J. y Lædre, O. (2015). Lean design versus traditional design approach for Lean Construction. *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 578–588).

<https://iglc.net/Papers/Details/1207>

Nassar, Y. S. (2021). Comparing the use of modern and traditional building design systems in construction projects. *Technium Romanian Journal of Applied Sciences and Technology*, 3(10), 82-93.

<https://doi.org/10.47577/technium.v3i10.5220>

Nikhil, S. y Hedao, M. (2017). Last Planner® System - theory to implementation. *International Journal of Scientific Research and Development*, 5(9), 395-399.

<https://ijsrd.com/Article.php?manuscript=IJSRDV5I90265>

REFERENCIAS

Ortiz, J. I., Pellicer, E. y Howell, G. (2014). Contingency management in construction projects: a survey of spanish contractors. *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 195–206).

<https://iglc.net/papers/Details/996>

Pellicer, E., Sanz, A. y Catalá, J. (2004). *El proceso proyecto-construcción: Aplicación a la ingeniería civil*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia.

Pellicer, E., Sanz, A., Esmaeili, B. y Molenaar, K. R. (2016). Exploration of team integration in spanish multifamily residential building construction. *Journal of Management in Engineering*, 32(5), 05016012.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000438](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000438)

Peña, D. (1986). Estadística, modelos y métodos. Alianza Editorial.

Pérez, D., Lagos, C. y Alarcón L. F. (2022). Key Last Planner® System metrics to assess project performance in high-rise building and industrial construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(1), 04021179.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002209](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002209)

Pinilla, J. O. y Rico, A. F. O. (2021). ¿Pearson y Spearman, coeficientes intercambiables? *Comunicaciones en Estadística*, 14(1), 53.

<https://doi.org/10.15332/23393076.6769>

PMI (2021). *The standard for project management and a guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*. Seventh edition. Newton Square, Pennsylvania: Project Management Institute.

Pons, J. F. (2018). *The Flow Building® Lean Game: una dinámica innovadora creada en España para la enseñanza de Lean Construction*. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España.

<https://hdl.handle.net/20.500.12251/324>

Pons, J. F. y Rubio, I. (2021). *Lean construction - Las 10 claves del éxito para su implementación*. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, Ed.; 1ª ed.

<https://www.cgate.es/pdf/LEAN%20CONSTRUCTION%20II.pdf>

Power, W. y Taylor, D. (2019). Last Planner® System and percent plan complete: an examination of trade contractor performance. *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 1–12).

<https://doi.org/10.24928/2019/0164>

Priven, V. y Sacks, R. (2013). Social network development in Last Planner® System implementations. *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 537–548).

<https://iglc.net/Papers/Details/940>

Priven, V. y Sacks, R. (2015). Effects of the Last Planner® System on social networks among construction trade crews. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(6), 1-10.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000975](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000975)

- 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. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(7), 04016013.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001102](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001102)
- Przywara, D. y Rak, A. (2021). Monitoring of time and cost variances of schedule using simple earned value method indicators. *Applied Sciences*, 11(4), 1357.
<https://doi.org/10.3390/app11041357>
- Ramírez, A. y Polack, A. M. (2020). Estadística inferencial. Elección de una prueba estadística no paramétrica en investigación científica. *Horizonte de la Ciencia*, 10(19), 191-208
<https://doi.org/10.26490/uncp.horizonteciencia.2020.19.597>
- Reichstein, T., Salter, A., y Gann, D. (2005). Last among equals: a comparison of innovation in construction, services and manufacturing in the UK. *Construction Management and Economics*, 23(6), 631–644.
<https://doi.org/10.1080/01446190500126940>
- Retamal, F., Salazar, L.A., Herrera, R.F., y Alarcón, L.F. (2020). Exploring the relationship among planning reliability (PPC), linguistic action indicators and social network metrics. *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 109–118).
<https://doi.org/10.24928/2020/0031>
- Retamal, F., Salazar, L. A. y Alarcón, L. F. (2022). Online monitoring and implementation of commitment management performance and its impact on project planning in four construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(10).
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002372](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002372)
- Rihoux, B. y Ragin, C. (2009). *Configurational comparative methods: Qualitative comparative analysis (QCA) and related techniques*. SAGE Publications, Inc.
<https://doi.org/10.4135/9781452226569>
- Rocha, L. G. B. y Dantas, J. L. (2020). An application of the Last Planner® System in residential construction projects in Brazil. *International Journal of Construction Management*, 20(6), 563-574.
<https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1644065>
- Rodríguez, A., Alarcón, L. F. y Pellicer, E. (2011). La gestión de la obra desde la perspectiva del Último Planificador. *Revista de Obras Públicas*, 158(3518), 35-44.
<https://www.researchgate.net/publication/289002276>
- Rojas, E. M. (2013). Identifying, recruiting, and retaining quality field supervisors and project managers in the electrical construction industry. *Journal of Management in Engineering*, 29(4), 424-434.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000172](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000172)

REFERENCIAS

Rooke, J., Seymour, D. y Fellows, R. (2004). Planning for claims: An ethnography of industry culture. *Construction Management and Economics*, 22(6), 655-662.

<https://doi.org/10.1080/014461904200026324>

Rosas, E. (2013). Integrating the design structure matrix and the Last Planner® System into building design. *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 389–398).

<https://iglc.net/papers/Details/943>

Rother, M. (2010). *Toyota Kata: managing people for improvement, adaptability and superior results*. McGraw-Hill.

<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2426452>

Russell, M. M., Hsiang, S. M., Liu, M. y Wambeke, B. W. (2014). Causes of time buffer and duration variation in construction project tasks: comparison of perception to reality. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(6), 04014016.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000819](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000819)

Sacks, R., Treckmann, M. y Rozenfeld, O. (2009). Visualization of work flow to support Lean Construction. *Journal of construction engineering and management*, 135(12), 1307-1315.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000102](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000102)

Sageer, A., Rafat, S. y Agarwal, P. (2012). Identification of variables affecting employee satisfaction and their impact on the organization. *Journal Of Business and Management*, 5(1), 32-39.

<https://doi.org/10.9790/487X-0513239>

Salling, S. T., Perez, C. T. y Wandahl, S. (2023). Perception of project management among construction workers: a survey in Denmark. *31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 882–893).

<https://doi.org/10.24928/2023/0124>

Salvatierra, J. L., Alarcón, L. F., López, A. y Velásquez, X. (2015). Lean diagnosis for chilean construction industry: towards more sustainable Lean practices and tolos. *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 642–651).

<https://iglc.net/Papers/Details/1208>

Sambasivan, M. y Soon Y. W. (2007). Causes and effects of delays in Malaysian construction industry. *International Journal of Project Management*, 25(5), 517-526.

<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.11.007>

Sanvido, V., Grobler, F., Parfitt, K., Guvenis, M. y Coyle, M. (1992). Critical success factors for construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 118(1), 94-111.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1992\)118:1\(94\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1992)118:1(94))

Sanz, M. A. (2016). *Influencia del comportamiento colaborativo en la construcción de edificios residenciales de promoción privada en España. Comparativa con la experiencia norteamericana* [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València.

<https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/61960>

- Sauer, C., Liu, L. y Johnston, K. (2001). Where Project Managers are Kings. *Project Management Journal*, 32(4), 39-49.
<https://doi.org/10.1177/875697280103200406>
- Savelsbergh, C.M.J.H., Havermans, L.A. y Storm P. (2016). Development paths of project managers: What and how do project managers learn from their experiences? *International Journal of Project Management*, 34(4), 559-569.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.02.005>
- Schimanski, C. P., Pradhan, N. L., Chaltsev, D., Pasetti G. y Matt, D. T. (2021). Integrating BIM with Lean Construction approach: functional requirements and production management software. *Automation in Construction*, 132(1), 103969.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103969>
- Seoane, T., Martín, J. L. R., Martín-Sánchez, E., Lurueña-Segovia, S. y Moreno, F. J. A. (2007). Capítulo 7: estadística: estadística descriptiva y estadística inferencial. *Semergen: revista española de medicina de familia*, 33(9), 466-471.
[https://doi.org/10.1016/S1138-3593\(07\)73945-X](https://doi.org/10.1016/S1138-3593(07)73945-X)
- SEOPAN (2024). *Construcción e infraestructuras 2023-2024*.
<https://seopan.es/wp-content/uploads/2024/10/Imapcto-socioeconomico-de-la-obra-civil-Def.pdf>
- Shrestha, B. K., Choi, J. O., Kwak Y. H. y Shane, J. S. (2021). Recipes for standardized capital projects' performance success. *Journal of Management in Engineering*, 37(4), 04021029.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000926](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000926)
- Simonsen, S. H. F., Skoglund, M. H., Engebø A., Varegg, B. E. y Lædre, O. (2019). Effects of IPD in Norway – A case study of the Tønsberg Project. *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 251–262).
<https://doi.org/10.24928/2019/0157>
- Singh, S. y Kumar, K. (2020). Review of literature of Lean Construction and Lean Tools using systematic literature review technique (2008–2018). *Ain Shams Engineering Journal*, 11(2), 465–71.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.012>
- Soares, A. C., Bernardes, M. M. S. y Formoso, C. T. (2002). Improving the production planning and control system in a building company: contributions after stabilization. *20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
<https://iglc.net/papers/Details/845>
- Soto, A., Sánchez, M. I., Pedraza, J. A., y Márquez, J. A. (2020). La implementación de planes de igualdad en las universidades españolas: análisis cualitativo comparado (QCA). *Revista Internacional De Sociología*, 78(2), 158.
<https://doi.org/10.3989/ris.2020.78.2.18.172>
- Spreen, M. (1992). Rare populations, hidden populations, and link-tracing designs: what and why? *Bulletin de Méthodologie Sociologique*, 36(1), 34-58.
<https://doi.org/10.1177/075910639203600103>

REFERENCIAS

Stake, R. E. (1995). *The art of case study research*. University of Illinois at Urbana-Champaign. SAGE Publications, Inc.

<https://www.researchgate.net/publication/273635929>

Sunindijo, R. Y. (2015). Project manager skills for improving project performance. *International Journal of Business Performance Management*, 16(1), 67-83.

<https://doi.org/10.1504/IJBPM.2015.066041>

Tauriainen, M., Marttinen, P., Dave, B. y Koskela, L. (2016). The effects of BIM and Lean Construction on design management practices. *Procedia Engineering*, 164(1), 567-574.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.659>

Tayeh, B. A., Al Hallaq, K., Al Faqawi, A. H., Alaloul, W. S., Kim S. Y. (2018). Success factors and barriers of Last Planner® System implementation in the Gaza strip construction industry. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 12(1), 389-403.

<https://doi.org/10.2174/1874836801812010389>

Taylor, J. E., Dossick, C. S. y Garvin, M. (2010). Meeting the burden of proof with case-study research. *Journal of Construction Eng. and Management*, 137(4), 303-311.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000283](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000283)

Tommelein, I. D., Riley, D. R. y Howell, G. A. (1999). Parade game: impact of work flow variability on trade performance. *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(5), 304.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1999\)125:5\(304](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:5(304)

Toor, S. R. y Ofori, G. (2008). Leadership versus management: how they are different, and why. *Leadership and Management in Engineering*, 8(2).

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1532-6748\(2008\)8:2\(61\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1532-6748(2008)8:2(61)

Toor, S. y Ogunlana, S. (2010). Beyond the “iron triangle”: stakeholder perception of key performance indicators (KPIs) for large-scale public sector development projects. *International Journal of Project Management*, 28(3), 228–236.

<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.05.005>

Ullah, F., Thaheem, M. F., Siddiqui, S. Q. y Khurshid, M. B. (2017). Influence of six sigma on project success in construction industry of Pakistan. *The TQM Journal*, 29(29), 276-309.

