



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LAST PLANNER

CAMILO IGNACIO LAGOS CRUA

Tesis para optar al grado de
Magister en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:
LUIS FERNANDO ALARCÓN CÁRDENAS

Santiago de Chile, mayo, 2017

© 2017, Camilo Ignacio Lagos Crua



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LAST PLANNER

CAMILO IGNACIO LAGOS CRUA

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

LUIS FERNANDO ALARCÓN CÁRDENAS

PAZ ARROYO RIQUELME

ÁNGELA LÓPEZ ZULUAGA

JOSÉ MANUEL DEL VALLE LLADSER

Para completar las exigencias del grado de
Magister en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, mayo, 2017

A todo GEPRO y GEPUC, a mis amigos y por sobre todo a mis padres quienes fueron el soporte y el impulso fundamental sin el cual no podría haber completado este logro.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Excelencia en Gestión de la Producción (GEPUC) por su constante apoyo, en especial a: Nicolás Donaire, Luis Salazar, Rodrigo Herrera, Roberto Luna y Mariana Casanova. A GEPRO y todo su equipo de grandes amigos, quienes me apoyaron constantemente, aportaron con su conocimiento y disposición; especialmente a Ángela López y Patricio Gahona por sus numerosas contribuciones y constante seguimiento. A Luis Fernando Alarcón quien fue un guía y constante aporte tanto a investigación como a mi desarrollo profesional. Finalmente, a los equipos y empresas con quienes participé a lo largo de este proyecto, en especial a Eric Fuentes, quien aportó enormemente a esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Motivación	5
1.3. Diseño de la investigación.....	7
1.3.1. Definición del problema	8
1.3.2. Preguntas de investigación.....	10
1.3.3. Objetivos de la investigación.....	10
1.3.4. Hipótesis	10
1.3.5. Resultados, alcance y limitaciones de la investigación	11
1.4. Glosario de términos	13
2. METODOLOGÍA.....	14
2.1. Diseño de la investigación.....	14
2.1.1. Etapas de la investigación.....	14
2.1.2. Fuentes de información.....	15
2.2. Etapa I: Revisión bibliográfica.....	17
2.2.1. Problemáticas del enfoque tradicional de gestión de proyectos	18
2.2.2. Lean Production y Lean Construction	19
2.2.3. El sistema Last Planner	19

2.2.4. Estado del arte del sistema Last Planner.....	19
2.2.5. Estado de la práctica del sistema Last Planner	19
2.2.6. Uso de tecnologías de la información para el soporte de Last Planner	20
2.3. Etapa II: análisis de la gestión de la información en proyectos de Last Planner.....	20
2.3.1. Selección de componentes	21
2.3.2. Desarrollo herramientas de análisis	23
2.3.3. Recopilación de información.....	25
2.3.4. Análisis de resultados	26
2.4. Etapa III: Desarrollo de herramienta de gestión de la información	28
2.4.1. Módulo de reportes	29
2.4.2. Módulo de gestión en terreno	30
2.4.3. Consolidación de herramientas.....	31
2.5. Etapa IV: Análisis caso de estudio.....	32
2.5.1. Definición del caso de estudio.....	33
2.5.2. Diseño operacional	36
2.5.3. Implementación	38
2.5.4. Recopilación de datos y análisis de resultados	39
2.6. Etapa V: Análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones	43
3. MARCO TEÓRICO	45
3.1. Problemáticas de los proyectos	45
3.2. El enfoque tradicional de la gestión de proyectos.....	45
3.3. Lean Production y Lean Construction.....	47
3.4. El Sistema Last Planner.....	50
3.5. Estado del arte del sistema Last Planner	55
3.6. Estado de la práctica del sistema Last Planner.....	59
3.7. Uso de tecnologías de la información para el soporte de Last Planner....	61
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL REGISTRO Y USO DE INFORMACIÓN	65
4.1. Selección de componentes	65
4.2. Métricas elaboradas para la obtención de información.....	67
4.3. Obtención de datos y validación estadística de resultados.....	68

4.4.	Análisis de resultados del registro de información	70
4.4.1.	Registro de información de restricciones.....	72
4.4.2.	Registro de información de causas de no cumplimiento	74
4.4.3.	Registro de información de acciones correctivas.....	75
4.5.	Análisis de resultados del uso de información	77
4.5.1.	Uso de información de restricciones.....	80
4.5.2.	Uso de información de causas de no cumplimiento	81
4.5.3.	Uso de información de acciones correctivas.....	83
4.6.	Análisis conjunto del registro y uso de información.....	85
4.6.1.	Causantes de la diferencia en el uso de información y oportunidades.....	85
4.6.2.	Correlación entre el registro y el uso de información.....	88
4.7.	Conclusiones en base al análisis de resultados.....	91
5.	DESARROLLO DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN	93
5.1.	Módulo de reportes.....	93
5.1.1.	Identificación de necesidades y características necesarias de los reportes.....	93
5.1.2.	Definición de las características de la herramienta y desarrollo del prototipo.....	100
5.1.3.	Versión final del módulo	104
5.2.	Módulo de recopilación de información y gestión en terreno.....	107
5.2.1.	Identificación de problemáticas, necesidades y oportunidades ...	107
5.2.2.	Diseño de la herramienta	109
5.2.3.	Prototipos incrementales y desarrollo del módulo.....	111
5.2.4.	Componentes del módulo definitivo de gestión en terreno	113
6.	RESULTADOS DEL CASO DE ESTUDIO.....	118
6.1.	Grado de implementación de la metodología.....	118
6.2.	Indicadores de gestión	127
6.2.1.	Identificación de restricciones	127
6.2.2.	Liberación de restricciones	130
6.2.3.	Tiempos de gestión de restricciones	133
6.2.4.	Porcentaje de participación de tareas en el plan de corto plazo...	135

6.3. Indicadores de desempeño	137
6.3.1. Evolución del porcentaje de cumplimiento de compromisos	137
6.3.2. Evolución del cumplimiento de programa.....	138
6.3.3. Evolución de la desviación de programa	140
6.3.4. Causas de no cumplimiento	141
6.4. Conclusiones en base al análisis de resultados.....	147
7. CONCLUSIONES	151
7.1. Resumen del problema abordado	151
7.2. Conclusiones respecto al análisis del impacto del uso de sistemas TI en la gestión de la información en proyectos de Last Planner	153
7.3. Conclusiones obtenidas del desarrollo de herramientas para el mejoramiento de la gestión de la información en proyectos de Last Planner.....	155
7.4. Conclusiones obtenidas del análisis del caso de estudio.....	156
7.5. Oportunidades de investigación futura.....	159
BIBLIOGRAFIA.....	161
A N E X O S.....	167
Anexo A: Características paneles de expertos, usuarios avanzados e intermedios..	168
Anexo B: Métrica de evaluación del registro de información	170
Anexo C: Métrica de evaluación del uso de información para el análisis	172
Anexo D: Distribución de Proyectos por usuario y tipo	174
Anexo E: Cuestionario evaluación de suficiencia del listado de reportes.....	175
Anexo F: Cuestionario evaluación de la definición de alcance y características generales del módulo de gestión en terreno	178
Anexo G: Métrica de evaluación del grado de implementación de Last Planner	179
Anexo H: Vistas del módulo de gestión en terreno.....	184

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1: Indicadores propuestos por España et al. (2012)	56
Tabla 3.2: Indicadores propuestos por Hamzeh et al. (2012)	57
Tabla 4.1. Grado de implementación de componentes según bibliografía	65
Tabla 4.2. Resultados grado de implementación componentes metodológicos.....	67
Tabla 4.3. Correlación resultados grado de implementación componentes metodológicos	67
Tabla 4.4. Resultados del análisis de normalidad	68
Tabla 4.5. Resultados prueba de U de Mann-Whitney para muestras independientes	69
Tabla 4.6. Resultados globales del registro información	70
Tabla 4.7. Distribución de parámetros de registro información.....	72
Tabla 4.8. Resultados registro de restricciones	73
Tabla 4.9. Resultados registro de causas de no cumplimiento.....	74
Tabla 4.10. Resultados registro de acciones correctivas.....	77
Tabla 4.11. Resultados uso de información para el análisis	78
Tabla 4.12. Distribución de parámetros de uso de información	79
Tabla 4.13. Resultados uso de información de restricciones	80
Tabla 4.14. Resultados uso de información de causas de no cumplimiento	82
Tabla 4.15. Resultados uso de información de acciones correctivas	84
Tabla 4.16. Comparativo de resultados de correlaciones entre grupos	90
Tabla 5.1. Características preliminares necesarias en módulo de reportes	94
Tabla 5.2. Características priorizadas del módulo de reportes.....	95
Tabla 5.3. Matriz comparativa cumplimiento características reportabilidad existente.....	96
Tabla 5.4. Matriz comparativa tipos de reportes existentes	97
Tabla 5.5. Reportes levantados inicialmente.....	102
Tabla 5.6. Reportes incorporados al módulo	103
Tabla 5.7. Información disponible en el módulo de gestión en terreno	116
Tabla 5.8. Información contenida en notificaciones	117
Tabla 4.1. Aumento grado de implementación de los componentes metodológicos	121

Tabla 6.2. Identificación de restricciones	127
Tabla 6.3. Identificación de restricciones en el caso base comparativo.....	129
Tabla 6.4. Cálculo de los tiempos de gestión de restricciones.....	133
Tabla 6.5. Tiempos de gestión de restricciones caso de estudio	134
Tabla 6.6. Tiempos de gestión de restricciones del caso base	135
Tabla 6.7. Porcentaje de participación de tareas del caso de estudio.....	137
Tabla 6.8. PPC del caso estudio	137
Tabla 6.9. Clasificación de las causas de no cumplimiento caso estudio	142
Tabla 6.10. Comparativo cantidad e impacto causas de no cumplimiento caso estudio ...	145
Tabla 6.11. Comparativo evolución relevancia CNCs caso estudio	146

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1: Etapas de la investigación.....	15
Figura 2.2. Metodología de la Etapa I.....	18
Figura 2.3. Metodología de la etapa II	21
Figura 2.4. Matriz de clasificación de análisis específicos	24
Figura 2.5. Sistema de recopilación de resultados de la gestión de información.....	27
Figura 2.6. Sistema de consolidación de datos de la gestión de información.....	28
Figura 2.7. Metodología de la etapa III.....	29
Figura 2.8. Metodología de la etapa IV.....	32
Figura 2.9. Etapas del caso de estudio	37
Figura 2.10. Diseño operacional del caso de estudio	37
Figura 3.1: Comparativo del sistema tradicional y Last Planner (Letelier, 2014).	52
Figura 3.2: Esquema de la planificación Last Planner.	52
Figura 3.3: Horizontes de planificación Last Planner	56
Figura 4.1. Fórmula para el cálculo del factor de aumento.....	70
Figura 4.2.Comparativo resultados del registro de información.....	71
Figura 4.3. Fórmula para el cálculo del factor de aumento.....	77
Figura 4.4. Comparativos resultados del uso de información para el análisis	79
Figura 4.5. Comparativo conjunto del registro y uso de información	86
Figura 4.6. Comparativo de la correlación entre el registro y uso de la información	90
Figura 5.1. Esquema módulo reportes.....	105
Figura 5.2. Sección restricciones módulo de reportes.....	106
Figura 5.3. Metodología planteamiento módulo terreno.....	108
Figura 5.4. Resultado del análisis de problemáticas, necesidades y oportunidades	108
Figura 5.5. Diagrama de flujo de información desde y hacia terreno	110
Figura 5.6. Diagrama explicativo vistas módulo gestión en terreno	111
Figura 5.7. Desarrollo de prototipos incrementales del módulo de gestión en terreno.....	113
Figura 5.8. Interacción componentes herramienta de gestión.....	115