<https://doi.org/10.1108/TQM-11-2015-0136>

Uwakweh, B. O. (2005). Effect of foremen on construction apprentice. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(12), 1320-1327.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:12\(1320](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:12(1320)

Vasilyeva, A., Onishi, M. y Kobayashi, K. (2015). Delay analysis methods for construction projects: mathematical modelling. *International Journal of Transportation*, 3(1), 27-36.

<https://doi.org/10.14257/ijt.2015.3.1.03>

Venkatesh, P. K. y Venkatesan, V. (2021). Experiences from the implementation of Last Planner® System in construction project. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 28(2), 125-141.

<https://doi.org/10.56042/ijems.v28i2.44856>

Villarreal, O. y Landeta, J. (2010). El estudio de casos como metodología de investigación científica en dirección y economía de la empresa. Una aplicación a la internacionalización. *Invest. Europeas de Dirección y Economía*, 16(3), 31-52.

[https://doi.org/10.1016/S1135-2523\(12\)60033-1](https://doi.org/10.1016/S1135-2523(12)60033-1)

Wambeke, B. W., Hsiang, S. M. y Liu, M. (2011). Causes of variation in construction project task starting times and duration. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(9).

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000342](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000342)

Womack, J. P. y Jones, D. (1996). Lean Thinking. Revised and updated. Free Press. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11).

<https://doi.org/10.1038/sj.jors.2600967>

Xia, B., Skitmore, M., Wu, P. y Chen, Q. (2014). How public owners communicate the sustainability requirements of green design-build projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(8), 04014036.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000879](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000879)

Xiaosheng, T. y Hamzeh F. (2020). Precast concrete building construction process comparison. *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (pp. 625–636).

<https://doi.org/10.24928/2020/0027>

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: design and methods* (6th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2914980>

Yu, J. H. yoo, S. E., Kim, J. I. y Kim, T. W. (2019). Exploring the factor-performance relationship of integrated project delivery projects: a qualitative comparative analysis. *Project Management Journal*, 50(2), 335-345.

<https://doi.org/10.1177/8756972819832206>

Zegarra, O. y Alarcón, L. F. (2017). Variability propagation in the production planning and control mechanism of construction projects. *Prod. Planning & Control*, 28(4), 1-20.

<https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1304588>

REFERENCIAS

ANEXOS

ANEXO A.

Cuestionario común de las entrevistas a los jefes de obra

ANEXO B.

Matriz de datos

ANEXO C.

Resultados de la prueba “U de Mann-Whitney”

ANEXO D.

Matriz de correlaciones

ANEXO E.

Protocolo del estudio de casos múltiple

ANEXO F.

Medición del nivel de implementación del Sistema del Último Planificador mediante el cuestionario de Lagos et al. (2017)

ANEXO G.

PPCs semanales caso a caso y por fases: estructura, instalaciones y acabados

ANEXO H.

Guion de la verificación externa de los hallazgos

Anexo A. Cuestionario común de las entrevistas a los jefes de obra

La Universidad Politécnica de Valencia está desarrollando una investigación sobre la implementación del Sistema del Último Planificador, una metodología de planificación y control de obras.

Una de las fuentes de información de la citada investigación es la facilitada por entrevistas realizadas a los jefes de obra de los proyectos seleccionados. El presente cuestionario que sirve de guía a las entrevistas se cumplimentará durante dos sesiones de 90 minutos, antes de comenzar las obras y a su término.

Este documento será estrictamente confidencial y será utilizada en el ámbito de esta investigación.

Para cualquier duda puede contactar con José Casas en el teléfono +34 650 09 26 94.

CUESTIONARIO PARA LA ENTREVISTA A JEFES DE OBRA (parte 1ª)

Datos generales y datos específicos correspondientes a la fase de estudio y adjudicación de la obra.

Información del jefe de obra

- Nombre del jefe de obra:
- Teléfono:
- Correo electrónico:
- Título universitario:
- Denominación y localización de la obra:

Experiencia en obra e implementación del SUP

1. ¿Se va a implementar el Sistema del Último Planificador en su obra? (Sí o No)
2. ¿Posee una experiencia profesional en el sector de la construcción igual o mayor a cinco años? (Sí o No)
3. ¿Posee una experiencia profesional en su puesto de trabajo actual igual o mayor a dos años? (Sí o No)
4. ¿Posee experiencia previa en implementaciones del SUP? (Sí o No)
5. ¿Cuántos años de experiencia posee en construcción de viviendas unifamiliares?
6. ¿Cuántos años de experiencia posee el encargado asignado a esta obra en construcción de viviendas unifamiliares?
7. ¿Posee experiencia previa el encargado asignado a esta obra en implementaciones del SUP? (Sí o No)

Características de la obra: construcción de una vivienda unifamiliar

8. Superficie construida (m²):
Los metros cuadrados construidos lo forman el espacio pisable de la vivienda que incluye la ocupación de la tabiquería, las tuberías, los conductos de ventilación y otras instalaciones.
9. Número de forjados o plantas (1, 2, n):
10. Cimentación superficial con zapatas (Sí o No):
11. Cubierta plana (Sí o No):

Datos cuantitativos de la obra: construcción de una vivienda unifamiliar

12. Presupuesto de estudio (€):
13. Presupuesto de adjudicación (€):
14. Presupuesto final obra terminada (€): (esta pregunta se contestará al término de la obra, en la parte 2ª del cuestionario)
No se incluyen los costes de adquisición del terreno, mobiliario y otros que no fueran propios de la construcción; tampoco se incluyeron los costes externos a la huella del edificio, como fue la urbanización del entorno.
15. Plazo contratado (meses):
16. Plazo planificado (meses):
17. Plazo real (meses): (esta pregunta se contestará al término de la obra, en la parte 2ª del cuestionario)
Los plazos estipulados en los contratos con el promotor, los plazos previstos o planificados por el jefe de obra y los reales tras la finalización de las obras, y las fechas previstas y las reales para el inicio y fin de la construcción. La fecha real considerada de inicio de la construcción fue la fecha de la firma del acta de replanteo de las obras y la fecha real de finalización de la construcción fue la fecha del acta de recepción sin reservas.
18. Interrupciones achacables al contratista (meses): (esta pregunta se contestará al término de la obra, en la parte 2ª del cuestionario)
19. Interrupciones achacables a la dirección de obra (meses): (esta pregunta se contestará al término de la obra, en la parte 2ª del cuestionario)
20. Interrupciones achacables al promotor (meses): (esta pregunta se contestará al término de la obra, en la parte 2ª del cuestionario)

Opinión sobre el proceso constructivo de la vivienda unifamiliar

21. ¿Alguna consideración sobre si la obra pudiera haber sido entregada con mejores resultados de coste y plazo? (esta pregunta se contestará al término de la obra, en la parte 2ª del cuestionario)

22. ¿Alguna característica singular del edificio que podría haber influido en el resultado de los costes o los plazos? (esta pregunta se contestará al término de la obra, en la parte 2ª del cuestionario)
Valoración acerca del nivel de complejidad técnica de la obra.

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

CUESTIONARIO PARA LA ENTREVISTA A JEFES DE OBRA (parte 2ª)

Toma final de datos.

Información del jefe de obra

- Nombre del jefe de obra:
- Teléfono:
- Correo electrónico:
- Título universitario:
- Denominación y localización de la obra:

Experiencia en obra e implementación del SUP

1. ¿Se ha implementado el Sistema del Último Planificador durante la construcción de su obra? (Sí o No)

Datos cuantitativos de la obra: construcción de una vivienda unifamiliar

12. Presupuesto de estudio (€): (dato facilitado al inicio de la obra)
13. Presupuesto de adjudicación (€): (dato facilitado al inicio de la obra)
14. Presupuesto final obra terminada (€):
 No se incluyen los costes de adquisición del terreno, mobiliario y otros que no fueran propios de la construcción; tampoco se incluyeron los costes externos a la huella del edificio, como fue la urbanización del entorno.
15. Plazo contratado (meses): (dato facilitado al inicio de la obra)
16. Plazo planificado (meses): (dato facilitado al inicio de la obra)
17. Plazo real (meses):
 Los plazos estipulados en los contratos con el promotor, los plazos previstos o planificados por el jefe de obra y los reales tras la finalización de las obras, y las fechas previstas y las reales para el inicio y fin de la construcción. La fecha real considerada de inicio de la construcción fue la fecha de la firma del acta de replanteo de las obras y la fecha real de finalización de la construcción fue la fecha del acta de recepción sin reservas.
18. Interrupciones achacables al contratista (meses):
19. Interrupciones achacables a la dirección de obra (meses):
20. Interrupciones achacables al promotor (meses):

Opinión sobre el proceso constructivo de la vivienda unifamiliar

21. ¿Alguna consideración sobre si la obra pudiera haber sido entregada con mejores resultados de coste y plazo?

22. ¿Alguna característica singular del edificio que podría haber influido en el resultado de los costes o los plazos?

Valoración acerca del nivel de complejidad técnica de la obra.

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

Anexo B. Matriz de datos

Figura A.1: Vista completa de la matriz de datos

ID	Categoría	Implementación SUP	Exp. Jefe de Obra	Exp. Encargado	Superficie construida (m ²)	Indicadores de desempeño										Indicadores de calidad												
						Indicador 1	Indicador 2	Indicador 3	Indicador 4	Indicador 5	Indicador 6	Indicador 7	Indicador 8	Indicador 9	Indicador 10	Indicador 11	Indicador 12	Indicador 13	Indicador 14	Indicador 15	Indicador 16	Indicador 17	Indicador 18	Indicador 19	Indicador 20	Indicador 21	Indicador 22	
1	TRT	No	<15 años	<15 años	527	12	15	15	0	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	ALB	No	<15 años	<15 años	248	10	18	14	2	2	4	8	4	80.00	40.00	1.11	0.83	0.81	0.25	285	285	256	-12	24.91	10	1.110	1.149	1.425
3	CAT	No	<15 años	<15 años	299	10	15	13	1	1	1	5	3	50.00	10.00	1.36	0.81	1.05	0.11	286	276	276	-5	27.03	21	1.017	999	1.138
4	ELI	No	<15 años	<15 años	452	12	19	15	2	2	3	7	3	58.13	25.00	1.71	1.08	1.37	0.50	583	575	575	-5	5.89	5	1.117	1.091	1.272
5	TEC	No	<15 años	<15 años	487	12	23	18	2	1	6	11	6	91.67	50.00	1.84	0.96	1.13	0.01	580	580	580	-3	5.00	1	1.101	1.100	1.207
6	IVN	No	<15 años	<15 años	347	10	18	14	2	2	4	8	4	80.00	40.00	1.58	0.88	1.13	0.25	330	425	425	2	28.79	31	917	951	1.225
7	BRI	No	<15 años	<15 años	253	10	17	14	1	2	4	7	4	70.00	40.00	1.11	0.68	0.83	0.01	330	430	430	-10	18.71	11	1.104	1.120	1.190
8	CON	No	<15 años	<15 años	314	10	14	12	1	1	2	4	2	40.00	20.00	1.43	1.02	1.18	0.01	385	385	385	-10	14.49	3	1.220	1.099	1.258
9	SOR	Si	<15 años	<15 años	384	10	18	15	0	1	2	4	2	40.00	20.00	1.70	0.97	1.18	0.01	395	340	377	-12	24.61	5	991	967	1.047
10	RCF2	No	<15 años	<15 años	496	12	17	15	1	1	3	5	3	41.67	20.00	1.88	1.33	1.50	0.01	749	695	785	-14	21.71	5	1.110	1.100	1.183
11	IVN2	No	<15 años	<15 años	339	10	15	13	1	1	3	5	3	50.00	10.00	1.54	1.03	1.19	0.01	288	275	275	-17	12.85	6	1.018	870	919
12	IVN3	Si	<15 años	<15 años	328	10	12	10	1	1	0	2	0	20.00	0.00	1.49	1.04	1.49	0.00	388	382	382	-12	16.87	-7	1.185	921	1.108
13	DSL	No	<15 años	<15 años	475	12	17	15	1	1	3	5	3	42.87	20.00	1.80	1.27	1.44	0.01	713	653	758	-8	10.84	-7	1.011	1.179	1.158
14	RIC	Si	<15 años	<15 años	348	10	12	12	0	0	1	2	2	20.00	10.00	1.58	1.12	1.12	0.01	382	382	384	-13	6.63	-8	1.011	954	1.017
15	VIC	Si	<15 años	<15 años	331	10	12	12	0	0	2	2	2	20.00	10.00	1.50	1.25	1.25	0.01	382	338	335	-13	6.61	-7	1.098	955	1.012
16	PAB	Si	<15 años	<15 años	324	10	12	12	0	0	2	2	2	20.00	10.00	1.47	1.13	1.13	0.01	389	377	377	-13	5.63	-8	1.098	954	1.008
17	ELI2	No	<15 años	<15 años	480	12	18	15	1	1	4	6	4	50.00	13.33	1.82	1.21	1.35	0.11	477	522	522	-14	5.63	-6	1.112	994	1.088
18	AHM	No	<15 años	<15 años	315	10	16	13	1	1	3	6	3	60.00	10.00	1.41	0.88	1.10	0.01	375	389	389	-6	3.94	-2	1.095	1.127	1.171
19	AHM2	No	<15 años	<15 años	330	10	15	13	1	1	3	5	3	50.00	10.00	1.50	1.00	1.15	0.01	405	405	427	-6	2.96	-3	1.103	1.127	1.164
20	FLC	Si	<15 años	<15 años	572	12	15	15	0	0	1	3	3	20.00	10.00	2.17	1.71	1.71	0.01	677	651	651	-8	4.18	-2	1.170	1.140	1.188