Figura 6.1. Comparativo grado de implementación inicial y final	119
Figura 6.2. Factor de aumento de los componentes metodológicos	122
Figura 6.3. Evolución del promedio mensual de identificación de restricciones.....	128
Figura 6.4. Evolución del coeficiente de variabilidad mensual de la identificación.....	129
Figura 6.5. Comparativo identificación de restricciones en caso de estudio y caso base ..	130
Figura 6.6. Evolución del PCR caso estudio.....	131
Figura 6.7. Evolución del Índice de Liberación de Restricciones.....	132
Figura 6.8. Comparativo liberación de restricciones caso estudio y caso base.....	133
Figura 6.9. Porcentaje de participación de tareas caso de estudio	136
Figura 6.10. Evolución del PPC del caso estudio	138
Figura 6.11. Evolución del SPI del caso estudio.....	139
Figura 6.12. Correlación entre el PPC y SPI del caso estudio	140
Figura 6.13. Evolución de la desviación de programa del caso estudio	141
Figura 6.14. Correlación del PPC y Desviación de Programa del caso estudio.....	141
Figura 6.15. Gráfico de Pareto causas de no cumplimiento caso estudio	143
Figura 6.16. Composición de causas de no cumplimiento de caso estudio	143
Figura 6.17. Comparativo composición causas de no cumplimiento del caso estudio	143
Figura 6.18. Cantidad e impacto de causas de no cumplimiento del caso estudio	144
Figura 6.19. Relevancia de causas de no cumplimiento caso estudio.....	145
Figura 6.20. Correlación entre PPC y cantidad de CNCs controlables caso estudio	146
Figura 6.21. Correlación entre PPC y cantidad total de CNCs caso estudio	147
Figura 7.1. Resumen del diseño de investigación	152

RESUMEN

El sistema *Last Planner* (LPS) ha sido implementado por más de 20 años y ha demostrado un impacto positivo en la estabilización de los flujos de trabajo, reducción de los plazos y costos de proyectos. Sin embargo, algunos componentes, como la gestión de restricciones, causas de no cumplimiento y gestión de acciones correctivas, no han alcanzado un grado maduro de implementación. La incorporación de tecnologías de la información (TI) ha mostrado ser beneficiosa para la adopción metodológica, estandarización y desempeño de los proyectos. Sin embargo, la gestión de la información permanece como uno de los principales desafíos.

Esta investigación tiene por objeto el desarrollo de herramientas de gestión de la información que permitan capturar la información de terreno y ponerla a disposición a través de reportes que fomenten el análisis para la mejora continua. Se realizó un análisis comparativo de la gestión de información de restricciones, causas de no cumplimiento y acciones correctivas en 34 proyectos de construcción chilenos, el cual permitió identificar aspectos claves para mejorar la recolección y uso, así como cuantificar los beneficios del uso de TI para el soporte de LPS. Las herramientas desarrolladas fueron integradas al software Impera y luego implementadas en un caso de estudio en el que ya se utilizaba la metodología y el software. El seguimiento del proyecto a lo largo de 6 meses permitió corroborar el efecto positivo de la inclusión de las herramientas.

Los resultados de la investigación permitieron concluir que la inclusión de las herramientas mejoró el grado de implementación de la metodología, la identificación y gestión de restricciones, el cumplimiento de compromisos y de programa. Además, fue posible cuantificar los impactos en indicadores de LPS y en las causas de no cumplimiento. Por último, la inclusión de las herramientas tuvo un impacto positivo en la estandarización del proceso de planificación y control, la planificación intermedia y de corto plazo, la gestión visual y el análisis crítico de la información.

Palabras Claves: *Last Planner*, gestión de la información, tecnologías de la información, software, Impera, restricciones, causas de no cumplimiento, acciones correctivas.

ABSTRACT

The Last Planner System (LPS) has shown positive impacts on workflow stabilization, commitment accomplishment, reduction of costs and execution times. However, some components, like the management of constraints, causes of non-compliances and corrective actions are not fully implemented in construction projects. The incorporation of information technologies (IT) has shown to be beneficial for the adoption of the methodology, standardization and project performance. Although, information management for continual improvement remains a challenge.

The objective of this research is to develop IT tools to improve the collection of on-site information and make it available through reports that can facilitate information management for continual improvement. A comparative analysis of information management of constraints, causes of non-compliances and corrective actions in 34 Chilean construction projects allowed to determine key aspects for the improvement of the collection and use of information and quantify the benefits of the use of IT systems. IT tools for information management were developed based on the information obtained from the analysis, users and experts criteria. These tools were integrated to the software Impera and then implemented in a case study which already used the methodology and the platform. The results obtained from monitoring the project for 6 months allowed to corroborate the positive impacts of the implementation of the developed tools.

The results obtained allowed to conclude that the use of the tools improved the level of implementation of the methodology, the identification of constraints, constraints management, commitments accomplishment and schedule accomplishment. In addition, it was possible to quantify the impacts on LPS indicators and causes of non-compliances. Finally, the inclusion of the tools had a positive impact in the standardization of the planning and control process, Lookahead and Short-term planning, visual management of information and critical analysis of data.

Keywords: Last Planner System, information management, information technologies, software, Impera, constraints, causes of non-compliances, corrective actions.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El Sistema *Last Planner* ha sido implementado en múltiples proyectos en países como el Reino Unido (Dave, Hämäläinen, & Koskela, 2015), Estados Unidos (Ballard, 2000; Ballard, 1994; Ballard & Howell, 2003), Dinamarca, Finlandia, Indonesia, Australia, Venezuela, Brazil (Bortolazza, Costa, & Formoso, 2005; Formoso & Moura, 2009; Sterzi, Isatto, & Formoso, 2007; Viana et al., 2010), Ecuador, Perú y Chile (Alarcón & Calderón, 2003a; Alarcón, Diethelm, Rojo, & Calderon, 2005; Castillo, Alarcón, Salvatierra, & Alarcón, 2015; Sabbatino, 2011; Sabbatino, Alarcón, & Toledo, 2011; Salvatierra, Alarcón, López, & Velásquez, 2015) a lo largo de más de 20 años desde su proposición (Ballard & Howell, 2003). Los resultados de su implementación muestran efectos positivos en la estabilización de los flujos de trabajo (Ballard & Howell, 2003), mejoras en el retorno de los proyectos y reducción de los plazos y costos de proyectos en que se ha realizado una implementación exitosa (Daniel, Pasquire, & Ameh, 2014). Éste sistema también ha demostrado ser una herramienta de entrada para la adopción de principios *Lean* en construcción (Daniel et al., 2014).

Algunos de los beneficios más citados de la utilización del sistema *Last Planner* son la reducción de la variabilidad, protección del trabajo ejecutable, optimización de los flujos de trabajo, mejora de la identificación de pérdidas, mejoramiento continuo, trabajo colaborativo e integración de las cadenas de producción y aprovisionamiento (Dave et al., 2015). Otras investigaciones señalan que la adopción de metodologías *Lean*, y específicamente del sistema *Last Planner*, también generan mejoras en indicadores de desempeño (KPIs) de los proyectos en que son implementadas, como por ejemplo las tasas de producción y productividad (España, Tsao, & Hauser, 2012). Adicionalmente, investigaciones exploratorias han determinado la existencia de una alta correlación entre los indicadores de LPS. Específicamente, investigaciones de casos de estudio han identificado correlaciones estadísticamente relevantes entre los indicadores Porcentaje del Plan Completado (PPC), Porcentaje de Cumplimiento de

Restricciones (PCR) y el Porcentaje de Trabajo Completado (PWC). lo anterior implica que las mejoras en el proceso de preparación del trabajo, a través de *Last Planner*, genera impactos positivos en el cumplimiento de compromisos y cumplimiento del plan (Jang & Kim, 2007). Incluso, la utilización de indicadores de *Last Planner*, ha probado ser efectiva para predecir el desempeño de proyectos (Alarcón, Salvatierra, & Letelier, 2014).

Por otro lado, existe evidencia de que la implementación de *Last Planner* también provoca una disminución en la aparición de problemáticas y en el impacto de los tipos de causas de no cumplimiento controlables o internas (Alarcón et al., 2005). Proyectos con implementaciones exitosas son capaces de identificar de mejor forma las causas raíces de las desviaciones y mejoran la reacción a través de la toma de acciones correctivas (Patel, 2013). Además, la incorporación del sistema no sólo ha tenido un impacto significativo en el desempeño de los proyectos, sino que también contribuye a reforzar las redes organizacionales en los equipos de trabajo (Castillo et al., 2015).

Sin embargo, diversas investigaciones señalan que algunos componentes fundamentales de LPS todavía no han alcanzado un alto nivel de implementación (Alarcón & Calderón, 2003a; Salvatierra et al., 2015; Soares, Bernardes, & Formoso, 2002; Viana et al., 2010). Algunos de los componentes menos implementados son la gestión de acciones correctivas, uso sistemático del Inventario de Trabajo Ejecutable (ITE), la preparación del trabajo o *Make-Ready Process*, la gestión de restricciones y la planificación de *Lookahead* (Dave et al., 2015).

Investigaciones recientes han permitido determinar que el número de componentes ha ido en aumento durante la última década (Daniel, Pasquire, & Dickens, 2015). No obstante, pese que la literatura continúa promoviendo la incorporación de dichos componentes y mostrando beneficios de su implementación (Ballard & Howell, 2003; Marín, 2015; Mossman, 2013), el grado de implementación ha tenido limitado o nulo aumento en los últimos 10 años (Alarcón & Calderón, 2003a; Formoso & Moura, 2009; Priven & Sacks, 2013; Salvatierra et al., 2015; Soares et al., 2002; Viana et al., 2010).

Por otra parte, existen componentes ampliamente utilizados y con un grado de implementación maduro como la ejecución de reuniones semanales, el cálculo y análisis del PPC y la búsqueda de causas de no cumplimiento semanales (Daniel et al., 2015). El grado de implementación de dichos componentes, en general coincide con la teoría de que las implementaciones han tenido un foco principalmente cortoplacista (Dave et al., 2015), razón por la cual componentes como el análisis del *Lookahead*, la búsqueda de restricciones y la gestión de acciones correctivas, que requieren de una planificación a mediano plazo, no han sido ampliamente incorporados (Alarcón et al., 2005).

Además, dos de los desafíos actuales para alcanzar mayores grados de implementación son la adopción de la gestión visual de la información (Daniel et al., 2015) y el control sistemático y proactivo de la información (Dave, Kubler, Främling, & Koskela, 2014). En los últimos años, se han desarrollado numerosas contribuciones al sistema *Last Planner*, a través de la incorporación de sistemas de tecnologías de la información, para la gestión sistemática, gestión de la información y el análisis crítico para la mejora continua (Alarcón & Calderón, 2003a; Choo, Tommelein, Ballard, & Zabelle, 1998; Dave, Boddy, & Koskela, 2011; Dave et al., 2014; Faloughi, Bechara, Chamoun, & Hamzeh, 2014; Feliz, Reed, Draper, & Macomber, 2014).

En proyectos simples, es posible llevar a cabo una implementación y seguimiento completo a un proyecto utilizando herramientas tradicionales. Sin embargo, en proyectos con mayor complejidad y duración, como es el caso de los proyectos de construcción, se hace necesario el uso de mecanismos de tecnologías de la información (TI) para la gestión de proyectos (G. Howell & Macomber, 2002). Los mecanismos TI tradicionales de programación de proyectos son útiles para el manejo de cartas gantt, representación del alcance, programa y avance, pero presentan limitaciones para el manejo y representación de la gestión de recursos, preparación de trabajo o planificación de compromisos de corto plazo (Choo et al., 1998).