Seguidamente se presenta por partes la Figura A.1 desde la Tabla A.1 hasta la Tabla A.5 ambas inclusive.

Tabla A.1: Matriz de datos, parte (1)

CASOS	Implementación SUP	Experiencia Jefe de Obra (años)	Experiencia Encargado (años)	Superficie construida (m ²)
TRT	No	<15	<15	527
ALB	No	<15	≥15	248
CAT	No	<15	≥15	299
ELI	No	<15	≥15	452
TEC	No	≥15	≥15	487
IVN	No	≥15	≥15	347
BRI	No	<15	≥15	253
CON	No	≥15	≥15	314
SOR	Si	<15	<15	384
RCF2	No	<15	<15	496
IVN2	No	<15	≥15	339
IVN3	Si	<15	<15	328
DSL	No	<15	≥15	475
RIC	Si	≥15	≥15	348
VIC	Si	<15	≥15	331
PAB	Si	≥15	≥15	324
ELI2	No	<15	<15	480
AHM	No	≥15	≥15	315
AHM2	No	≥15	≥15	330
FLC	Si	≥15	≥15	572

Tabla A.2: Matriz de datos, parte (2)

CASOS	Plazo inicial previsto (meses)	Plazo real bruto (meses)	Plazo real neto (meses)	Interrupciones promotor (meses)	Interrupciones arquitectura (meses)	Interrupciones constructora (meses)
TRT	12	16	15	0	1	3
ALB	10	18	14	2	2	4
CAT	10	15	13	1	1	3
ELI	12	19	15	2	2	3
TEC	12	23	18	2	3	6
IVN	10	18	14	2	2	4
BRI	10	17	14	1	2	4
CON	10	14	12	1	1	2
SOR	10	18	11	6	1	1
RCF2	12	17	15	1	1	3
IVN2	10	15	13	1	1	3
IVN3	10	12	10	1	1	0
DSL	12	17	15	1	1	3
RIC	10	12	12	0	0	2
VIC	10	12	12	0	0	2
PAB	10	12	12	0	0	2
ELI2	12	18	16	1	1	4
AHM	10	16	13	1	2	3
AHM2	10	15	13	1	1	3
FLC	12	15	15	0	0	3

Tabla A.3: Matriz de datos, parte (3)

CASOS	Variación plazo bruta (meses)	Variación plazo neta (meses)	Desviación plazo bruto (%)	Desviación plazo neto (%)	Velocidad prevista (m2/día)	Velocidad bruta (m2/día)	Velocidad neta (m2/día)
TRT	4	3	33,33	25,00	2,00	1,50	1,60
ALB	8	4	80,00	40,00	1,13	0,63	0,81
CAT	5	3	50,00	30,00	1,36	0,91	1,05
ELI	7	3	58,33	25,00	1,71	1,08	1,37
TEC	11	6	91,67	50,00	1,84	0,96	1,23
IVN	8	4	80,00	40,00	1,58	0,88	1,13
BRI	7	4	70,00	40,00	1,15	0,68	0,82
CON	4	2	40,00	20,00	1,43	1,02	1,19
SOR	8	1	80,00	10,00	1,75	0,97	1,59
RCF2	5	3	41,67	25,00	1,88	1,33	1,50
IVN2	5	3	50,00	30,00	1,54	1,03	1,19
IVN3	2	0	20,00	0,00	1,49	1,24	1,49
DSL	5	3	41,67	25,00	1,80	1,27	1,44
RIC	2	2	20,00	20,00	1,58	1,32	1,32
VIC	2	2	20,00	20,00	1,50	1,25	1,25
PAB	2	2	20,00	20,00	1,47	1,23	1,23
ELI2	6	4	50,00	33,33	1,82	1,21	1,36
AHM	6	3	60,00	30,00	1,43	0,89	1,10
AHM2	5	3	50,00	30,00	1,50	1,00	1,15
FLC	3	3	25,00	25,00	2,17	1,73	1,73

Tabla A.4: Matriz de datos, parte (4)

CASOS	Presupuesto estudio (k€)	Presupuesto adjudicación (k€)	Presupuesto ejecución (k€)	Desviación coste estudio/adjudicación (%)	Desviación coste adjudicac/ejecución (%)
TRT	625	580	610	-7	5,17
ALB	325	285	356	-12	24,91
CAT	310	296	376	-5	27,03
ELI	550	543	575	-1	5,89
TEC	580	560	588	-3	5,00
IVN	325	330	425	2	28,79
BRI	388	310	430	-20	38,71
CON	385	345	395	-10	14,49
SOR	373	310	377	-17	21,61
RCF2	749	645	785	-14	21,71
IVN2	345	288	325	-17	12,85
IVN3	388	302	362	-22	19,87
DSL	713	655	726	-8	10,84
RIC	383	332	354	-13	6,63
VIC	362	316	335	-13	6,01
PAB	356	309	327	-13	5,83
ELI2	553	477	522	-14	9,43
AHM	378	355	369	-6	3,94
AHM2	430	405	417	-6	2,96
FLC	672	655	685	-3	4,58

Tabla A.5: Matriz de datos, parte (5)

CASOS	Coste unitario estudio (€/m²)	Coste unitario adjudicación (€/m²)	Coste unitario ejecución (€/m²)	Intensidad prevista (€/m²/día)	Intensidad bruta (€/m²/día)	Intensidad neta (€/m²/día)
TRT	1.186	1.101	1.157	4,17	3,29	3,51
ALB	1.310	1.149	1.435	5,22	3,62	4,66
CAT	1.037	990	1.258	4,50	3,81	4,40
ELI	1.217	1.201	1.272	4,55	3,04	3,85
TEC	1.191	1.150	1.207	4,36	2,39	3,05
IVN	937	951	1.225	4,32	3,09	3,98
BRI	1.534	1.225	1.700	5,57	4,54	5,52
CON	1.226	1.099	1.258	4,99	4,08	4,77
SOR	971	0807	982	3,67	2,48	4,06
RCF2	1.510	1.300	1.583	4,93	4,23	4,80
IVN2	1.018	850	959	3,86	2,91	3,35
IVN3	1.183	921	1.104	4,19	4,18	5,02
DSL	1.501	1.379	1.528	5,22	4,09	4,63
RIC	1.101	0954	1.017	4,34	3,85	3,85
VIC	1.094	0955	1.012	4,34	3,83	3,83
PAB	1.099	954	1.009	4,34	3,82	3,82
ELI2	1.152	994	1.088	3,76	2,75	3,09
AHM	1.200	1.127	1.171	5,12	3,33	4,10
AHM2	1.303	1.227	1.264	5,58	3,83	4,42
FLC	1.175	1.145	1.198	4,34	3,63	3,63

Anexo C. Resultados de la prueba “U de Mann-Whitney”

Tabla A.6: Resultado de la prueba “U de Mann-Whitney”: implementación del SUP

Variable	N	Mediana	Diferencia	Confianza	Valor p
Superficie construida (m^2)	6	339,50	9,50	0,96	0,77
	14	343,00			
Plazo inicial previsto (meses)	6	10,00	0,00	0,96	0,39
	14	10,00			
Plazo real bruto (meses)	6	12,00	-4,00	0,96	0,02
	14	17,00			
Plazo real neto (meses)	6	12,00	-2,00	0,96	0,01
	14	14,00			
Interrupciones promotor (meses)	6	0,00	-1,00	0,96	0,10
	14	1,00			
Interrupciones arquitectura (meses)	6	0,00	-1,00	0,96	0,01
	14	1,00			
Interrupciones constructora (meses)	6	2,00	-1,00	0,96	0,00
	14	3,00			
Variación plazo bruta (meses)	6	2,00	-3,00	0,96	0,02
	14	5,50			
Variación plazo neta (meses)	6	2,00	-1,00	0,96	0,00
	14	3,00			
Desviación de plazo bruta (%)	6	20,00	-27,50	0,96	0,02
	14	50,00			
Desviación de plazo neta (%)	6	20,00	-13,33	0,96	0,00
	14	30,00			
Velocidad prevista ($m^2/día$)	6	1,54	0,04	0,96	0,77
	14	1,56			
Velocidad bruta ($m^2/día$)	6	1,25	0,25	0,96	0,06
	14	1,01			
Velocidad neta ($m^2/día$)	6	1,41	0,19	0,96	0,10
	14	1,21			
Presupuesto estudio (k€)	6	378,00	-19,00	0,96	0,62
	14	409,00			
Presupuesto adjudicación (k€)	6	313,00	-32,00	0,96	0,43
	14	380,00			
Presupuesto ejecutado (k€)	6	358,00	-63,00	0,96	0,09
	14	427,50			
Desviación coste estudio/adjudicación (%)	6	-13,26	-5,58	0,96	0,17
	14	-7,67			
Desviación coste adjudicación/ejecución (%)	6	6,32	-3,36	0,96	0,54
	14	11,85			
Coste unitario estudio ($€/m^2$)	6	1.099,67	-111,29	0,96	0,53
	14	1.208,41			
Coste unitario adjudicación ($€/m^2$)	6	953,86	-181,26	0,96	0,23
	14	1.138,09			
Coste unitario ejecución ($€/m^2$)	6	1.014,66	-220,57	0,96	0,09
	14	1.257,74			
Intensidad prevista ($€/m^2/día$)	6	4,34	-0,62	0,96	0,06
	14	4,74			
Intensidad bruta ($€/m^2/día$)	6	3,83	0,10	0,96	0,56
	14	3,49			
Intensidad neta ($€/m^2/día$)	6	3,84	-0,24	0,96	0,41
	14	4,25			

Nota: N=6: proyectos con implementación SUP. N=14: proyectos sin implementación SUP.

Tabla A.7: Resultado de la prueba “U de Mann-Whitney”: experiencia del equipo de obra

Variable	N	Mediana	Diferencia	Confianza	Valor p
Superficie construida (m^2)	8	338,50	-2,50	0,95	0,97
	12	361,50			
Plazo inicial previsto (meses)	8	10,00	0,00	0,95	0,56
	12	10,00			
Plazo real bruto (meses)	8	15,00	-1,00	0,95	0,46
	12	17,00			
Plazo real neto (meses)	8	13,00	0,00	0,95	0,94
	12	14,00			
Interrupciones promotor (meses)	8	1,00	0,00	0,95	0,54
	12	1,00			
Interrupciones arquitectura (meses)	8	1,00	0,00	0,95	0,82
	12	1,00			
Interrupciones constructora (meses)	8	3,00	0,00	0,95	0,76
	12	3,00			
Variación plazo bruta (meses)	8	4,50	0,00	0,95	0,79
	12	5,00			
Variación plazo neta (meses)	8	3,00	0,00	0,95	0,76
	12	3,00			
Desviación de plazo bruta (%)	8	45,00	0,00	0,95	0,97
	12	45,84			
Desviación de plazo neta (%)	8	27,50	5,00	0,95	0,54
	12	25,00			
Velocidad prevista ($m^2/día$)	8	1,54	-0,01	0,95	1,00
	12	1,63			
Velocidad bruta ($m^2/día$)	8	1,01	-0,02	0,95	0,79
	12	1,20			
Velocidad neta ($m^2/día$)	8	1,21	-0,16	0,95	0,30
	12	1,39			
Presupuesto estudio (k€)	8	384,00	-4,00	0,95	0,88
	12	388,00			
Presupuesto adjudicación (k€)	8	350,00	23,00	0,95	0,40
	12	313,00			
Presupuesto ejecutado (k€)	8	406,00	-8,00	0,95	0,79
	12	403,50			
Desviación coste estudio/adjudicación (%)	8	-5,95	6,37	0,95	0,05
	12	-13,23			
Desviación coste adjudicación/ejecución (%)	8	5,42	-6,96	0,95	0,04
	12	16,36			
Coste unitario estudio ($€/m^2$)	8	1.182,90	-30,29	0,95	0,73
	12	1.184,45			
Coste unitario adjudicación ($€/m^2$)	8	1.112,86	-0,82	0,95	0,97
	12	1.047,16			
Coste unitario ejecución ($€/m^2$)	8	1.202,47	-48,74	0,95	0,73
	12	1.207,51			
Intensidad prevista ($€/m^2/día$)	8	4,35	0,16	0,95	0,49
	12	4,42			
Intensidad bruta ($€/m^2/día$)	8	3,73	-0,10	0,95	0,76
	12	3,72			
Intensidad neta ($€/m^2/día$)	8	3,92	-0,25	0,95	0,32
	12	4,23			

Nota: N=8: proyectos con equipo de obra con más de 15 años de experiencia. N=12: proyectos en los que no.

Anexo D. Matriz de correlaciones

Gráfico A.1: Vista completa de la matriz de correlaciones

Exp. JO	SUP 0.134 0.574	Exp. JO Rho de Spearman Valor p																															
Exp. ENC	-0.126 0.597	0.471 0.036	Exp. ENC																														
SUPERF. C	-0.076 0.751	0.018 0.941	0.411 0.072	CONST(m																													
PLAZO INI	0.252 0.285	0.171 0.471	0.303 0.195	0.827 0	INICIAL PR																												
PLAZO RE	0.545 0.013	0.179 0.45	0.132 0.58	0.291 0.213	0.487 0.029	EAL EJEC.																											
PLAZO NE	0.519 0.019	0.027 0.91	0.041 0.865	0.553 0.012	0.84 0	0.688 0	AZO NETO																										
INT. PROP	0.42 0.065	0.163 0.493	0.043 0.856	-0.115 0.63	-0.02 0.934	0.767 0	0.132 0	PROPIEDAD																									
INT. ARQU	0.696 0.001	0.067 0.779	-0.108 0.649	-0.184 0.438	0.079 0.741	0.753 0	0.38 0	0.777 0	TECTUR																								
INT. CONS	0.621 0.003	-0.083 0.728	-0.177 0.454	0.107 0.655	0.407 0.075	0.72 0	0.831 0	0.327 0.159	0.628 0.003	TRUCTOR																							
VARIA ME	0.564 0.01	0.072 0.764	-0.01 0.966	0.002 0.995	0.175 0.462	0.934 0	0.487 0.029	0.852 0	0.844 0	0.7 0	SES BRUT																						
VARIA ME	0.621 0.003	-0.083 0.728	-0.177 0.454	0.107 0.655	0.407 0.075	0.72 0	0.831 0	0.327 0.159	0.628 0.003	1 0	0.7 0	SES NETA																					
% DESV. P	0.572 0.008	0.018 0.941	-0.071 0.767	-0.098 0.682	0.064 0.788	0.874 0	0.409 0.074	0.844 0	0.853 0	0.677 0	0.989 0	0.677 0	PLAZO BR																				
% DESV. P	0.634 0.003	-0.153 0.52	-0.264 0.26	-0.058 0.808	0.231 0.328	0.654 0.002	0.712 0	0.35 0.13	0.66 0.002	0.974 0	0.709 0	0.974 0	0.716 0	PLAZO NE																			
VELOCID F	-0.076 0.751	0.009 0.57	0.431 0.058	0.997 0	0.81 0	0.299 0.2	0.537 0.015	-0.093 0.697	-0.185 0.435	0.102 0.069	0.019 0.669	-0.078 0.743	-0.06 0.802	PREVISTA																			
VELOCID E	-0.435 0.055	0.071 0.767	0.35 0.13	0.666 0.001	0.5 0.025	-0.434 0.056	0.079 0.739	-0.689 0.001	-0.736 0	-0.414 0.07	-0.704 0.001	-0.414 0.07	-0.778 0	-0.551 0.012	0.65 0	EJECUCIO																	
VELOCID P	-0.388 0.091	0.248 0.292	0.591 0.006	0.797 0	0.564 0.01	-0.08 0.737	0.071 0.765	-0.245 0.298	-0.428 0.044	-0.347 0.06	-0.428 0.134	-0.434 0.06	-0.581 0.056	0.8 0.007	0.8 0	0.813 0	YCID NETA																
PEC Estudi	0.123 0.605	0.044 0.853	0.361 0.118	0.714 0	0.828 0	0.244 0.3	0.623 0.003	-0.165 0.488	-0.031 0.886	0.212 0.369	-0.007 0.977	0.212 0.369	-0.089 0.709	0.067 0.778	0.706 0.001	0.578 0.008	0.586 0.007	EC Estudio															
PEC Adjust	0.189 0.424	-0.204 0.389	0.14 0.555	0.775 0	0.828 0	0.315 0.176	0.714 0	-0.159 0.504	-0.022 0.928	0.324 0.164	0.082 0.732	0.324 0.164	0.009 0.968	0.199 0.4	0.765 0	0.517 0.02	0.479 0.033	0.876 0	Idjudicaci3n														
PEC Ejecut	0.387 0.083	0.071 0.767	0.27 0.249	0.654 0.002	0.827 0	0.588 0.006	0.816 0	0.149 0.531	0.259 0.271	0.537 0.015	0.386 0.063	0.537 0.015	0.31 0.183	0.41 0.073	0.66 0.002	0.25 0.289	0.367 0.111	0.819 0	0.842 0	Ejecutado													
% DESV. C	0.322 0.167	-0.46 0.941	-0.491 0.028	0.208 0.38	0.3 0.199	0.32 0.169	0.49 0.028	0.127 0.594	0.264 0.261	0.468 0.037	0.292 0.212	0.468 0.037	0.3 0.199	0.485 0.03	0.196 0.468	-0.129 0.567	-0.186 0.433	0.049 0.838	0.422 0.064	0.352 0.128	COST est												
% DESV. C	0.151 0.524	0.478 0.033	0.15 0.527	-0.379 0.099	-0.318 0.172	0.16 0.499	-0.187 0.43	0.389 0.09	0.224 0.343	0.053 0.823	0.248 0.282	0.056 0.823	-0.367 0.291	-0.377 0.816	-0.248 0.123	-0.384 0.101	-0.506 0.291	-0.08 0.095	-0.389 0.023	COST adj													
% DESV. C	0.568 0.009	0.124 0.603	-0.17 0.473	-0.12 0.613	0.136 0.567	0.604 0.005	0.427 0.061	0.543 0.013	0.594 0.006	0.584 0.007	0.655 0.002	0.584 0.007	0.654 0.002	-0.108 0.651	-0.49 0.028	-0.331 0.154	-0.019 0.937	0.084 0.726	0.492 0.028	COST est													
cost unit es	0.454 0.044	0.088 0.711	-0.05 0.834	-0.078 0.743	0.318 0.172	0.248 0.282	0.427 0.06	0.068 0.775	0.349 0.131	0.376 0.102	0.205 0.386	0.376 0.102	0.187 0.43	0.34 0.142	-0.091 0.703	-0.036 0.88	-0.15 0.527	0.57 0.009	0.392 0.087	0.484 0.031	-0.03 0.9	-0.05 0.835	-0.05 0.188	0.307 0.188	0.1 unit estudi								
cost unit ad	0.53 0.016	0.018 0.941	-0.19 0.422	0.162 0.494	0.536 0.015	0.403 0.078	0.697 0.001	0.091 0.798	0.33 0.155	0.588 0.006	0.543 0.177	0.145 0.219	0.014 0.013	-0.119 0.541	0.638 0.955	0.616 0.618	0.678 0.002	0.314 0.004	-0.202 0.001	0.414 0.177	-0.05 0.394	-0.05 0.07	0.307 0.188	0.1 unit estudi									
cost unit eje	0.606 0.005	0.088 0.711	-0.21 0.374	-0.129 0.567	0.264 0.261	0.44 0.052	0.524 0.018	0.303 0.194	0.499 0.025	0.591 0.006	0.439 0.053	0.591 0.006	0.429 0.059	0.578 0.008	-0.133 0.575	-0.268 0.254	-0.337 0.146	0.343 0.139	0.316 0.175	0.591 0.006	0.289 0.217	0.277 0.238	0.755 0	0.8 0	0.835 0	cost unit eje							
intensidad pr	0.437 0.054	-0.169 0.477	-0.533 0.016	-0.421 0.065	-0.064 0.789	0.108 0.649	0.222 0.347	0.093 0.696	0.333 0.151	0.376 0.102	0.219 0.353	0.376 0.102	0.265 0.26	0.447 0.048	-0.433 0.056	-0.335 0.149	-0.56 0.01	0.136 0.566	0.147 0.537	0.197 0.405	0.248 0.292	-0.026 0.914	0.418 0.066	0.793 0	0.787 0	0.809 0	intensidad previs						
intensidad t	-0.142 0.55	0.08 0.738	-0.09 0.705	-0.336 0.147	-0.246 0.297	-0.567 0.009	-0.285 0.223	-0.443 0.051	-0.351 0.129	-0.278 0.235	-0.524 0.018	-0.278 0.235	-0.5 0.025	-0.26 0.268	-0.34 0.142	0.258 0.272	-0.076 0.75	0.141 0.554	-0.068 0.777	-0.05 0.835	-0.415 0.069	0.275 0.241	-0.018 0.94	0.469 0.037	0.264 0.261	0.378 0.1	0.481 0.032	intensidad bruta					
intensidad r	0.199 0.401	0.239 0.31	0.01 0.967	-0.572 0.008	-0.418 0.066	-0.097 0.684	-0.336 0.148	0.252 0.284	0.219 0.354	-0.135 0.571	0.063 0.792	-0.135 0.571	0.109 0.646	-0.061 0.799	-0.555 0.011	-0.317 0.174	-0.298 0.202	-0.105 0.658	-0.303 0.194	-0.043 0.858	-0.369 0.11	0.588 0.006	0.401 0.08	0.496 0.026	0.221 0.349	0.559 0.01	0.546 0.013	0.69 0.001					

Seguidamente se presenta en siete partes el Gráfico A.1 desde la Tabla A.8 hasta la Tabla A.14 ambas inclusive.