Por ésta razón, se han planteado sistemas de gestión de proyectos basados en la metodología *Last Planner*, que incorporan los componentes relevantes de la metodología, como la preparación del trabajo, planificación de *Lookahead* y

compromisos semanales (Alarcón & Calderón, 2003a; Choo et al., 1998). La importancia de la incorporación de herramientas de TI para la gestión de proyectos a través de la metodología *Lean* radica en que éstos pueden facilitar la adopción de las siguientes prácticas (Choo et al., 1998):

- a) Gestión del conocimiento a través del registro sistemático de información y obtención de reportes.
- b) Entrega de información para extender el conocimiento del estado del proyecto en el equipo y plan de trabajo.
- c) Sincronización y alineación de los flujos de trabajo.
- d) Planificación y ejecución de tareas libres de restricciones.
- e) Detección, registro y análisis de causas de no cumplimiento y problemáticas.
- f) Gestión de los recursos necesarios para la ejecución del trabajo.

Algunos de los beneficios reportados de la incorporación de tecnologías de la información para el soporte de la implementación de *Last Planner*, son una mejora en los flujos de información y un mejor alineamiento entre la planificación, operación y control (Dave et al., 2014). Además, el uso de softwares basados en la metodología permite la estandarización y puesta en práctica de conceptos y componentes sin un aumento del esfuerzo requerido y sin la necesidad de un conocimiento profundo de la teoría detrás de los conceptos de *Lean* y *Last Planner* (Faloughi et al., 2014). Otro de los beneficios reportados es una mayor integración de los últimos planificadores al contar con sistemas simples de planificación, la obtención de programas claros y la utilización de herramientas de gestión visual que faciliten en el entendimiento de la información (Feliz et al., 2014).

También se han identificado mejoras en el desempeño de proyectos que utilizan sistemas computacionales para la estandarización y facilitación de la planificación y control (Alarcón et al., 2003). Un análisis de 100 proyectos de construcción chilenos, muestra que la incorporación de estos sistemas tiene un impacto positivo en el grado de adopción de la metodología y provoca un aumento en los indicadores de cumplimiento como el Porcentaje del Plan Completado (PPC) de los proyectos que los utilizan (Alarcón et al., 2005).

Sin embargo, se han identificado tres barreras para la adopción de sistemas computacionales para la implementación del sistema *Last Planner* (Alarcón et al., 2005; Choo & Tommelein, 2001):

- a) La centralización de la planificación y control en pocos actores de niveles altos de la organización
- b) La disponibilidad de tiempo de los equipos involucrados en la planificación y control
- c) La baja o nula utilización de la información para el análisis crítico y la mejora continua

A esto se suma, una implementación parcial de los componentes de la metodología (Dave et al., 2015), la cual es causante de la baja utilización de múltiples capacidades de los softwares de gestión de *Last Planner* (Cisterna, 2013).

1.2. Motivación

Uno de los múltiples softwares (Alarcón & Calderón, 2003a; Choo & Tommelein, 2001; Choo et al., 1998; Chua, Jun, & Hwee, 1999; Faloughi et al., 2014; Feliz et al., 2014; Sriprasert & Dawood, 2002) creados específicamente para la gestión de *Last Planner* es IMPERA, desarrollado en 2002 por el Centro de Excelencia en Gestión de la Producción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (GEPUC) (Alarcón & Calderón, 2003). Éste software ha sido utilizado en cientos de proyectos en países como Chile, Perú, Colombia y Costa Rica durante casi 15 años (Alarcón & Calderón, 2003a; Alarcón et al., 2005; Cisterna, 2013; Letelier, 2013). Las investigaciones llevadas a cabo por GEPUC señalan que su uso ha tenido impactos positivos, en la adopción y grado de implementación de la metodología, integración de los actores, disminución de la variabilidad del cumplimiento, aumento del PPC, aprendizaje de los equipos y transparencia de la información (Alarcón et al., 2003). Adicionalmente, los beneficios obtenidos en proyectos con el uso de sistemas TI han probado ser mayores y más rápidos que en implementaciones tradicionales (Alarcón et al., 2005). IMPERA es una herramienta que cuenta con más de 81 indicadores y reportes asociados a los distintos componentes de la metodología, como por ejemplo la

gestión de restricciones, cumplimiento de compromisos, cumplimiento de programa y valor ganado, entre otros (Cisterna, 2013). Sin embargo, existen componentes del software con bajo grado de utilización, debido principalmente a las siguientes problemáticas (Cisterna, 2013):

- a) Los usuarios sienten que IMPERA no agrega valor en las etapas finales del proyecto y, por lo tanto, dejan de usarlo pasado el 90% de avance.
- b) Los usuarios no registran algunos parámetros ya que utilizan otros softwares para aquello.
- c) Los usuarios no entienden o no ven el valor de ciertos módulos o la utilización de determinados reportes.
- d) Los usuarios no conocen cómo acceder a la información o cómo utilizarla.
- e) Los usuarios sienten que el esfuerzo de recopilar cierta información de terreno es mayor a los beneficios del registro y uso de dicha información.

De éstas, las últimas tres problemáticas tienen que ver exclusivamente con las características del registro y uso de la información en el software, por lo cual son abordables mediante cambios en la reportabilidad y método de recolección de datos. Por otra parte, se observa que los componentes que tienen mayor grado de utilización son aquellos que cumplen con tres características (Cisterna, 2013):

- a) Procedimiento sencillo para el ingreso de la información
- b) Utilización de la información en un reporte de fácil acceso
- c) Agrega valor al cliente, a través de un simple entendimiento de la información

Por ende, se identifica como oportunidad, el desarrollo de sistemas sencillos para la captación de información, que permitan la obtención de reportes de fácil acceso y entendimiento y permitan mejores análisis. Además, el uso de softwares de planificación y control *Last Planner*, como Impera, ha evidenciado un mayor grado de implementación de la metodología y resultados positivos en proyectos. Sin embargo las investigaciones de este tipo realizadas con el software Impera datan de hace más de 10 años, por lo que se identifica como oportunidad analizar el impacto que tiene en el registro y uso de la información, así como su impacto en la gestión y el desempeño de los proyectos.

Por otra parte, dado que existen componentes del software que no se utilizan, se identifica como oportunidad adicional el mejoramiento de sus sistemas de gestión de información con el fin de potenciar sus beneficios. La utilización de la información para desarrollar reportes útiles y simples, además de la incorporación de herramientas que faciliten el ingreso de datos y comunicación, pueden permitir mejorar el grado de uso del software, de la metodología y el impacto de su implementación en proyectos.

El desarrollo continuo de IMPERA por parte de Gestión de la Producción Asesorías (GEPRO), una empresa originaria de GEPUC, ofrece una oportunidad para incorporar módulos y reportes que permitan mejorar la gestión de la información, agregando valor en módulos poco utilizados para potenciar el uso del software y el grado de implementación metodológica. Además, la disponibilidad de un software más completo, permitirá mejorar el acceso y uso de la información en el análisis para la mejora continua.

Finalmente, IMPERA es una plataforma utilizada actualmente por más de 70 proyectos en Chile y America Latina, pertenecientes a más de 15 empresas de los rubros de construcción, minería, industrial e ingeniería. Por ende, las contribuciones realizadas a los sistemas de gestión de información de la plataforma, representarán un beneficio para múltiples proyectos, pudiendo contribuir así a la adopción de la metodología *Last Planner* y su grado de implementación.

1.3. Diseño de la investigación

Esta investigación surge de la problemática que produce la implementación dispar de los componentes de la metodología *Last Planner* y la necesidad de generar estructuras de soporte que faciliten la adopción de componentes como la gestión de restricciones, causas de no cumplimiento y acciones correctivas. Para ello se busca explotar la oportunidad que presenta el uso de tecnologías de la información para el soporte de la implementación de *Last Planner*, dados los impactos positivos que éstas tienen en la gestión de información. Por ende, las preguntas de investigación, objetivos e hipótesis apuntan a identificar los impactos del uso de éstas tecnologías,

desarrollar elementos que permitan potenciar dichos beneficios y estudiar cuantitativamente los impactos que éstos generen en proyectos reales.

1.3.1. Definición del problema

Si bien la implementación del sistema *Last Planner* ha mostrado resultados positivos en múltiples proyectos (Ballard & Howell, 2003), existen algunos componentes base de la metodología con grados incompletos de adopción e implementación (Castillo et al., 2015). Algunas de las principales barreras para mejorar la implementación de dichos componentes son la disponibilidad de tiempo, foco en el corto plazo, conocimiento y bajo entendimiento del valor agregado de su uso para la mejora continua (Alarcón & Calderón, 2003a). Además, existen barreras organizacionales, asociadas a la visión centralizada de la planificación y control, que representan una problemática para la integración efectiva de los últimos planificadores en la gestión de *Last Planner* (Choo & Tommelein, 2001).

Por ende, los desafíos actuales para la implementación del sistema son:

- a) Alcanzar una mayor y más amplia implementación (Daniel et al., 2015)
- b) Sistematizar la gestión de los compromisos y de la información (Dave et al., 2014)
- c) Vincular los diferentes componentes de la metodología y los horizontes de planificación (Dave et al., 2015)
- d) Permitir el análisis sistemático de la información y problemas para la mejora continua (Salvatierra et al., 2015)

Existe evidencia de que la implementación de herramientas TI para la estandarización y facilitación de *Last Planner* tiene impactos positivos en el grado de implementación de la metodología, la gestión de la información y el desempeño de los proyectos (Alarcón et al., 2005). Sin embargo, todavía existe margen para una adopción más completa de dichas herramientas (Alarcón & Calderón, 2003a). En particular, existen componentes de Impera con un bajo grado de utilización, debido principalmente a que los usuarios consideran que tiempo invertido en la recolección de datos es alto y que la información entregada no les agrega valor (Cisterna, 2013).

Por último, existe información que es registrada por los sistemas TI, pero que no es utilizada para la mejora continua (Alarcón et al., 2005; Cisterna, 2013) e información útil que no se registra o no se presenta de una forma que facilite su gestión (Cisterna, 2013).

En consecuencia, se identifican tres problemáticas que serán abordadas en ésta investigación:

- a) Implementación incompleta de componentes fundamentales de la metodología
- b) Uso incompleto de la información generada a través del uso de la metodología
- c) Dificultades para una implementación más completa debido a la disponibilidad de tiempo y centralización

Existe evidencia de que algunos de los componentes clave tienen grados de adopción e implementación bajos. Además, algunos componentes de los sistemas TI, como Impera, son poco utilizados. Por ende, existe margen para la mejora en la implementación de la metodología, el cual puede aprovecharse a través de mejoras en la plataforma Impera, para mejorar la gestión de información de los componentes del sistema *Last Planner*.

Además, existe información que no se registra o bien no se utiliza para la gestión del conocimiento y mejora continua. Por ende, existen dos oportunidades asociadas a esta problemática: La inclusión de mejoras que faciliten la recopilación de información y el desarrollo de herramientas de reportes que permitan mejorar la gestión y análisis de la información registrada.

Una de las principales barreras para una implementación más completa es el tiempo asociado a la recolección, análisis y uso de la información. Por lo tanto, aprovechar las ventajas de los sistemas TI para la gestión y visualización de la información puede permitir un mayor grado de implementación, sin un mayor consumo del tiempo escaso de los usuarios. Además, la inclusión de herramientas que permitan la gestión en terreno y que faciliten la comunicación permitirá descentralizar la planificación y control y aumentar el involucramiento de los últimos planificadores en la gestión sistemática.

1.3.2. Preguntas de investigación

- I. ¿Cómo impacta la utilización de sistemas de tecnologías de la información en el registro y análisis de la información de *Last Planner*?
- II. ¿Qué mejoras pueden realizarse en el sistema IMPERA para potenciar la gestión de la información de *Last Planner*?
- III. ¿Cómo impacta la implementación de herramientas de gestión de la información en el desempeño y la gestión de proyectos de *Last Planner*?

1.3.3. Objetivos de la investigación

Objetivo general:

Esta investigación tiene como objetivo general el desarrollo de herramientas de gestión de la información que permitan capturar la información de terreno y ponerla a disposición a través de reportes para mejorar la gestión de la información y el desempeño de proyectos utilizando el Sistema *Last Planner*.

Objetivos específicos:

- I. Identificar los impactos cuantitativos de la implementación de sistemas de tecnologías de la información en el registro y uso de la información de *Last Planner*.
- II. Desarrollar herramientas de tecnologías de la información para mejorar la gestión de la información de *Last Planner*.
- III. Determinar los impactos de la implementación de las herramientas de gestión de la información de *Last Planner* en la gestión y desempeño de un caso de estudio.

1.3.4. Hipótesis

- I. El uso de tecnologías de la información para el soporte del sistema *Last Planner* aumenta el registro y uso de la información generada por la metodología.

- II. La incorporación de tecnologías de gestión de la información mejora el grado de implementación del sistema *Last Planner* y el desempeño de los proyectos.

1.3.5. Resultados, alcance y limitaciones de la investigación

Las proposiciones y contribuciones realizadas en esta investigación han sido planteadas para proyectos de construcción que utilicen plataformas computacionales para el soporte de la metodología *Last Planner*. Las herramientas desarrolladas, han sido integradas a la plataforma IMPERA, por lo cual su aplicación está ligada exclusivamente a proyectos que utilicen dicha plataforma. Sin embargo, las contribuciones realizadas en la forma de reportes, análisis de la gestión de información y recomendaciones son extensibles a otras plataformas y tipos de proyectos.

Alcance:

- a) Análisis comparativo de la gestión de información de restricciones, de causas de no cumplimiento y acciones correctivas, en proyectos de construcción chilenos con sistemas tradicionales de soporte de la implementación de *Last Planner* y con la utilización del sistema IMPERA para el soporte de *Last Planner*.
- b) Desarrollo de herramientas computacionales para la gestión de la información de *Last Planner*, integradas exclusivamente a la plataforma IMPERA y disponibles para plataformas Android y navegadores web.
- c) Análisis de la implementación, resultados e impactos de la incorporación de las herramientas desarrolladas en un caso de estudio, durante 7 meses, consistente en un proyecto de montaje industrial electromecánico para una planta de tratamiento de aguas servidas ubicada en la Región Metropolitana de Chile.

Resultados:

- a) Análisis crítico del impacto del uso de sistemas de tecnologías de la información en la gestión de la información de *Last Planner*.
- b) Herramientas para la gestión de la información de *Last Planner*, que incluyen un módulo de reportes y un módulo de gestión en terreno y captura de información.

Limitaciones:

- a) El análisis del registro y uso de la información del sistema *Last Planner* se limita exclusivamente a los componentes: restricciones, causas de no cumplimiento y acciones correctivas, exclusivamente en 34 proyectos de construcción chilenos, en los cuales se realizó una implementación de la metodología *Last Planner* por parte de un grupo de 5 consultores de proyectos de la empresa GEPRO entre 2014 y 2016.
- b) El análisis comparativo del registro y uso de la información se limita a la comparación entre el uso de herramientas tradicionales y de la plataforma IMPERA.
- c) La muestra sobre la cual se realizó el análisis de los resultados e impactos de la implementación de las herramientas desarrolladas corresponde exclusivamente a un único caso de estudio, por lo cual las conclusiones y generalizaciones se limitan al caso particular y la validación estadística de las tendencias y mejoras evidenciadas en el mismo. Por esta razón, la investigación no pretende extender dichas conclusiones y generalizaciones a múltiples proyectos o una población general.

1.4. Glosario de términos

- a) LPS: Sistema del Último Planificador o *Last Planner System*
- b) PM: Plan Maestro
- c) PI: Plan Intermedio o *Lookahead Plan*
- d) PCP: Plan de Corto Plazo
- e) PPC: Porcentaje del Plan Completado o *Plan Percent Complete*
- f) PWC: Porcentaje de Trabajo Completado o *Percent Work Completed*
- g) PCR: Porcentaje de Cumplimiento de Restricciones o *Percent of Constraints Removed*
- h) ILR: Índice de Liberación de Restricciones
- i) SPI: Índice de Desempeño de Programa o *Schedule Performance Index*
- j) DP: Desviación de Programa
- k) KPI: Indicador de Desempeño o *Key Performance Index*
- l) TMR: Tareas Preparadas o *Tasks Made-Ready*
- m) TA: Tareas Anticipadas o *Tasks Anticipated*
- n) TOP: Tareas en Plan o *Tasks on Plan*
- o) CNP: Tareas no Planificadas o *Tasks Completed Not on Plan*
- p) ITE: Inventario de Trabajo Ejecutable
- q) CNC: Causa de no Cumplimiento
- r) TI: Tecnologías de la Información
- s) WCS: *Windows Communication Service*
- t) ERP: *Enterprise Resource Planning*
- u) PBP: Mejores Prácticas de Planificación o *Planning Best Practices*
- v) GEPUC: Centro de Excelencia en Gestión de la Producción UC
- w) GEPRO: Gestión de la Producción Asesorías SpA.
- x) IGLC: *International Group of Lean Construction*

2. METODOLOGÍA

2.1. Diseño de la investigación

Esta investigación se compone de 5 etapas. La primera de éstas permitió establecer el marco teórico y profundizar en la investigación del estado del arte y la práctica del sistema *Last Planner*. Posteriormente, se analizó el estado de la práctica, profundizando en específico en la gestión de la información en proyectos. Durante dicha etapa se identificaron y analizaron los beneficios de las tecnologías de la información para el soporte del sistema.

Una vez identificados dichos beneficios se desarrollaron herramientas de gestión para potenciar los beneficios del uso de sistemas de TI de soporte. Esta etapa consistió de dos partes: el desarrollo de reportes que faciliten el análisis de la información y el desarrollo de un módulo que permita capturar más información y de forma más fácil. Los beneficios de las herramientas desarrolladas en la etapa III fueron corroborados y validados en la etapa IV, a través de un análisis de caso estudio. Finalmente, la etapa V consistió en un análisis global de los resultados y la elaboración de conclusiones en base a éstos.

2.1.1. Etapas de la investigación

A continuación, la figura 2.1 presenta el diseño de la investigación, sus etapas y la vinculación con las preguntas de investigación, objetivos e hipótesis. Posteriormente, se describe cada una de las secciones y actividades realizadas de acuerdo a la metodología.

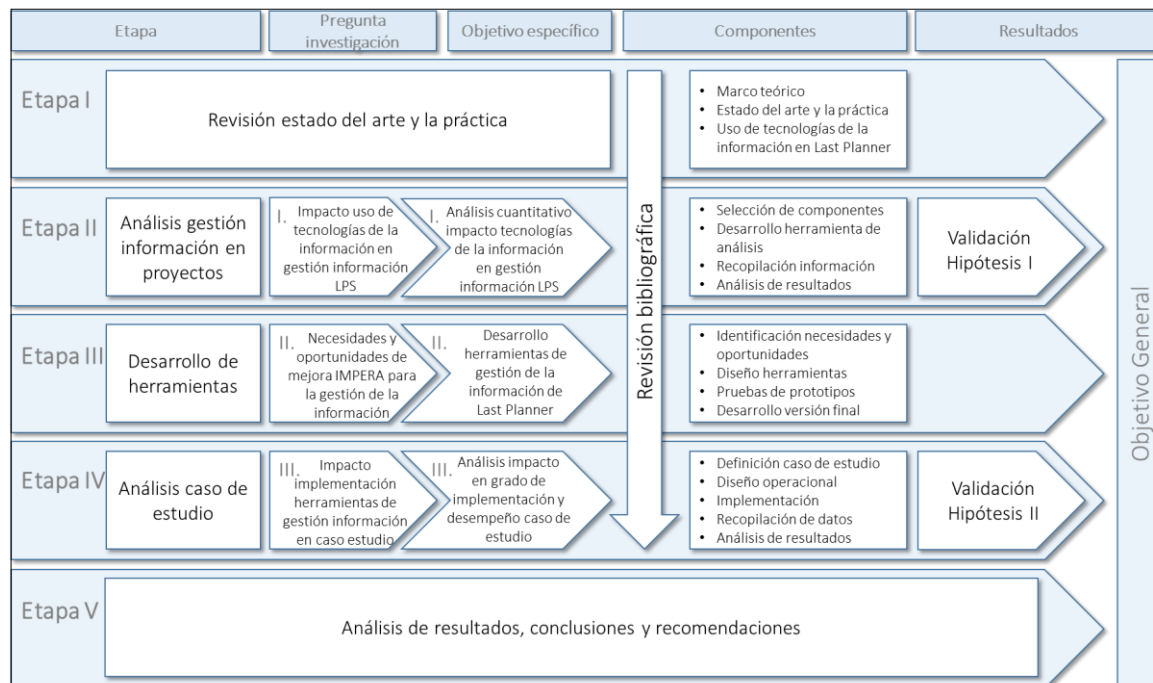


Figura 2.1: Etapas de la investigación

2.1.2. Fuentes de información

Revisión bibliográfica

La investigación se complementa con revisión bibliográfica de fuentes del estado del arte y la práctica, referentes a la metodología *Lean*, *Last Planner*, casos de estudio y medición del grado de adopción de la metodología. La revisión bibliográfica se realiza principalmente en la etapa I de la investigación y también se complementa con la revisión de fuentes adicionales en las etapas II a IV.

Criterios de expertos, usuarios avanzados e intermedios

Esta investigación integra el uso del criterio de expertos y usuarios, los cuales fueron entrevistados en diversas etapas de la investigación. También se realizaron sesiones de trabajo con paneles conformados por expertos y usuarios en la etapa de análisis del registro y uso de la información, así como las etapas de desarrollo de las herramientas. Además, durante la implementación de las herramientas en el caso de

estudio y el análisis de resultados, se llevaron a cabo visitas, entrevistas y sesiones de trabajo con usuarios y últimos planificadores.

Con este fin, se definieron 3 grupos, correspondientes a un panel de expertos, un panel de usuarios avanzados y un panel de usuarios intermedios. A continuación se describe cada uno de éstos:

- a) Panel de expertos: Este panel se conformó con 5 expertos en el uso de la metodología, implementación, investigación, consultoría y academia, con entre 10 y 30 años de experiencia, cuyas características se describen en el anexo A.
- b) Panel de usuarios avanzados: Este panel se conformó con 5 consultores de proyectos de GEPRO, encargados de la implementación del sistema *Last Planner*, consultoría, asesoría, seguimiento y evaluación, con entre 2 y 6 años de experiencia, en más de 10 empresas y 30 proyectos en conjunto, cuyas características se describen en el anexo A.
- c) Panel de usuarios intermedios: Este panel se conformó con 5 profesionales de 3 empresas constructoras, con entre 5 y 10 años de experiencia técnica y experiencia en el uso del sistema *Last Planner* y el software de planificación y control de proyectos IMPERA. Las características de quienes conforman el panel están disponibles en el anexo A.

Métricas de evaluación del registro y uso de información

Con la ayuda del criterio de expertos y usuarios avanzados de la metodología, se desarrollaron dos métricas para la evaluación del registro y uso de la información de la metodología *Last Planner*, referentes a componentes específicos escogidos para la investigación. Éstas métricas fueron utilizadas para evaluar 34 proyectos que utilizaban sistemas de tecnologías de la información y tradicionales para el soporte de la metodología *Last Planner*, con el fin de determinar diferencias en el registro y uso de la información causadas por el uso de sistemas computacionales, información no registrada e información cuyo uso puede ser mejorado para potenciar el análisis y la gestión de información para la mejora continua.

Plataforma y base de datos de IMPERA

El software IMPERA, sus componentes y base de datos fueron utilizados para el análisis de las características del sistema, la determinación de oportunidades de mejora y la definición de los requerimientos para el desarrollo de las herramientas TI. Además, la base de datos de proyectos fue utilizada para el análisis de indicadores del caso de estudio, el análisis de los reportes existentes y de la información registrada por el sistema.