Tabla A.8: Matriz de correlaciones, parte (1)

Variable		Implement. del SUP	Experiencia Jefe de Obra	Experiencia Encargado	Superficie construida
Experiencia Jefe de Obra	(Rho)	0,134			
	Valor p	0,574			
Experiencia Encargado	(Rho)	-0,126	0,471		
	Valor p	0,597	0,036		
Superficie construida	(Rho)	-0,076	0,018	0,411	
	Valor p	0,751	0,941	0,072	
Plazo inicial previsto	(Rho)	0,252	0,171	0,303	0,827
	Valor p	0,285	0,471	0,195	0,000
Plazo real bruto	(Rho)	0,545	0,179	0,132	0,291
	Valor p	0,013	0,450	0,580	0,213
Plazo real neto	(Rho)	0,519	0,027	0,041	0,553
	Valor p	0,019	0,910	0,865	0,012
Interrupciones promotor	(Rho)	0,420	0,163	0,043	-0,115
	Valor p	0,065	0,493	0,856	0,630
Interrupciones arquitectura	(Rho)	0,696	0,067	-0,108	-0,184
	Valor p	0,001	0,779	0,649	0,438
Interrupciones constructora	(Rho)	0,621	-0,083	-0,177	0,107
	Valor p	0,003	0,728	0,454	0,655
Variación plazo bruta	(Rho)	0,564	0,072	-0,010	0,002
	Valor p	0,010	0,764	0,966	0,995
Variación plazo neta	(Rho)	0,621	-0,083	-0,177	0,107
	Valor p	0,003	0,728	0,454	0,655
Desviación de plazo bruta	(Rho)	0,572	0,018	-0,071	-0,098
	Valor p	0,008	0,941	0,767	0,682
Desviación de plazo neta	(Rho)	0,634	-0,153	-0,264	-0,058
	Valor p	0,003	0,520	0,260	0,808
Velocidad prevista	(Rho)	-0,076	0,009	0,431	0,997
	Valor p	0,751	0,970	0,058	0,000
Velocidad bruta	(Rho)	-0,435	0,071	0,350	0,666
	Valor p	0,055	0,767	0,130	0,001
Velocidad neta	(Rho)	-0,388	0,248	0,591	0,797
	Valor p	0,091	0,292	0,006	0,000
Presupuesto estudio	(Rho)	0,123	0,044	0,361	0,714
	Valor p	0,605	0,853	0,118	0,000
Presupuesto adjudicación	(Rho)	0,189	-0,204	0,140	0,775
	Valor p	0,424	0,389	0,555	0,000
Presupuesto ejecutado	(Rho)	0,397	0,071	0,270	0,654
	Valor p	0,083	0,767	0,249	0,002
Desviación coste estud./adjudic.	(Rho)	0,322	-0,460	-0,491	0,208
	Valor p	0,167	0,041	0,028	0,380
Desviación coste adjudic./ejec.	(Rho)	0,151	0,478	0,150	-0,379
	Valor p	0,524	0,033	0,527	0,099
Coste unitario estudio	(Rho)	0,454	0,088	-0,050	-0,078
	Valor p	0,044	0,711	0,834	0,743
Coste unitario adjudicación	(Rho)	0,530	0,018	-0,190	0,162
	Valor p	0,016	0,941	0,422	0,494
Coste unitario ejecución	(Rho)	0,606	0,088	-0,210	-0,129
	Valor p	0,005	0,711	0,374	0,587
Intensidad prevista	(Rho)	0,437	-0,169	-0,533	-0,421
	Valor p	0,054	0,477	0,016	0,065
Intensidad bruta	(Rho)	-0,142	0,080	-0,090	-0,336
	Valor p	0,550	0,738	0,705	0,147
Intensidad neta	(Rho)	0,199	0,239	0,010	-0,572
	Valor p	0,401	0,310	0,967	0,008

Tabla A.9: Matriz de correlaciones, parte (2)

Variable		Plazo inicial previsto	Plazo real bruto	Plazo real neto	Interrupciones promotor
Plazo real bruto	(Rho)	0,487			
	Valor p	0,029			
Plazo real neto	(Rho)	0,840	0,688		
	Valor p	0,000	0,001		
Interrupciones promotor	(Rho)	-0,020	0,767	0,132	
	Valor p	0,934	0,000	0,579	
Interrupciones arquitectura	(Rho)	0,079	0,753	0,380	0,777
	Valor p	0,741	0,000	0,098	0,000
Interrupciones constructora	(Rho)	0,407	0,720	0,831	0,327
	Valor p	0,075	0,000	0,000	0,159
Variación plazo bruta	(Rho)	0,175	0,934	0,487	0,852
	Valor p	0,462	0,000	0,029	0,000
Variación plazo neta	(Rho)	0,407	0,720	0,831	0,327
	Valor p	0,075	0,000	0,000	0,159
Desviación de plazo bruta	(Rho)	0,064	0,874	0,409	0,844
	Valor p	0,788	0,000	0,074	0,000
Desviación de plazo neta	(Rho)	0,231	0,654	0,712	0,350
	Valor p	0,328	0,002	0,000	0,130
Velocidad prevista	(Rho)	0,810	0,299	0,537	-0,093
	Valor p	0,000	0,200	0,015	0,697
Velocidad bruta	(Rho)	0,500	-0,434	0,079	-0,689
	Valor p	0,025	0,056	0,739	0,001
Velocidad neta	(Rho)	0,564	-0,080	0,071	-0,245
	Valor p	0,010	0,737	0,765	0,298
Presupuesto estudio	(Rho)	0,828	0,244	0,623	-0,165
	Valor p	0,000	0,300	0,003	0,488
Presupuesto adjudicación	(Rho)	0,828	0,315	0,714	-0,159
	Valor p	0,000	0,176	0,000	0,504
Presupuesto ejecutado	(Rho)	0,827	0,588	0,816	0,149
	Valor p	0,000	0,006	0,000	0,531
Desviación coste estud./adjudic.	(Rho)	0,300	0,320	0,490	0,127
	Valor p	0,199	0,169	0,028	0,594
Desviación coste adjudic./ejec.	(Rho)	-0,318	0,160	-0,187	0,389
	Valor p	0,172	0,499	0,430	0,090
Coste unitario estudio	(Rho)	0,318	0,248	0,427	0,068
	Valor p	0,172	0,292	0,060	0,775
Coste unitario adjudicación	(Rho)	0,536	0,403	0,697	0,061
	Valor p	0,015	0,078	0,001	0,798
Coste unitario ejecución	(Rho)	0,264	0,440	0,524	0,303
	Valor p	0,261	0,052	0,018	0,194
Intensidad prevista	(Rho)	-0,064	0,108	0,222	0,093
	Valor p	0,789	0,649	0,347	0,696
Intensidad bruta	(Rho)	-0,246	-0,567	-0,285	-0,443
	Valor p	0,297	0,009	0,223	0,051
Intensidad neta	(Rho)	-0,418	-0,097	-0,336	0,252
	Valor p	0,066	0,684	0,148	0,284

Tabla A.10: Matriz de correlaciones, parte (3)

Variable		Interrupciones arquitectura	Interrupciones constructora	Variación plazo bruta	Variación plazo neta
Interrupciones constructora	(Rho)	0,628			
	Valor p	0,003			
Variación plazo bruta	(Rho)	0,844	0,700		
	Valor p	0,000	0,001		
Variación plazo neta	(Rho)	0,628	1,000	0,700	
	Valor p	0,003	0,000	0,001	
Desviación de plazo bruta	(Rho)	0,853	0,677	0,989	0,677
	Valor p	0,000	0,001	0,000	0,001
Desviación de plazo neta	(Rho)	0,660	0,974	0,709	0,974
	Valor p	0,002	0,000	0,000	0,000
Velocidad prevista	(Rho)	-0,185	0,102	0,019	0,102
	Valor p	0,435	0,669	0,938	0,669
Velocidad bruta	(Rho)	-0,736	-0,414	-0,704	-0,414
	Valor p	0,000	0,070	0,001	0,070
Velocidad neta	(Rho)	-0,456	-0,428	-0,347	-0,428
	Valor p	0,044	0,060	0,134	0,060
Presupuesto estudio	(Rho)	-0,031	0,212	-0,007	0,212
	Valor p	0,896	0,369	0,977	0,369
Presupuesto adjudicación	(Rho)	-0,022	0,324	0,082	0,324
	Valor p	0,928	0,164	0,732	0,164
Presupuesto ejecutado	(Rho)	0,259	0,537	0,386	0,537
	Valor p	0,271	0,015	0,093	0,015
Desviación coste estud./adjudic.	(Rho)	0,264	0,468	0,292	0,468
	Valor p	0,261	0,037	0,212	0,037
Desviación coste adjudic./ejec.	(Rho)	0,224	0,053	0,253	0,053
	Valor p	0,343	0,823	0,282	0,823
Coste unitario estudio	(Rho)	0,349	0,376	0,205	0,376
	Valor p	0,131	0,102	0,386	0,102
Coste unitario adjudicación	(Rho)	0,330	0,588	0,315	0,588
	Valor p	0,155	0,006	0,177	0,006
Coste unitario ejecución	(Rho)	0,499	0,591	0,439	0,591
	Valor p	0,025	0,006	0,053	0,006
Intensidad prevista	(Rho)	0,333	0,376	0,219	0,376
	Valor p	0,151	0,102	0,353	0,102
Intensidad bruta	(Rho)	-0,351	-0,278	-0,524	-0,278
	Valor p	0,129	0,235	0,018	0,235
Intensidad neta	(Rho)	0,219	-0,135	0,063	-0,135
	Valor p	0,354	0,571	0,792	0,571

Tabla A.11: Matriz de correlaciones, parte (4)

Variable		Desviación plazo bruto	Desviación plazo neto	Velocidad prevista	Velocidad bruta
Desviación de plazo neta	(Rho)	0,718			
	Valor p	0,000			
Velocidad prevista	(Rho)	-0,078	-0,060		
	Valor p	0,743	0,802		
Velocidad bruta	(Rho)	-0,778	-0,551	0,650	
	Valor p	0,000	0,012	0,002	
Velocidad neta	(Rho)	-0,434	-0,581	0,800	0,813
	Valor p	0,056	0,007	0,000	0,000
Presupuesto estudio	(Rho)	-0,089	0,067	0,706	0,578
	Valor p	0,709	0,778	0,001	0,008
Presupuesto adjudicación	(Rho)	0,009	0,199	0,765	0,517
	Valor p	0,968	0,400	0,000	0,020
Presupuesto ejecutado	(Rho)	0,310	0,410	0,660	0,250
	Valor p	0,183	0,073	0,002	0,289
Desviación coste estud./adjudic.	(Rho)	0,300	0,485	0,196	-0,129
	Valor p	0,199	0,030	0,408	0,587
Desviación coste adjudic./ejec.	(Rho)	0,248	0,056	-0,357	-0,377
	Valor p	0,291	0,816	0,123	0,101
Coste unitario estudio	(Rho)	0,187	0,340	-0,091	-0,036
	Valor p	0,430	0,142	0,703	0,880
Coste unitario adjudicación	(Rho)	0,288	0,543	0,145	0,014
	Valor p	0,219	0,013	0,541	0,955
Coste unitario ejecución	(Rho)	0,429	0,578	-0,133	-0,268
	Valor p	0,059	0,008	0,575	0,254
Intensidad prevista	(Rho)	0,265	0,447	-0,433	-0,335
	Valor p	0,260	0,048	0,056	0,149
Intensidad bruta	(Rho)	-0,500	-0,260	-0,340	0,258
	Valor p	0,025	0,268	0,142	0,272
Intensidad neta	(Rho)	0,109	-0,061	-0,555	-0,317
	Valor p	0,646	0,799	0,011	0,174