Caso de estudio

Para el análisis de los resultados de la implementación de las herramientas y de sus impactos, se utilizó un caso de estudio consistente en un proyecto de montaje electromecánico, ubicado en la Región Metropolitana de Chile, en el cual se realizó la implementación y el posterior seguimiento de indicadores durante 6 meses. Para ello, se accedió a la base de datos de indicadores del proyecto, disponible en IMPERA, se realizaron visitas a terreno y entrevistas con usuarios y últimos planificadores.

Caso base comparativo

Para comparar la gestión de restricciones del caso de estudio se recurrió a la información de la gestión de restricciones de un proyecto de características similares, del cual se disponía la información de 6 meses de seguimiento. Se accedió a la información a través de la plataforma Impera y se descargó la información de su base de datos para la elaboración de indicadores particulares para la investigación.

2.2. Etapa I: Revisión bibliográfica

La figura 2.2 muestra la subdivisión de la revisión bibliográfica y las principales fuentes utilizadas en cada una de las sub-etapas. Cada sub-sección del análisis de la literatura existente permitió la elaboración de una parte del marco teórico de esta

tésis. Por ende, al término de la etapa I, se obtuvo el marco teórico de la investigación.

Etapa I		
Revisión del estado del arte y la práctica		
Sub-Etapa	Fuentes información	Resultados
Problemáticas del enfoque tradicional	Revisión bibliográfica: (Tavistock Institute, 1966; Howell, Laufer, & Ballard, 1993; Ballard, 1994; Ballard & Howell, 1998; Koskela, 1999; Ballard, 2000b; Koskela, Ballard, Howell, & Tommelein, 2002; Ballard & Howell, 2003; Johansen & Porter, 2003; Díaz, 2007; Sabbatino, 2011; A. M. González, 2012; M. Á. González, 2012)	
Lean Production y Lean Construction	Revisión bibliográfica: (Koskela, 1992; Ballard, 1994; Koskela, 1994; Koskela, 1999; Ballard, 2000b; Koskela, 2000; Howell & Koskela, 2000; Koskela et al., 2002; Womack & Jones, 2003; Letelier, 2013)	
El sistema Last Planner	Revisión bibliográfica: (Koskela, 1992; Ballard, 1994; Ballard, 1997; Ballard & Howell, 1998; Ballard, 2000b; Jang & Kim, 2007; Sabbatino, 2011; Cisterna, 2013; Letelier, 2013; Alarcón et al., 2014)	
Estado del arte	Revisión bibliográfica: (Jang & Kim, 1998; Ballard, 2000a; Ballard & Howell, 2003; Jang & Kim, 2007; Knapp, Charron, & Howell, 2007; España et al., 2012; (Hamzeh, Ballard, & Tommelein, 2012; Hamzeh & Aridi, 2013; Priven & Sacks, 2013; Alarcón et al., 2014; Castillo et al., 2015)	
Estado de la práctica	Revisión bibliográfica: (Soares et al., 2002; Alarcón & Calderón, 2003; Alarcón et al., 2005; Viana et al., 2010; López, 2013; Priven & Sacks, 2013; Daniel et al., 2015; Dave et al., 2015; Salvatierra et al., 2015)	
Uso de tecnologías de la información en gestión	Revisión bibliográfica: (Howell & Ballard, 1996; Ballard, 2000b; Choo & Tommelein, 2001; Alarcón & Calderón, 2003; Alarcón et al., 2005; Navon & Sacks, 2007; Dave, Boddy, & Koskela, 2010; Dave et al., 2011; Cisterna, 2013; Letelier, 2013; Dave et al., 2014; Falougui et al., 2014)	Marco Teórico

Figura 2.2. Metodología de la Etapa I

2.2.1. Problemáticas del enfoque tradicional de gestión de proyectos

La revisión bibliográfica comenzó con un análisis de las bases de la metodología *Lean*, para lo cual, en primer lugar se definieron las problemáticas del enfoque tradicional de la gestión de proyectos, en base a las investigaciones y aportes realizados principalmente por Ballard, Howell y Koskela, quienes describen las problemáticas de los proyectos y del enfoque tradicional en sus artículos publicados entre 1993 y 2003. Adicionalmente, fueron citados otros autores por sus aportes en la definición de problemáticas específicas.

2.2.2. Lean Production y Lean Construction

En esta sección se consultó la literatura en la cual se establecieron las bases de *Lean Production* y *Lean Construction*. Por ende, se abordan los principios *Lean*, las prácticas principales de *Lean Production* y *Lean Construction*, así como los factores clave para su implementación. Los principales autores citados en esta sección corresponden a Womack & Jones, Ballard, Howell y Koskela, entre otros.

2.2.3. El sistema Last Planner

En esta sección se analizan las bases de la metodología *Last Planner*. Por ende, se aborda la concepción de la planificación según el sistema *Last Planner*, el concepto del último planificador, las etapas de la planificación *Last Planner* y los principales indicadores de la metodología. Para ello, se recurre como autores principales a Koskela, Ballard y Howell, entre otros.

2.2.4. Estado del arte del sistema Last Planner

En esta sección se abordan las principales contribuciones realizadas al estado del arte del sistema *Last Planner* desde su concepción. Por ende, se revisa la incorporación de la planificación de fases como parte fundamental de la metodología, la incorporación de nuevos indicadores al sistema y el análisis realizado por diversos autores sobre la correlación de los indicadores de la metodología, su relación con el desempeño de proyectos y prácticas de gestión. Algunos de los autores citados en esta sección corresponden a Jang & Kim, Alarcón, Ballard, España, Priven & Sacks y Castillo, entre otros.

2.2.5. Estado de la práctica del sistema Last Planner

En esta sección se revisa el estado de implementación de la metodología *Last Planner*, con un foco principal en Chile y Latinoamérica. Para ello, se revisan las prácticas comunmente aplicadas, las principales problemáticas para la adopción de la

metodología y el grado de implementación de sus principales componentes. Por ende, se cita a 9 autores, quienes realizaron investigaciones relacionadas al grado de implementación del sistema entre 2002 y 2015 y entre los cuales cabe mencionar a: Alarcón, Salvatierra, Daniel y Dave, entre otros.

2.2.6. Uso de tecnologías de la información para el soporte de Last Planner

En esta sección se revisan los beneficios de la utilización de sistemas de tecnologías de la información para el soporte de la metodología *Last Planner*, las principales barreras para su adopción, los desarrollos y productos existentes, casos de estudio de su formulación e implementación, así como las problemáticas existentes para una mayor adopción. Para ello, se realizó una recopilación de autores como Ballard, Choo & Tommelein, Alarcón, Dave y Faloughi, entre otros.

2.3. Etapa II: análisis de la gestión de la información en proyectos de Last Planner

A continuación, en la figura 2.3 se presenta la metodología utilizada en la etapa II para el análisis de la gestión de la información en proyectos de *Last Planner*. Esta etapa tiene por objeto analizar cuantitativamente el impacto de la implementación de sistemas de tecnologías de la información en el registro y uso de la información de *Last Planner*, el cual corresponde al objetivo I de ésta investigación. Una vez determinado el impacto y habiéndose cuantificado los beneficios del uso de herramientas de tecnologías de la información para el soporte de la metodología, podrá darse respuesta a la primera pregunta de investigación. Finalmente, si los beneficios son significativos y la mejora en la gestión de la información es estadísticamente relevante, podrá validarse la primera hipótesis de la investigación.

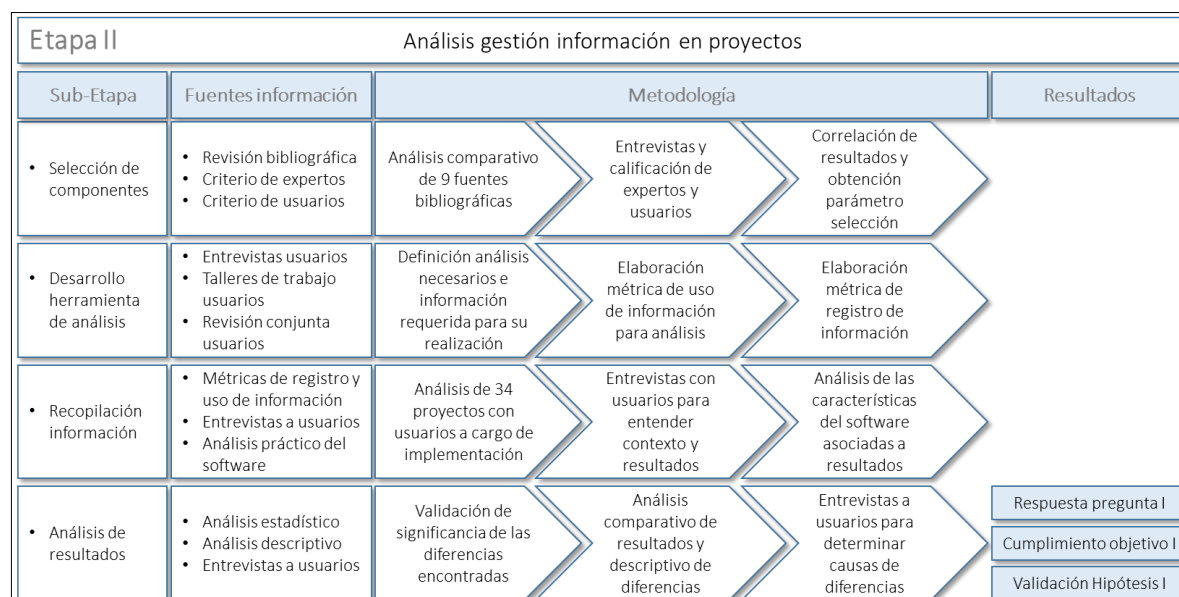


Figura 2.3. Metodología de la etapa II

2.3.1. Selección de componentes

Los componentes a ser abarcados en la investigación se escogieron utilizando como criterio de selección su grado de implementación. Para ello, se desarrolló una calificación de cada componente, basado en la literatura, criterio de expertos y criterio de usuarios de la metodología. La literatura permitió identificar componentes que históricamente han tenido un bajo nivel de implementación en el mundo; el criterio de expertos permitió incluir la experiencia del estado del arte en Chile y América Latina; además, el criterio de usuarios permitió incluir una calificación basada en el estado de la práctica de proyectos chilenos, que corresponden al alcance de esta investigación.

La calificación en base a la revisión de literatura se obtuvo mediante el análisis de 9 investigaciones publicadas entre 2002 y 2015, en las cuales se analizó el grado de implementación de los distintos componentes de la metodología *Last Planner* en proyectos de construcción. Estas investigaciones incluyen casos de estudio de Chile, Brasil, Inglaterra, Finlandia e Israel, además de una investigación realizada en 2015, que analiza 42 publicaciones del *International Group of Lean Construction* (IGLC),

referentes a la implementación del sistema *Last Planner* (Alarcón & Calderón, 2003a; Alarcón et al., 2005; Daniel et al., 2015; Dave et al., 2015; López, 2013; Priven & Sacks, 2013; Salvatierra et al., 2015; Soares et al., 2002; Viana et al., 2010). Posteriormente, se elaboró una matriz con los resultados de cada investigación, obteniéndose un grado de implementación promedio para cada componente de *Last Planner*.

La calificación experta se obtuvo a través de encuestas realizadas a un panel compuesto por 5 expertos con entre 10 y 30 años de experiencia en la implementación de la metodología, asesorías, investigación y academia. Las características de la composición del panel experto se encuentran en el anexo A.

Se le solicitó a cada miembro del panel calificar cada uno de los componentes en una escala de Likert, con una escala de puntaje de cero a 3 puntos, con los siguientes niveles: Inexistente (0), bajo (1), medio (2), alto (3). Luego los resultados fueron promediados y divididos por el puntaje máximo posible (3), para obtener un grado de implementación porcentual para cada componente.