Tabla A.12: Matriz de correlaciones, parte (5)

Variable		Velocidad neta	Presupuesto estudio	Presupuesto adjudicación	Presupuesto ejecución
Presupuesto estudio	(Rho)	0,586			
	Valor p	0,007			
Presupuesto adjudicación	(Rho)	0,479	0,876		
	Valor p	0,033	0,000		
Presupuesto ejecutado	(Rho)	0,367	0,819	0,842	
	Valor p	0,111	0,000	0,000	
Desviación coste estud./adjudic.	(Rho)	-0,186	0,049	0,422	0,352
	Valor p	0,433	0,838	0,064	0,128
Desviación coste adjudic./ejec.	(Rho)	-0,248	-0,384	-0,506	-0,080
	Valor p	0,291	0,095	0,023	0,738
Coste unitario estudio	(Rho)	-0,150	0,570	0,392	0,484
	Valor p	0,527	0,009	0,087	0,031
Coste unitario adjudicación	(Rho)	-0,119	0,638	0,616	0,678
	Valor p	0,618	0,002	0,004	0,001
Coste unitario ejecución	(Rho)	-0,337	0,343	0,316	0,591
	Valor p	0,146	0,139	0,175	0,006
Intensidad prevista	(Rho)	-0,560	0,136	0,147	0,197
	Valor p	0,010	0,566	0,537	0,405
Intensidad bruta	(Rho)	-0,076	0,141	-0,068	-0,050
	Valor p	0,750	0,554	0,777	0,835
Intensidad neta	(Rho)	-0,298	-0,105	-0,303	-0,043
	Valor p	0,202	0,658	0,194	0,858

Tabla A.13: Matriz de correlaciones, parte (6)

Variable		Desviación coste estudio/adjudicación	Desviación coste adjudicac/ejecución	Coste unitario estudio
Desviación coste adjudic/ejec.	(Rho)	-0,389		
	Valor p	0,090		
Coste unitario estudio	(Rho)	-0,030	-0,050	
	Valor p	0,900	0,835	
Coste unitario adjudicación	(Rho)	0,314	-0,202	0,877
	Valor p	0,177	0,394	0,000
Coste unitario ejecución	(Rho)	0,289	0,277	0,800
	Valor p	0,217	0,238	0,000
Intensidad prevista	(Rho)	0,248	-0,026	0,793
	Valor p	0,292	0,914	0,000
Intensidad bruta	(Rho)	-0,415	0,275	0,469
	Valor p	0,069	0,241	0,037
Intensidad neta	(Rho)	-0,369	0,588	0,496
	Valor p	0,110	0,006	0,026

Tabla A.14: Matriz de correlaciones, parte (7)

Variable		Coste unitario adjudicación	Coste unitario ejecución	Intensidad prevista	Intensidad bruta
Coste unitario ejecución	(Rho)	0,835			
	Valor p	0,000			
Intensidad prevista	(Rho)	0,787	0,809		
	Valor p	0,000	0,000		
Intensidad bruta	(Rho)	0,264	0,378	0,481	
	Valor p	0,261	0,100	0,032	
intensidad neta	(Rho)	0,221	0,559	0,546	0,690
	Valor p	0,349	0,010	0,013	0,001

Anexo E. Protocolo del estudio de casos múltiple

Una vez que se haya asegurado el compromiso formal de colaboración con los jefes de obra, el primer objetivo será lograr una participación real y clara en la investigación. Para esto, se llevará a cabo una reunión individual con cada jefe de obra, donde se explicarán en detalle los objetivos, las preguntas que se deben responder y el apoyo que se espera del jefe de obra durante la construcción. Las preguntas se basarán en el cuestionario que se envió previamente por correo electrónico.

Para facilitar la “observación directa” y hacer que el entrevistado se sienta comfortable, las entrevistas se realizarán en su lugar de trabajo, en la obra. Será importante tranquilizar al jefe de obra desde el inicio, informándole que no se grabarán las entrevistas de ninguna manera.

Se pedirá al jefe de obra que, dentro del contexto de la investigación, autorice al investigador a examinar documentos de obra como presupuestos, programas de trabajo, procedimientos, pedidos, contratos y registros de seguimiento de las obras, entre otros.

Desde la perspectiva de los objetivos de esta investigación, será esencial que las entrevistas se lleven a cabo lo más cerca posible de los momentos establecidos; se pretende que el investigador aproveche al máximo la información no estructurada. Las entrevistas se realizarán antes de que empiecen las obras y justo al finalizarlas, aunque las fechas exactas se decidirán según la disponibilidad de los entrevistados.

Una vez que los jefes de obra confirmen las citas, será fundamental contactar personalmente con los entrevistados antes de la reunión para tener un primer acercamiento y, en primer lugar, agradecer su tiempo y disposición. El objetivo aquí será ganarse y construir la confianza del entrevistado.

Durante las reuniones con los entrevistados, será crucial adoptar una actitud positiva, buscando que el entrevistado se sienta cómodo, siempre manteniendo una postura respetuosa y agradecida, y mostrando curiosidad por el asunto. Se emplearán las preguntas del cuestionario (Anexo A) como herramienta para abrir un diálogo sobre los diversos temas a discutir, registrando lo conversado de manera clara, sin interrumpir la fluidez de la entrevista.

Teniendo en cuenta las pautas anteriores, el primer paso en el día de la entrevista, será explicar de nuevo al entrevistado el objeto y las características de la investigación.

De forma previa al comienzo de la entrevista, será muy importante dejar claro al entrevistado que la confidencialidad de lo tratado y de los documentos analizados será total, tanto de cara al exterior de la obra como incluso internamente. Como evidencia de su acuerdo se le solicitará la firma y cumplimentación del siguiente formulario:

Formulario de Conformidad del Entrevistado

Título de la investigación:

“Factores de éxito en la implementación del Sistema del Último Planificador en obras de viviendas unifamiliares”

Investigador:
José Casas Rico (Doctorando)
Universidad Politécnica de Valencia

Ud. ha sido identificado como un jefe de obra entrevistable para esta investigación.

Con este formulario de solicitud de participación, se agendarán dos encuentros de 90 minutos, uno antes del arranque de las obras y otro al finalizar las mismas.

Al firmar este documento, usted consiente ser entrevistado en los momentos establecidos. Su identidad se mantendrá privada y confidencial y no se revelará en ningún análisis de la investigación.

El investigador elaborará reportes basados con el análisis de los datos recopilados, que se podrán difundir en diversos medios y formatos como resultado del estudio. La información recopilada se desechará después de los cinco años de la entrega del estudio.

Ud. tendrá la facultad de no responder a alguna de las preguntas y de desistir de su participación en esta investigación cuando lo desee, sin tener que dar motivo alguno. En dicho caso, el investigador procederá a eliminar toda la información recopilada hasta ese momento.

Firma del Participante
Nombre y Apellidos:
Fecha:

MUCHAS GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN Y CONTRIBUCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

La entrevista comenzará después de realizar la introducción al fenómeno investigado tal como se ha expuesto.

La entrevista tiene un formato flexible que combina preguntas planificadas con libertad para dialogar, permitiendo indagar en profundidad sobre el contexto investigado. El cuestionario (Anexo A) sirve de guía y el orden de las preguntas iniciarán y sostendrán una conversación rica y diversa sobre el fenómeno de estudio y su entorno. Por tanto, la entrevista tendrá un carácter semiestructurado.

Durante las entrevistas se tomarán todas las notas que sean necesarias, no obstante, inmediatamente después de cada una de las contestaciones se transcribirán los datos a la hoja de cálculo de la base de datos creada a tal efecto.

Durante las entrevistas puede que surjan aspectos o enfoques no tratados anteriormente. Mientras se realice el registro de la información, se efectuará una exploración previa en la que se explorarán los nuevos enfoques obtenidos y los temas que surjan durante las entrevistas, y se revisarán con todos los participantes, tanto los futuros como los pasados.

Por tanto, estos nuevos aspectos se plantearán tanto a los entrevistados futuros como a aquellos cuyas entrevistas ya hayan tenido lugar.

Será necesario pedirle permiso para volver a contactar con el entrevistado en caso necesario.

Tras la recopilación y el registro de la información de campo, tal como se ha presentado en este anexo, según se detalla en el capítulo tercero, se iniciará el proceso de análisis de los datos.

Anexo F. Medición del nivel de implementación del Sistema del Último Planificador mediante el cuestionario de Lagos et al. (2017)

1. Estandarización del proceso de planificación y control

- 1.1. Existencia de un procedimiento que estandarice el proceso de planificación y control.
- 1.2. Existencia de herramientas estandarizadas para generar, recopilar y comunicar información de planificación y control.
- 1.3. Existencia de compromiso y participación del gerente del proyecto y de la mediana gerencia en la ejecución del procedimiento del SUP
- 1.4. El procedimiento de planificación y control incluye la gestión semanal de compromisos para la ejecución de tareas y la mejora continua.
- 1.5. Existencia de registro sistemático de problemas para la gestión del conocimiento.
- 1.6. Existencia de registro sistemático de propuestas y acciones de mejora continua.

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
1.1	2	2	2	2	2	2	2,00
1.2	2	2	2	2	2	2	2,00
1.3	2	2	2	2	2	2	2,00
1.4	2	2	2	2	2	2	2,00
1.5	0	0	0	0	0	0	0,00
1.6	0	0	0	0	0	0	0,00
	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33

2. Estandarización de reuniones de planificación a corto plazo

- 2.1. Existencia de una reunión semanal de planificación y control realizada sistemáticamente.
- 2.2. Los participantes de la reunión semanal de planificación y control se definen en el procedimiento, se les notifica con anticipación y participan regularmente.
- 2.3. La agenda de la reunión está estandarizada, definida en el procedimiento e incluye al menos las siguientes secciones:
 - Evaluación del progreso general e indicadores de cumplimiento del cronograma.
 - Cumplimiento de compromisos semanales, evaluación de PPC y RNC.
 - Planificación y compromiso de la implementación de acciones correctivas.
 - Análisis de la planificación intermedia y la gestión de restricciones.
 - Generación de compromisos de ejecución de tareas para la semana siguiente.
- 2.4. Los indicadores del SUP se utilizan para evaluar el logro y las necesidades de mejora.
- 2.5. Los sistemas de gestión y soporte visual se utilizan para facilitar el proceso de planificación y control.
- 2.6. La reunión de planificación y control aborda todos los temas con la profundidad necesaria, en menos de 2 horas.

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
2.1	1	2	2	1	2	0	1,33
2.2	1	2	2	1	2	0	1,33
2.3	1	1	0	0	0	0	0,33
2.4	2	2	2	2	2	2	2,00
2.5	1	1	1	0	0	0	0,50
2.6	1	1	0	0	0	0	0,33
	1,17	1,50	1,17	0,67	1,00	0,33	0,97

3. Participación de los últimos planificadores en la reunión semanal de planificación y control

- 3.1. Todo el personal convocado a la reunión asiste preparado e informado.
- 3.2. La información que necesitan los participantes de la reunión de planificación y control se entrega por adelantado.