La calificación de usuarios se obtuvo a través de encuestas realizadas a un panel de usuarios avanzados compuesto por 5 profesionales con entre 2 y 6 años de experiencia en la implementación y uso de la metodología. Las características de la composición del panel de usuarios avanzados se encuentran en el anexo A. El panel de usuarios calificó cada componente utilizando la misma escala que el panel de expertos y los resultados de su calificación se calcularon de la misma forma.

Una vez obtenidos los resultados de las 3 fuentes, se realizó un análisis de correlación entre pares de fuentes, a través del Coeficiente estadístico de Pearson (R). Los resultados del análisis estadístico permitieron validar que las respuestas fueron consistentes con la información existente. Finalmente, se obtuvo un promedio simple de los resultados de las 3 fuentes y se seleccionaron los 5 componentes con menor puntaje, los cuales se presentaron a ambos paneles, para elegir 3 componentes a abordar en la investigación. Finalmente, los componentes escogidos fueron: Restricciones, Causas de no Cumplimiento y Acciones Correctivas.

2.3.2. Desarrollo herramientas de análisis

En primer lugar, se realizaron entrevistas abiertas con 10 usuarios de la metodología para identificar análisis realizados y deseados, referentes a los componentes: Gestión de restricciones, Causas de no Cumplimiento (CNCs) y Acciones Correctivas. Para ello, se le pidió a cada usuario que explicara al menos 5 análisis realizados, clasificándolos por componente. Luego, la lista de análisis propuestos por cada componente fue revisada en conjunto con los usuarios, para determinar características comunes entre análisis de un mismo componente o entre análisis de componentes distintos. En base a las características comunes, se definieron 4 tipos de análisis estándar, los cuales se describen a continuación:

- a) Información histórica: Consolidado de la información existente a lo largo del proyecto para la determinación de problemáticas, impactos y oportunidades.
- b) Composición: División de la información de los componentes, en tipos o categorías que permitan determinar áreas de acción y tipos de problemáticas específicos.
- c) Cumplimiento de parámetros: Análisis de indicadores específicos que permitan identificar problemáticas, estado de cumplimiento y la necesidad de la toma de acciones específicas para la mejora continua.
- d) Evolución del componente: Análisis de la evolución de la aparición de restricciones, causas de no cumplimiento y toma de acciones correctivas, así como la evolución de sus indicadores de cumplimiento y gestión.

Luego, se les solicitó a los usuarios confeccionar una matriz en la que el eje X correspondiera al tipo de componente y el eje Y al tipo de análisis, para completar cada celda con los análisis específicos utilizados y considerados como necesarios. La matriz fue revisada numerosas veces, con el fin de unificar análisis similares y asegurar la suficiencia de los análisis específicos mencionados para cada componente y cada tipo. La figura 2.4 presenta un ejemplo de la matriz elaborada.

	Restricciones	Causas de no Cumplimiento	Acciones correctivas
Información histórica			
Composición			
Cumplimiento de parámetros			
Evolución del componente			

Figura 2.4. Matriz de clasificación de análisis específicos

La matriz final se compuso de 12 análisis específicos, 4 para cada componente. Luego, cada uno de los análisis fue descrito en conjunto con los usuarios, hasta tener una definición comúnmente aceptada del análisis específico. Finalmente se utilizó la matriz definitiva y la descripción de los análisis para confeccionar un instrumento de medición del uso de información para el análisis, al cual se le denominó “métrica del uso de información”.

La métrica se compuso de un listado de análisis por componente, su descripción y un espacio para la evaluación de la calidad de la realización del análisis. La escala de evaluación utilizada se basó en la escala de la métrica *Planning Best Practices* (PBP) por su simplicidad (Bernardes & Formoso, 2002; Viana et al., 2010), por lo cual, cada análisis se evalúa de la siguiente forma: No se realiza (0 puntos), se realiza de forma incompleta o poco sistemática (0,5 puntos), se realiza de forma completa y sistemática (1 punto). La métrica completa se encuentra disponible en el anexo B. Finalmente, la métrica de uso de la información fue validada cualitativamente por un panel de 5 expertos y de forma cuantitativa a través del cálculo de la fiabilidad del instrumento, utilizando el coeficiente estadístico Alfa de Cronbach, calculado sobre una muestra de la evaluación de 34 proyectos (Hernández-Sampieri, Fernández-Collado, & Baptista-Lucio, 2006).

Una vez validada la métrica de uso de la información, se les solicitó a los 10 usuarios que establecieran los parámetros de información necesarios para la realización de cada uno de los 12 análisis específicos. Luego de consolidar las respuestas, con el fin de minimizar la cantidad de parámetros requeridos, se estableció una lista de 26

parámetros estrictamente necesarios para la elaboración de los 12 análisis que componen la métrica de uso de información.

Ésta lista se utilizó para confeccionar una métrica de evaluación del registro de información, compuesta por un listado de 10 parámetros de restricciones, 8 parámetros de causas de no cumplimiento y 8 de acciones correctivas, junto a su descripción y el espacio para la evaluación de la calidad del registro. El sistema de evaluación es equivalente al sistema utilizado en la métrica de uso de la información, con la siguiente escala: No se registra (0 puntos), se registra de forma incompleta o poco sistemática (0,5 puntos), se registra de forma completa y sistemática (1 punto). Al igual que en el caso anterior, la fiabilidad del instrumento se verificó a través del uso del coeficiente estadístico Alfa de Cronbach, calculado sobre los resultados de una muestra de 34 evaluaciones de proyectos. La métrica completa se encuentra disponible en el anexo C.

2.3.3. Recopilación de información

En primer lugar, se realizó un levantamiento de los proyectos en los cuales el panel de usuarios avanzados, compuesto por 5 consultores de proyectos de la empresa GEPRO, había participado en los últimos 2 años. Del total de 60 proyectos, se escogieron aquellos que cumplieran con las siguientes características:

- a) Proyectos de construcción
- b) Plazo de implementación mayor o igual a 3 meses
- c) Término del seguimiento posterior a enero de 2016 (Proyectos recientes)
- d) Implementación y seguimiento directo por parte del consultor encuestado
- e) Acceso a la información necesaria para la evaluación del registro y uso de la información

El levantamiento permitió determinar un total de 34 proyectos que cumplieran con las condiciones señaladas anteriormente, de los cuales, 17 utilizaban el sistema computacional IMPERA para el soporte de la implementación de *Last Planner* y los otros 17, mecanismos tradicionales de soporte como planillas Excel. Los proyectos pertenecientes al grupo con soporte de tecnologías de la información (TI) fueron

designados con los códigos I1 a I17 y los proyectos del grupo con soporte tradicional fueron designados con los códigos T1 a T17. El anexo D contiene la lista de los proyectos asociados a cada usuario.

Los 34 proyectos seleccionados, correspondían a obras de Edificación (21), Montaje Industrial (6), Obras Civiles y Construcción de Gran Envergadura (3) y Construcción en Faenas Mineras (CM). A continuación, la tabla 3.1 contiene la composición de los grupos y número de proyectos por tipo de faena.

Tabla 2.1: Composición de los proyectos analizados

Tipo de proyecto	Soporte tradicional	Soporte TI	Total
Edificación (E)	8	13	21
Montaje Industrial (MI)	6	0	6
Obras civiles y construcción de gran envergadura (OC)	1	2	3
Construcción en faenas mineras (CM)	2	2	4

Para asegurar que la información recopilada fuera representativa, cada proyecto fue evaluado por el consultor que estuvo directamente a cargo de la implementación y su seguimiento. Además, cada uno de los consultores, completó la métrica de evaluación del registro de información y luego la herramienta de análisis del uso de información, utilizando las descripciones y criterios estándar establecidos en la etapa anterior. Una vez recopilados los datos, se realizaron entrevistas con cada uno de los consultores para identificar las razones de la evaluación y motivos que pudieran explicar los resultados.

2.3.4. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos del análisis de los proyectos a través de cada métrica fueron separados en dos grupos, dependiendo del uso de sistemas tradicionales de soporte o del uso de sistemas TI para el soporte de la implementación metodológica. Luego, se

calculó el promedio de registro y de uso de información por componente para cada proyecto y el promedio global de registro y de uso de información para cada proyecto, obteniéndose así una matriz como la de la figura 2.5.

		Soporte TI						Soporte Tradicional					
		I1	I2	I3	I4	I5	I6	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Registro Información	Restricciones												
	Causas de no Cumplimiento												
	Acciones Correctivas												
Registro información promedio													
Uso información	Restricciones												
	Causas de no Cumplimiento												
	Acciones Correctivas												
Uso información promedio													

Figura 2.5. Sistema de recopilación de resultados de la gestión de información

Luego se realizó un test de normalidad de los datos obtenidos, para cada fila de la matriz, separada en los dos grupos. La normalidad fue analizada a través del test estadístico de Shapiro-Wilk, para muestras con menos de 50 datos, utilizando el software SPSS. El criterio de aceptación de la hipótesis de normalidad fue un nivel de confianza de 95%. Dado que 6 de las 8 filas no cumplieron con la condición de normalidad necesaria en ambos grupos, se decidió utilizar el test estadístico de U de Mann-Whitney para la comparación de muestras independientes. Este test se seleccionó dado que puede utilizarse para encontrar diferencias significativas en muestras no paramétricas (Hernández-Sampieri et al., 2006). La prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney permitió validar con un 95% de confiabilidad, la significancia estadística de las diferencias encontradas en el registro y uso de información global y por componente, entre ambos grupos.

Posteriormente, se calculó un promedio por grupo, por componente de cada grupo y para cada parámetro de cada componente. Esto permitió comparar las diferencias asociadas al uso de TI. Sin embargo, dado que el incremento porcentual no necesariamente es representativo del aumento, se decidió calcular un factor de incremento, correspondiente al promedio del grupo TI para un parámetro, análisis,

componente o métrica específica, sobre el promedio del grupo tradicional para ese mismo elemento. Por ejemplo, si el promedio del grupo TI para el registro de restricciones es un 75% y el promedio del grupo tradicional es de un 50%, el factor de incremento será igual a 1,5. En consecuencia, los datos fueron consolidados en una matriz como la de la figura 2.6.

		Promedio TI	Promedio Tradicional	Factor de incremento	Promedio TI	Promedio Tradicional	Factor de incremento
Registro Información	Restricciones	x	y	x/y	$X = \frac{\sum x}{N}$	$Y = \frac{\sum y}{N}$	$\frac{X}{Y}$
	Causas de no Cumplimiento						
	Acciones Correctivas						
Uso información	Restricciones						
	Causas de no Cumplimiento						
	Acciones Correctivas						

Figura 2.6. Sistema de consolidación de datos de la gestión de información

La matriz fue revisada con los 5 consultores en conjunto, para identificar tendencias y diferencias en los datos. Además, se identificó en qué aspectos hubo mayores y menores incrementos con el uso de sistemas TI. Posteriormente, a través de entrevistas individuales se identificaron las razones para el mayor o menor incremento en el registro y/o uso de información de componentes específicos. Finalmente, en una nueva sesión grupal, las razones encontradas fueron expuestas para identificar necesidades y oportunidades de contribución a las herramientas TI para mejorar el registro y uso de la información.

2.4. Etapa III: Desarrollo de herramienta de gestión de la información

A continuación se presenta, en la figura 2.7, la metodología utilizada para el desarrollo de la herramienta de gestión. Ésta sección se divide en el desarrollo de un módulo de reportes de gestión para el acceso a la información, el desarrollo de un módulo de captura y gestión de la información en terreno y finalmente una plataforma computacional, complementaria al software utilizado en la investigación, que integre ambos módulos. Previo al desarrollo de los módulos, se lleva a cabo un

análisis de las necesidades y oportunidades de mejora del software IMPERA, con lo cual se puede dar respuesta a la segunda pregunta de investigación, y al término del desarrollo se dará por cumplido el segundo objetivo específico de la investigación.