- 3.3. Todos los últimos planificadores a cargo de la eliminación de restricciones, como los agentes de compras y los gerentes de suministros, participan activamente en la reunión.
- 3.4. Todos los últimos planificadores a cargo de la identificación de restricciones y la ejecución del compromiso, como los líderes de la tripulación, participan activamente en la reunión.
- 3.5. La asistencia a la reunión a tiempo y la participación activa se miden y registran regularmente.

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
3.1	1	2	1	1	1	1	0,80
3.2	1	1	1	1	1	1	0,80
3.3	0	0	0	0	0	0	0,80
3.4	2	2	2	2	2	2	0,80
3.5	0	0	0	0	0	0	0,80
	0,80	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,83

4. Uso de indicadores para evaluar el cumplimiento de la planificación

- 4.1. Evaluación sistemática y registro del cumplimiento de hitos en tiempo y desviaciones.
- 4.2. Uso sistemático de un indicador de medición de progreso, como las curvas S o indicadores de progreso físico.
- 4.3. Comparación sistemática del progreso alcanzado con el progreso previsto, comparando curvas S o indicadores de progreso físico.
- 4.4. Uso sistemático de un indicador de cumplimiento de compromiso para la ejecución de tareas, como el PPC.
- 4.5. Uso sistemático de un indicador de eliminación de restricciones.
- 4.6. Uso sistemático de un indicador de trabajo ejecutable.
- 4.7. Uso sistemático de indicadores de productividad.

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
4.1	1	2	2	1	1	0	1,17
4.2	0	0	0	0	0	0	0,00
4.3	0	0	0	0	0	0	0,00
4.4	3	3	3	3	3	3	3,00
4.5	0	0	0	0	0	0	0,00
4.6	0	0	0	0	0	0	0,00
4.7	0	0	0	0	0	0	0,00
	0,57	0,71	0,71	0,57	0,57	0,43	0,60

5. Análisis crítico de la información

- 5.1. La información generada por el uso del SUP se usa sistemáticamente para tomar acciones de mejora continua.
- 5.2. Control sistemático del seguimiento del procedimiento de planificación y control.
- 5.3. Análisis sistemático y control del cumplimiento del cronograma, utilizando indicadores como los indicadores del Valor Ganado, para detectar y corregir las desviaciones.
- 5.4. Análisis sistemático y control del cumplimiento de compromisos, utilizando indicadores como el PPC, para detectar y corregir desviaciones.
- 5.5. Análisis sistemático y control de eliminación de restricciones, utilizando indicadores para detectar y corregir desviaciones.
- 5.6. Análisis sistemático y control de la aparición de causas de incumplimiento, utilizando herramientas como el Pareto de los RNC, para detectar y corregir desviaciones.
- 5.7. Gestión sistemática y control de acciones correctivas planificadas e implementadas.
- 5.8. Uso sistemático de herramientas y métodos "Lean" para analizar información, como los diagramas de Ishikawa, los gráficos de Pareto o los "cinco por qué".

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
5.1	1	2	2	1	1	1	1,33
5.2	2	2	2	2	2	1	1,83
5.3	0	0	0	0	0	0	0,00
5.4	3	3	3	3	3	2	2,83
5.5	0	0	0	0	0	0	0,00
5.6	0	0	0	0	0	0	0,00
5.7	0	0	0	0	0	0	0,00
5.8	0	0	0	0	0	0	0,00
	0,57	0,71	0,71	0,57	0,57	0,43	0,60

6. Gestión de la información visual

- 6.1. Las herramientas utilizadas en el proceso de planificación y control permiten una gestión simple de la información visual.
- 6.2. Existencia de un panel de información visual estandarizado con información de progreso, desempeño y compromisos.
- 6.3. El cronograma maestro y los hitos del proyecto son publicados, conocidos y de fácil acceso.
- 6.4. El plan de fases es publicado, conocido y de fácil acceso.
- 6.5. La planificación intermedia y las restricciones identificadas son publicadas, conocidas y fácilmente accesibles.
- 6.6. La planificación a corto plazo y los compromisos son publicados, conocidos y de fácil acceso.
- 6.7. Hay información visual de fácil acceso sobre las causas de los incumplimientos y las acciones correctivas.

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
6.1	2	2	2	2	2	2	2,00
6.2	1	2	2	1	1	1	1,33
6.3	3	3	3	3	3	3	3,00
6.4	1	2	2	1	1	1	1,33
6.5	1	1	0	0	0	0	0,33
6.6	3	3	3	3	3	2	2,83
6.7	0	0	0	0	0	0	0,00
	1,57	1,86	1,71	1,43	1,43	1,29	1,55

7. Definición correcta de paquetes de trabajo

- 7.1. El trabajo se divide en paquetes de trabajo que pueden ser asignados y gestionados por los últimos planificadores.
- 7.2. Los plazos de ejecución para cada paquete están definidos y registrados.
- 7.3. Los responsables de la preparación y ejecución de cada paquete están identificados y registrados.
- 7.4. Las restricciones identificadas se asignan a paquetes de trabajo específicos.

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
7.1	1	1	1	1	1	1	1,00
7.2	1	1	1	1	1	1	1,00
7.3	1	1	1	1	1	1	1,00
7.4	1	1	1	1	1	1	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

8. Uso de un plan maestro transparente y fácil de entender

- 8.1. Existencia de un plan maestro que identifica todas las fases y tareas relevantes para la ejecución del proyecto.
- 8.2. Los hitos del proyecto se identifican y representan en el plan maestro.
- 8.3. El plan maestro se actualiza sistemáticamente para el progreso real y la ejecución física del proyecto.

- 8.4. Existencia de una representación visual del plan maestro, fácil de entender y de fácil acceso para los últimos planificadores.

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
8.1	2	2	2	2	2	2	2,00
8.2	2	2	2	2	2	2	2,00
8.3	2	2	2	2	2	2	2,00
8.4	3	3	3	2	2	1	2,33
	2,25	2,25	2,25	2,00	2,00	1,75	2,08

9. Planificación de fases

- 9.1. Existencia de un plan de fases detallado con un alcance de 2 a 6 meses.
 9.2. Existencia de una representación visual del plan de fases, actualizada y de fácil acceso.
 9.3. El plan de fases se desarrolla y actualiza utilizando métodos "Lean" como la planificación "pull".
 9.4. Los últimos planificadores participan sistemáticamente en la revisión y actualización del plan de fases.

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
9.1	0	1	0	0	0	0	0,17
9.2	1	1	1	0	0	0	0,50
9.3	2	3	3	1	1	1	1,83
9.4	0	0	0	0	0	0	0,00
	0,75	1,25	1,00	0,25	0,25	0,25	0,63

10. Estandarización de la planificación intermedia

- 10.1. Análisis sistemático y generación de una planificación intermedia con un alcance de 4 a 8 semanas.
 10.2. La planificación intermedia está relacionada y conectada con el plan maestro, los objetivos del proyecto y la capacidad de ejecución.
 10.3. La planificación intermedia se actualiza semanalmente, se publica y se hace fácilmente accesible.
 10.4. La planificación intermedia se gestiona mediante planificación "pull".
 10.5. Las restricciones identificadas se representan y se consideran en la planificación intermedia.
 10.6. La planificación intermedia permite la identificación y representación de un inventario de trabajo ejecutable.

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
10.1	2	2	2	1	1	0	1,33
10.2	1	1	1	0	0	0	0,50
10.3	2	2	1	0	0	0	0,83
10.4	0	0	0	0	0	0	0,00
10.5	1	1	1	0	0	0	0,50
10.6	1	2	2	0	0	0	0,83
	1,17	1,33	1,17	0,17	0,17	0,00	0,67

11. Análisis sistemático y eliminación de restricciones

- 11.1. Las restricciones están vinculadas y asignadas a tareas específicas de la planificación intermedia.
 11.2. Las restricciones se identifican con tiempo suficiente para garantizar su eliminación antes de la ejecución de la tarea (al menos dos semanas antes).
 11.3. Se asigna un responsable de eliminación y un plazo comprometido a cada restricción identificada.
 11.4. El estado actual de las restricciones se evalúa y actualiza sistemáticamente (al menos semanalmente).

- 11.5. El éxito de la eliminación, el cumplimiento de plazos y los logros de compromiso se miden y registran sistemáticamente.

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
11.1	1	1	1	0	0	0	0,50
11.2	1	1	1	0	0	0	0,50
11.3	1	1	1	0	0	0	0,50
11.4	1	1	1	0	0	0	0,50
11.5	0	0	0	0	0	0	0,00
	0,80	0,80	0,80	0,00	0,00	0,00	0,40

12. Uso de un inventario de trabajo ejecutable

- 12.1. Existencia de un inventario de trabajo ejecutable actualizado sistemáticamente, que consta solo de tareas sin restricciones.
- 12.2. El inventario de trabajo ejecutable se publica de manera sistemática, informada y de fácil acceso.

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
12.1	1	1	1	1	1	1	1,00
12.2	1	1	1	0	0	0	0,50
	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,75

13. Uso exclusivo de un inventario de trabajo ejecutable en la planificación a corto plazo

- 13.1. Los compromisos a corto plazo se hacen solo en las tareas del inventario de trabajo ejecutable.
- 13.2. Los compromisos a corto plazo son asumidos directamente por los últimos planificadores.
- 13.3. Los compromisos a corto plazo tienen unas condiciones claras de responsabilidad y cumplimiento.
- 13.4. Las tareas restantes del inventario de trabajo ejecutable que no se comprometieron inicialmente se registran e informan para ser utilizadas en modificaciones de planes a corto plazo durante la semana.
- 13.5. Los compromisos a corto plazo se gestionan, actualizan y notifican sistemáticamente durante la semana.

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
13.1	2	2	1	0	1	0	1,00
13.2	2	2	2	2	2	2	2,00
13.3	1	1	1	1	1	1	1,00
13.4	1	2	2	1	1	0	1,17
13.5	2	2	2	2	2	2	2,00
	1,60	1,80	1,60	1,20	1,40	1,00	1,43

14. Planificación y control de flujos de trabajo físico

- 14.1. Las capacidades de ejecución y las tasas de producción se estiman continuamente o se miden empíricamente para tareas críticas.
- 14.2. Los planes de ejecución consideran las capacidades de ejecución estimadas y las tasas de producción.
- 14.3. La secuencia de construcción se revisa, planifica e informa sistemáticamente.
- 14.4. Los equipos de construcción conocen la secuencia de construcción y el plan más allá de la semana actual.
- 14.5. Los últimos planificadores conocen los requisitos previos, las actividades posteriores y las entregas después de sus compromisos.

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
14.1	1	1	1	0	1	0	0,67
14.2	1	1	1	0	1	0	0,67
14.3	1	1	1	0	1	0	0,67
14.4	1	1	1	1	1	1	1,00
14.5	1	1	1	1	1	1	1,00
	1,00	1,00	1,00	0,40	1,00	0,40	0,80

15. Acciones correctivas basadas en las causas de incumplimiento

- 15.1. Las causas de los incumplimientos se identifican sistemáticamente para cada compromiso incumplido.
- 15.2. Las causas de los incumplimientos se registran sistemáticamente y se clasifican por tipo, tarea y fecha en un repositorio.
- 15.3. Las causas fundamentales de los incumplimientos se identifican, analizan y registran sistemáticamente.
- 15.4. Las acciones correctivas se planifican sistemáticamente para cada causa raíz identificada.
- 15.5. A cada acción correctiva se le asigna un responsable, un plazo de implementación y una fecha de control.
- 15.6. La correcta implementación de las acciones correctivas y su efectividad se controlan y registran sistemáticamente.