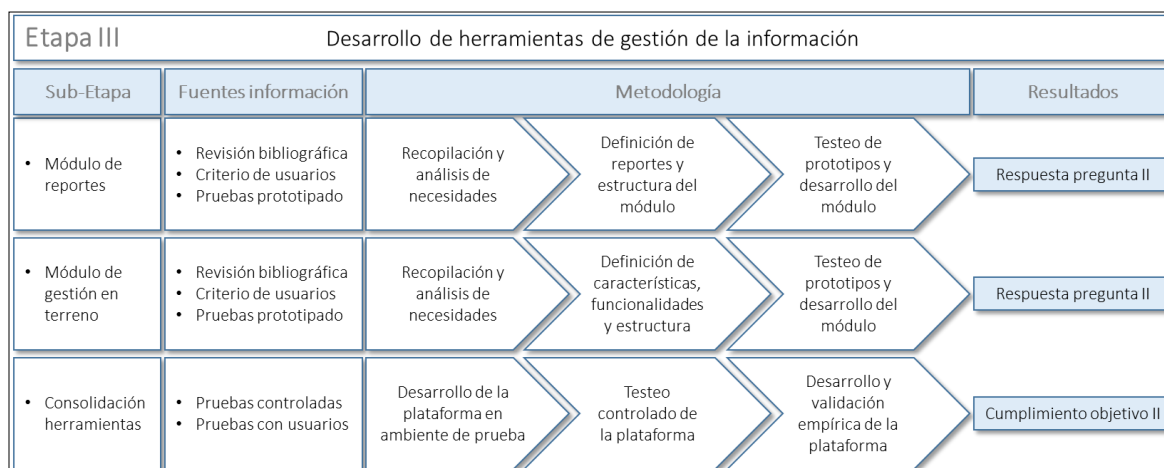


Figura 2.7. Metodología de la etapa III

2.4.1. Módulo de reportes

El desarrollo del módulo de reportes se dividió en tres partes: La recopilación y análisis de las necesidades de los usuarios del software IMPERA, la definición de los reportes y estructura del módulo y finalmente su desarrollo. Para ello, en primer lugar se realizaron entrevistas con un panel de 5 usuarios avanzados de la metodología, cuyas características se encuentran en el anexo A, a los cuales se les solicitó definir las características generales necesarias para que una plataforma de reportes facilite el análisis de la información. Para ello se realizaron mesas de trabajo y entrevistas no estructuradas. A través de éstas, se elaboró un listado de características generales priorizadas por importancia para el análisis.

Luego se entregó a los usuarios un cuestionario en el cual evaluar la satisfacción de dichas características por parte de los reportes existentes en el software para cada componente. El criterio de los usuarios fue además complementado con un análisis por parte del autor de los reportes existentes en el software. A través de este proceso

se pudo identificar qué características no estaban satisfechas por el software y cuáles sí cumplían con las necesidades de los usuarios. Con dicha información, se elaboró una definición del alcance y características generales del módulo de reportes, que fue presentada y aceptada por el panel de usuarios intermedios.

Una vez definidas las características generales del módulo, se le solicitó a los miembros del panel listar los reportes necesarios para realizar cada uno de los 4 tipos de análisis definidos en la etapa anterior (Información histórica, composición, cumplimiento de parámetros y evolución del componente), para cada uno de los tres componentes (Restricciones, Causas de no Cumplimiento y Acciones Correctivas). Las respuestas fueron unificadas y presentadas a los 5 usuarios en conjunto, quienes validaron cualitativamente la suficiencia de los reportes incorporados.

Para la validación del listado de reportes se utilizó el método Delphi (Dalkey, 1969), para lo cual se realizaron tres rondas de evaluación, discusión, revisión y edición del listado de reportes con el panel de usuarios avanzados. La evaluación de la suficiencia del listado de reportes se realizó utilizando el cuestionario presente en el anexo E, respondiendo cada pregunta de acuerdo a una escala de Likert. Cabe mencionar que durante el proceso de validación del listado de reportes, se determinó necesario incluir reportes del estado de avance del proyecto, cumplimiento de programa y cumplimiento de compromisos para complementar la información provista por los reportes de los otros tres componentes.

Una vez definido el listado de reportes, se confeccionó un prototipo visual, el cual fue revisado iterativamente con los usuarios para definir el orden de la información y características visuales. Finalmente una vez establecido el orden de los reportes y sus características, se desarrolló un prototipo funcional para establecer las funcionalidades y luego una versión definitiva del módulo.

2.4.2. Módulo de gestión en terreno

Para el establecimiento de las necesidades a satisfacer con el módulo de gestión en terreno, se realizaron visitas a obras, entrevistas con un panel de usuarios intermedios y a un panel de usuarios avanzados, cuyas características están disponibles en el

anexo A. A través de éstas, se establecieron las principales problemáticas para la gestión de la información en terreno y para la comunicación entre terreno y programación.

Posteriormente se realizó un taller de búsqueda de causas raíces con el panel de usuarios intermedios, a través del método de los 5 por qué (Ballard, 2000b). Las causas raíces identificadas también fueron presentadas y validadas por el panel de usuarios avanzados. Luego, utilizando como base las causas raíces, se determinaron las necesidades y oportunidades de mejora de la gestión y captura de información en terreno.

Con las necesidades y oportunidades de mejora se desarrolló una definición del alcance y características generales del módulo, la cual fue revisada iterativamente y validada de forma cualitativa por los miembros del panel de usuarios avanzados e intermedios, mediante el método de Delphi (Dalkey, 1969). En este caso, se utilizó un cuestionario de tres preguntas a evaluar en una escala de Likert, disponible en el anexo F.

Luego de definido el alcance del módulo y sus características, se procedió a establecer la estructura, para lo cual se utilizó el criterio del autor y de los paneles de usuarios, basado en el uso de aplicaciones móviles de similares características. Luego, se desarrollaron prototipos incrementales del módulo, los cuales fueron testeados en pruebas controladas, ejecutadas de forma iterativa con los usuarios intermedios, hasta obtener un prototipo completo del módulo. Al término de cada prueba incremental se buscó respuesta a dos preguntas: ¿Qué mejoras pueden hacerse a la funcionalidad del módulo? Y ¿Qué información relevante es importante mostrar, capturar o enviar? Una vez obtenido el prototipo completo, se desarrolló el módulo definitivo en una plataforma Android y se validó mediante pruebas de uso.

2.4.3. Consolidación de herramientas

Luego del desarrollo de los módulos definitivos de reportes (En plataforma Web) y de gestión en terreno (En plataformas Web y Android), se necesitó consolidarlas a través de un mecanismo de comunicación con el software utilizado en el estudio

(Plataforma Desktop). Para ello, se construyó un módulo de comunicación abstracto, basado en un servicio del tipo *Windows Communication Service* (WCS), el cual permitía cargar la información del software a la herramienta y viceversa. Además, el WCS permitió mantener conectadas de forma automática a la plataforma web con la información proveniente de la plataforma Android y viceversa.

2.5. Etapa IV: Análisis caso de estudio

Los objetivos de esta etapa son identificar los impactos de la implementación de la herramienta de gestión de la información en un proyecto y validar los efectos positivos de su utilización. Por ende, a través de la implementación, seguimiento y recopilación de datos de un caso de estudio, se dará respuesta a la tercera pregunta de investigación. El análisis de dichos datos permitirá dar cumplimiento al tercer objetivo de la investigación y la identificación de mejoras significativas en el proyecto, permitirá validar la segunda hipótesis. La figura 2.8 muestra la metodología de la etapa IV.

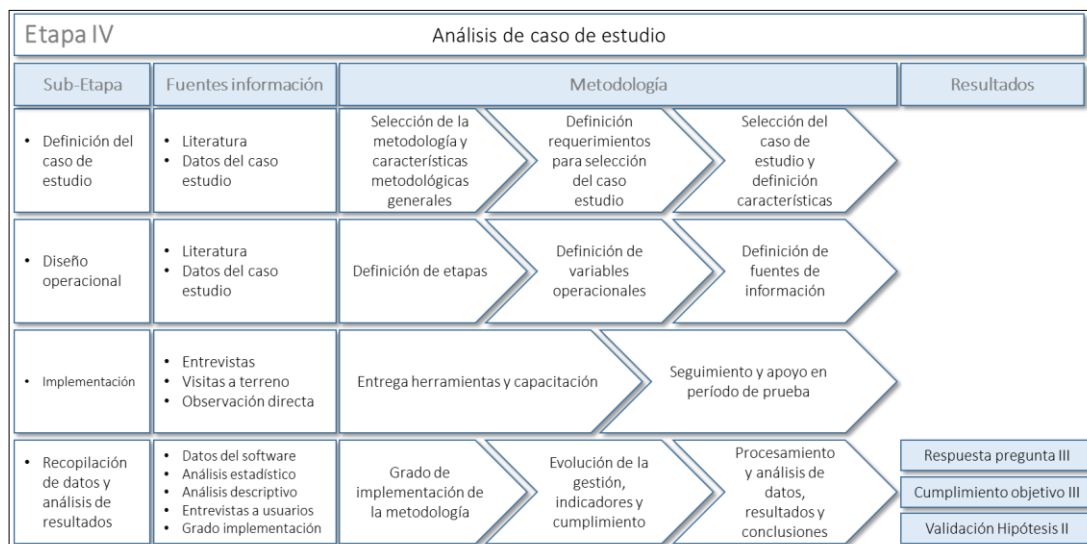


Figura 2.8. Metodología de la etapa IV

2.5.1. Definición del caso de estudio

La metodología de casos de estudio se utiliza cuando se tiene interés por el caso en sí mismo y el foco está puesto en las razones por las cuales se producen los resultados, por sobre el resultado específico (Yin, 2009). En particular, ésta es útil para responder preguntas de por qué y cómo, que permitan identificar razones de los resultados medidos y obtener conclusiones respecto al efecto de un fenómeno específico en un entorno natural, no controlado (Yin, 2009).

Además, el caso de estudio presenta utilidad dado el alcance de la investigación. Ésta, tiene por objeto la realización de un análisis exploratorio del efecto de la implementación de herramientas de gestión de información para el soporte de *Last Planner*, con un enfoque correlacional que permita concluir si la implementación de las herramientas causó un impacto positivo en el proyecto (Hernández-Sampieri et al., 2006). El análisis de información proveniente de múltiples fuentes y la triangulación de resultados en el caso estudio permiten abarcar tanto el alcance exploratorio como correlacional de la investigación (Yin, 2009).

Por otra parte, dado que el objetivo de esta etapa es determinar los efectos e impactos logrados a través de la implementación de las herramientas, resulta útil el uso de casos de estudio, ya que el objetivo de éstos es indagar y profundizar en aspectos particulares del caso (Yin, 2009), como son los efectos e impactos de la implementación de las herramientas.

No existen parámetros requeridos del tamaño de la muestra o cantidad de casos a utilizarse con la metodología de casos de estudio (Hernández-Sampieri et al., 2006), ya que la generalización a realizarse es sobre proposiciones teóricas y no la generalización estadística en base a poblaciones (Yin, 2009). Por este motivo, una investigación puede realizarse sobre uno o múltiples casos de estudio, con el objetivo de la generalización analítica. En este caso, la generalización analítica, basada en un profundo análisis de distintas fuentes de información y resultados del caso estudio permitirá la realización de proposiciones teóricas sobre los efectos e impactos de la implementación de las herramientas.