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
15.1	0	0	0	0	0	0	0,00
15.2	0	0	0	0	0	0	0,00
15.3	0	0	0	0	0	0	0,00
15.4	0	0	0	0	0	0	0,00
15.5	0	0	0	0	0	0	0,00
15.6	0	0	0	0	0	0	0,00
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

16. Comunicación y trabajo en equipo

- 16.1. Los miembros del equipo conocen sus roles y responsabilidades.
- 16.2. Las herramientas de planificación y control permiten una comunicación de información fluida, fácil y rápida.
- 16.3. La información relevante para el proceso de planificación y control se publica constantemente y se comparte con el equipo.
- 16.4. Existe una comunicación clara, efectiva y constante entre los miembros del equipo.
- 16.5. Existe una comunicación clara, efectiva y constante entre los gerentes y los miembros de la tripulación.
- 16.6. El proceso de toma de decisiones se lleva a cabo en equipo y se informa correctamente.

	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	
16.1	2	2	2	2	2	2	2,00
16.2	2	2	2	1	1	1	1,50
16.3	2	2	1	0	1	0	1,00
16.4	2	2	2	1	1	1	1,50
16.5	1	1	1	0	1	0	0,67
16.6	0	0	0	0	0	0	0,00
	1,50	1,50	1,33	0,67	1,00	0,67	1,11

Tabla A.15: Nivel de implementación caso a caso

ID	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC	Nivel de Implement.
1	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
2	1,17	1,50	1,17	0,67	1,00	0,33	0,97
3	0,80	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,83
4	0,57	0,71	0,71	0,57	0,57	0,43	0,60
5	0,57	0,71	0,71	0,57	0,57	0,43	0,60
6	1,57	1,86	1,71	1,43	1,43	1,29	1,55
7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
8	2,25	2,25	2,25	2,00	2,00	1,75	2,08
9	0,75	1,25	1,00	0,25	0,25	0,25	0,63
10	1,17	1,33	1,17	0,17	0,17	0,00	0,67
11	0,80	0,80	0,80	0,00	0,00	0,00	0,40
12	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,75
13	1,60	1,80	1,60	1,20	1,40	1,00	1,43
14	1,00	1,00	1,00	0,40	1,00	0,40	0,80
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
16	1,50	1,50	1,33	0,67	1,00	0,67	1,11
medias	1,07	1,19	1,10	0,72	0,81	0,64	0,92

Anexo G. PPCs semanales caso a caso y por fases: estructura, instalaciones y acabados

Tabla A.16: PPCs semanales caso a caso

Semana	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC
1	60	100	60	66	100	100
2	25	100	50	75	50	50
3	100	50	100	33	33	100
4	50	100	50	50	66	90
5	100	50	60	75	100	100
6	67	50	50	100	40	60
7	75	60	60	50	75	100
8	67	50	66	89	33	50
9	30	33	55	75	86	100
10	100	50	55	33	50	60
11	100	80	33	87	66	100
12	67	60	50	62	50	75
13	25	40	60	50	66	100
14	33	60	33	100	33	50
15	75	100	100	80	75	100
16	100	66	40	50	86	75
17	66	50	60	75	50	50
18	50	75	90	33	75	75
19	100	57	55	50	86	100
20	57	83	50	86	100	66
21	83	60	100	100	25	33
22	60	66	50	75	75	86
23	66	50	75	43	83	60
24	50	100	33	33	33	33
25	100	50	66	62	60	40
26	50	75	50	100	50	33
27	75	33	90	89	89	50
28	75	50	50	90	33	33
29	50	75	33	33	75	50
30	75	75	90	71	87	40
31	50	100	50	50	86	33
32	25	87	83	60	71	66
33	33	57	75	71	75	50
34	75	50	100	60	50	33
35	75	60	87	50	43	66
36	100	85	57	50	50	33
37	87	100	33	50	100	66
38	100	83	60	66	71	100
39	75	77	85	50	60	57
40	33	75	75	90	50	50
41	66	50	50	100	71	66
42	33	80	77	75	50	60
43	50	66	75	66	70	33
44	50	100	66	33	73	50
45	100		80	55	55	60
46	75		50	70	50	33
47	75		100	75	33	66
48	100		90	50	73	62
49			90	43	67	50
50			50	50	71	0
51			75	90	90	100
52			100	100	100	50
53						83
54						50
55						43
56						50
57						33
58						78
59						43
60						50
61						100
62						60
63						80
64						89
65						100
media	67	69	66	66	65	63

Tabla A.17: PPCs por fases: estructura, instalaciones y acabados

Fases	SOR	IVN3	VIC	PAB	RIC	FLC
Estructura	67	66	61	68	66	81
Instalaciones	66	67	65	65	64	51
Acabados	70	75	72	64	66	59
PPC total	67	69	66	66	65	63

Anexo H. Guion de la verificación externa de los hallazgos

Una vez extraídos los hallazgos, se procederá a contrastarlos con los dos jefes de obra que formaron el panel de expertos, dos arquitectos técnicos con más de 15 años de experiencia en gestión de la edificación, conocedores del SUP y que anteriormente lo habían implementado en alguna de sus anteriores obras. Estos jefes de obra serán los informadores clave que aportarán validez a los hallazgos con su verificación.

El enfoque de las revisiones estará en discutir los resultados y los hallazgos de la investigación con los informadores clave. Después de obtener esos resultados, se creará el guion para su revisión. El protocolo que se utilizará para dirigir estas revisiones no demandará el mismo nivel de detalle que el protocolo del estudio de casos múltiple, aunque será importante definir sus características específicas.

Los hallazgos de la investigación servirán como base para fomentar un diálogo abierto sobre los diferentes temas a abordar, asegurándose de registrar exactamente lo que se hable, sin afectar a la fluidez de la entrevista.

Inicialmente, no será necesario hacer una presentación completa de la investigación para estas revisiones, pero sí será importante informar, antes de la revisión, sobre el alcance y los objetivos de esta. Sin embargo, si se considerara útil hacer un recordatorio, se proporcionará este texto como una descripción general de la investigación:

En las obras, como sistemas sociotécnicos complejos que son, participan una gran cantidad de elementos diversos que interactúan dinámicamente, como son los profesionales, los materiales, la maquinaria y los demás medios auxiliares. Estas interacciones dan lugar a la variabilidad e incertidumbre, que están presentes en la mayoría de los proyectos de construcción.

Dicha variabilidad e incertidumbre debe ser gestionada a través de la planificación y el control; sin embargo, el uso de planes demasiado estáticos, la falta de colaboración entre las partes interesadas, la baja participación en la planificación y la falta de uso de indicadores orientados a procesos impiden que los equipos de obra aprovechen las oportunidades de la planificación para abordar la incertidumbre y la variabilidad.

El Sistema del Último Planificador (SUP) es una herramienta que ayuda a sistematizar la planificación y el control del desempeño de las obras, utilizando ciclos colaborativos cortos para identificar el trabajo requerido, planificarlo, prepararlo y establecer compromisos de ejecución monitoreados semanalmente para determinar las acciones correctivas requeridas.

Durante los últimos 30 años, múltiples investigadores han mencionado los beneficios del SUP. Estos beneficios, incluyen las mejoras en el cumplimiento de las tareas a corto plazo, la productividad laboral, la minimización de la variabilidad del flujo de trabajo, la mejora del desempeño del cronograma e, incluso, la reducción de la desviación de costes.

Un motivador importante para la creciente popularidad del uso del SUP en la construcción es la búsqueda de la reducción de la variabilidad y de la obtención de una mejor productividad.

Sin embargo, centrarse en un flujo de trabajo y promesas confiables puede ejercer cierta presión sobre las personas para que hagan y cumplan estas promesas, lo que también puede revelar algunos procedimientos operativos conflictivos.

El SUP está formado por una estructura de niveles de planificación. La planificación inicial o planificación maestra tiene en cuenta todas las actividades del proyecto, señalizando los hitos, determinando tiempos de ejecución, actividades generales y los recursos para el desarrollo óptimo del proyecto. El segundo nivel es la planificación intermedia, que genera un plan de

trabajos más detallado, escogiendo actividades sin restricciones, preparadas, atribuyendo la responsabilidad de su ejecución de forma específica y clara. Cada uno de estos niveles incluye los componentes o técnicas necesarios para soportar la planificación y la ejecución del proyecto.

Si bien el nivel de implementación de la mayoría de los componentes del SUP ha mejorado a lo largo de los años, la adopción de algunos de ellos se mantiene en un nivel muy básico. Los componentes relacionados con la planificación a corto plazo se adoptan amplia y extensamente pero no ocurre lo mismo con el resto de componentes del SUP.

La implementación del SUP requiere del compromiso de los miembros del equipo de obra: el jefe de obra, el encargado, los subcontratistas y demás proveedores. La experiencia que estos tengan en la construcción de una tipología concreta de proyectos puede ser uno de los principales impulsores en la gestión exitosa medida en términos de los costes y del desempeño del cronograma, cuando se implementa el SUP.

En la esencia del SUP, la transparencia de la información entre las partes es indispensable, ya que permite hacer promesas que generan mayor confianza, fenómeno complejo que no surge en un instante.

Antes de iniciar el proceso de revisión, será crucial que los informantes clave comprendan que la información y los documentos que se analizarán se mantendrán en total confidencialidad.

Con esta introducción, se procederá a realizar las revisiones para contrastar los hallazgos de la investigación, lo que ayudará a fortalecer su validez.

Las reuniones se llevarán a cabo de manera individual, asegurando que la recolección de los datos se efectúe de forma uniforme en cada caso. Esto aumentará la coherencia y la consistencia de la investigación.

Las preguntas formuladas a los informantes clave buscarán obtener su perspectiva sobre los resultados y los hallazgos de la investigación. Sin embargo, no es necesario que se presenten de manera directa, ya que el objetivo será facilitar la comprensión de los informantes clave sobre el significado de lo que se les pregunta.

El contenido de las revisiones se centrará en presentar a estos informadores clave los hallazgos de la investigación. Para ello se desarrolló el guion de las revisiones, aportado en el presente protocolo. Se formularon las siguientes afirmaciones cerradas a las que, en una escala ordinal del 1 al 5 tendrán que valorar su nivel de aceptación con cada idea planteada con los siguientes criterios: (1) totalmente en desacuerdo, (2) en desacuerdo, (3) indiferente, (4) de acuerdo y (5) muy de acuerdo):

1. Las desviaciones del plazo están inversamente relacionadas con la implementación del SUP y con los valores de los PPCs.
2. Implementar el SUP en obras cuyo encargado tenga amplia experiencia en la construcción de viviendas unifamiliares influirá positivamente en los resultados de su ejecución, tanto en coste y como en plazo.
3. El empleo de prácticas *Lean Design Management* (LDM) contribuye a conseguir una mejor implementación del SUP.
4. Algunos componentes del SUP influyen más que otros en el resultado de las obras

5. La implementación del SUP no influye de igual manera durante las diferentes fases de construcción. El nivel de implementación del SUP tiene mayor influencia sobre los valores del PPC en las etapas finales de la obra.
6. No se mantiene la implementación del SUP durante toda la ejecución de las obras. Cuando el SUP no funciona como se esperaba, se generan temores e inseguridades entre los agentes de la obra y se tiende a retomar los viejos roles de la gestión tradicional.

Tras haber realizado las revisiones se efectuará el análisis de las respuestas obtenidas.

Para ello se calculará la media de los pares de las respuestas de ambos informadores clave. A partir de las medias y teniendo en cuenta los siguientes límites o rangos se determinará el nivel de aceptación de cada valoración:

- Fuerte: $\text{Media} \geq 4$
- Aceptable: $3 \leq \text{Media} < 4$
- Débil: $2 \leq \text{Media} < 3$
- Rechazada: $\text{Media} < 2$

Finalmente, se incluirán en esta investigación las valoraciones dadas por los informadores clave en la revisión de los hallazgos.