La investigación se realizará sobre un caso de estudio único. Como se pretende realizar un análisis de los impactos en un único caso, el diseño de la investigación corresponde al tipo longitudinal o evolutivo, dado que se controlará y analizará la evolución de indicadores y parámetros en el tiempo. La investigación longitudinal permite el análisis de tendencias, cuantificación de cambios en el tiempo, la realización de inferencias sobre sus determinantes y consecuencias (Hernández-Sampieri et al., 2006).

Así mismo, ésta corresponde a una investigación no experimental, dado que se produce en un entorno real, con la influencia de factores externos y no controlables por el investigador (Hernández-Sampieri et al., 2006). La razón fundamental de la elección de una investigación no experimental, es que se buscará observar los fenómenos en su entorno natural, para después analizarlos sin manipular deliberadamente las variables (Hernández-Sampieri et al., 2006).

Por otra parte, la investigación involucra la realización de análisis cuantitativos, como la medición de indicadores específicos de gestión y de desempeño del proyecto, y cualitativos, principalmente de apreciaciones, para la obtención de explicaciones de los resultados cuantitativos, a través de entrevistas. El alcance de la investigación será exploratorio, para la identificación de efectos en múltiples variables dependientes, y correlacional, para la validación estadística de tendencias significativas en los indicadores de control utilizados. Para ello, se utilizarán fuentes de control longitudinal y transversal. Las fuentes longitudinales permitirán validar estadísticamente tendencias significativas y las transversales, realizar un análisis comparativo de indicadores antes y después de la implementación.

El proyecto escogido como caso de estudio corresponde a un proyecto de montaje industrial electromecánico en la Región Metropolitana, con una duración de 10 meses y que había comenzado 2 meses antes de la implementación de las herramientas. Éste proyecto contaba previamente con el uso de la metodología *Last Planner*, de forma estandarizada a nivel empresarial por más de dos años y con conocimiento práctico de más de un año en el uso del software IMPERA para su soporte. Además, todos sus participantes habían trabajado previamente con la metodología y el software en otros proyectos.

El proyecto contaba con un equipo de 19 actores que asistían semanalmente a la reunión de planificación, 7 de los cuales eran últimos planificadores directos o de terreno y 12 últimos planificadores indirectos o de las áreas funcionales encargadas de la liberación de restricciones. Cabe destacar que los últimos planificadores directos correspondían a los superintendentes de cada área del proyecto. Por otra parte, los últimos planificadores indirectos correspondían a los jefes de las áreas funcionales como programación, calidad, seguridad y bodega.

Además, otra de las características relevantes del caso de estudio, es que las faenas se encontraban alejadas de las instalaciones de oficina y su ubicación geográfica generaba problemas de conectividad, por lo cual las condiciones serían útiles para comprobar los beneficios del uso de la aplicación móvil en la comunicación y gestión de información. Así mismo, la cantidad de actores de la reunión y cantidad de información que se genera semanalmente permiten analizar también el efecto y ventajas del aprovechamiento de las mejoras incorporadas al software a través de la herramienta.

Como parte de la información de carácter comparativo para el caso estudio, se realizó una recopilación de la información de la gestión de restricciones en una primera etapa del proyecto, consistente en el montaje de las obras civiles de la planta de tratamiento y denominada caso base. El caso base resulta ser una herramienta útil para comparar la gestión de restricciones dado que tenía características similares, un alto número de restricciones identificadas a lo largo de 8 meses de seguimiento y fue desarrollado por los mismos actores en las mismas condiciones que el caso de estudio. No obstante, se desestimó el uso de la información de cumplimiento de compromisos, cumplimiento de programa y causas de no cumplimiento del caso base, dado que sólo se contaba con información de 3 meses del proyecto de obras civiles y el seguimiento se realizó sobre un programa con un nivel de apertura más grueso, lo que implicaba un período de medición muy distinto para la realización del análisis comparativo y una desviación en los indicadores, provocada por el número de tareas controladas en el caso base.

2.5.2. Diseño operacional

El diseño operacional de la investigación del caso de estudio, consta de 3 etapas generales. En primer lugar, se realizó la capacitación en el uso de las herramientas, a través de capacitaciones técnicas, teóricas y prácticas. Además, durante dicha etapa se entregaron también manuales explicativos para facilitar la implementación de las herramientas y se realizó un seguimiento a través de visitas periódicas a terreno para controlar su uso.

Posteriormente, en febrero el proyecto comenzó con la utilización de las herramientas. Durante las primeras 4 semanas se realizó una implementación en instancias de prueba controladas y luego un período de 2 meses de marcha blanca. Durante esta etapa, los usuarios utilizaron la herramienta de forma semanal, pero sin un procedimiento formal establecido por la empresa. Además, a contar de febrero se comenzó la recopilación semanal de la información de restricciones, cumplimiento de compromisos y de programa, a través de visitas a terreno, entrevistas y de la captura de información mediante el uso semanal del software y la herramienta.

Una vez terminado el período de marcha blanca, la empresa instauró un procedimiento formal para el uso diario de la herramienta para la comunicación, captura de información y gestión en terreno. Además, el módulo de reportes fue utilizado de forma semanal para la reunión de planificación y el control sistemático del proyecto. Durante esta etapa también se recopiló información de visitas a terreno, entrevistas con usuarios y facilitadores, recopilación de indicadores y de la información disponible en los cierres semanales del software. Finalmente, entre agosto y septiembre se realizó el análisis de resultados. La figura 2.9 presenta un esquema de las etapas del caso estudio.

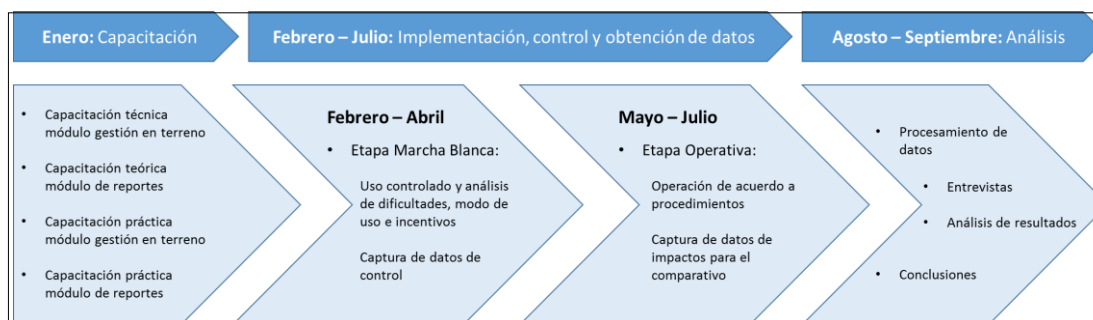


Figura 2.9. Etapas del caso de estudio

Además, se definieron las variables a ser analizadas, las medidas operacionales cuya información se recopiló durante la segunda etapa, las fuentes de información y los análisis a realizarse. A continuación, en la figura 2.10, se presenta el esquema del diseño operacional.

Aspecto	Variable	Medida operacional	Análisis	Fuentes
Gestión	Grado de implementación de la metodología	Métrica adherencia metodológica GEPRO (16 aspectos, 80 parámetros)	Comparativo inicial y final	Información de cierres semanales Indicadores de gestión Indicadores de desempeño Análisis estadísticos Entrevistas Visitas a terreno (Observación directa) Caso base comparativo de restricciones
	Gestión de restricciones	- Identificación de restricciones - Liberación de restricciones (PCR) - Liberación de restricciones (ILR) - Tiempo de gestión de restricciones	- Evolución entre primera y segunda mitad - Comparativo promedios - Comparativo variabilidad - Comparativo caso base	
	Gestión de compromisos de ejecución	Porcentaje de participación de tareas en plan de corto plazo	- Evolución entre primera y segunda mitad - Comparativo promedios - Comparativo variabilidad	
Desempeño	Cumplimiento del programa	- Cumplimiento de programa (SPI) - Desviación de programa	- Comparativo inicial y final - Evolución y tendencia - Correlación estadística R2	
	Cumplimiento de compromisos	Porcentaje de cumplimiento de compromisos (PPC)	- Comparativo inicial y final - Evolución y tendencia - Correlación estadística R2	
	Causas de no cumplimiento	- Cantidad total de CNCs por tipo - Impacto promedio de CNCs - Relevancia de CNCs	Comparativo entre primera y segunda mitad	

Figura 2.10. Diseño operacional del caso de estudio

2.5.3. Implementación

La implementación comenzó con capacitaciones técnicas del uso de las herramientas y explicativas de su composición durante el mes de Enero. Posteriormente, se realizó una implementación controlada en el mes de Febrero, en el cual se comenzó con la integración de los reportes a la reunión de *Last Planner*, luego la inclusión de sesiones controladas del uso del aplicativo de gestión en terreno, previas a la reunión, y finalmente, la inclusión de sesiones controladas de análisis de la información, utilizando el módulo de reportes. Las sesiones controladas se realizaron con frecuencia semanal durante todo el mes de Febrero, hasta verificar que los usuarios estuvieran familiarizados con el uso de las herramientas.

Luego, el período de dos meses ubicado entre Marzo y Abril de 2016, consistió en un período de marcha blanca. Durante esta etapa se realizó un seguimiento semanal a la información y un uso semanal de las herramientas. No obstante, en dicha etapa la empresa permitió a los usuarios y últimos planificadores decidir por sí solos cuándo acceder a las herramientas, cómo utilizarlas y con qué frecuencia. Además, se definió como objetivo fundamental de la etapa que la información se entregara a tiempo y que los participantes de las instancias de planificación y control llegaran preparados a través del análisis de los reportes. Durante la etapa de marcha blanca se realizaron visitas a terreno y entrevistas para entender cómo se llevó a cabo el uso de las herramientas y se recopilaron los datos de su uso diario y semanal, así como los indicadores del proyecto.

Luego del período de dos meses, la empresa recopiló suficiente información de la experiencia en el uso de las herramientas, para la elaboración de un procedimiento formal de uso de la herramienta. Por ende, el período comprendido entre Mayo y Julio de 2016 fue establecido como período de control de la operación completa de las herramientas, de acuerdo al procedimiento establecido por la empresa. El procedimiento incluyó la notificación diaria del estado de compromisos y la identificación semanal de restricciones. Durante esta etapa se controló que el procedimiento fuera seguido por los usuarios y se recopiló la información semanal del uso e indicadores del proyecto.

2.5.4. Recopilación de datos y análisis de resultados

Variables y análisis de gestión

a) Grado de implementación de la metodología:

El grado de implementación inicial de la metodología se midió al principio del estudio, una vez completado el proceso de implementación de la etapa I y luego de terminada la etapa II, durante la primera semana de Agosto. Para ello, se utilizó una métrica de evaluación del grado de implementación basada en la herramienta *Planning Best Practices* (PBP) (Bernardes & Formoso, 2002; Viana et al., 2010) y compuesta por 80 parámetros evaluados en una escala de Likert, que permiten evaluar la implementación de 16 componentes de *Last Planner*. Dicha métrica está disponible en el anexo G y ya ha sido utilizada previamente en la evaluación del grado de implementación de LPS de proyectos con y sin el uso de IMPERA (Lagos, Herrera, & Alarcón, 2017).

Las mediciones fueron realizadas por un equipo de consultores con conocimiento del proyecto y a través de visitas a terreno, auditorías a la gestión de *Last Planner* y entrevistas con los facilitadores de la metodología. El análisis de los resultados del grado de implementación se basa en un comparativo del promedio de implementación global, por componentes y por parámetros específicos que se vieron afectados por la implementación de las herramientas. Además, se complementó el análisis con entrevistas a los facilitadores para identificar las razones de la mejora en los resultados.

b) Gestión de restricciones:

Se realizó un análisis comparativo entre la fase inicial (Febrero a Abril) y final (Mayo a Julio) del caso de estudio. Se obtuvo un promedio de la identificación semanal de restricciones para el primer período y para el segundo, los cuales fueron comparados para identificar diferencias. Además, se compararon los plazos asociados a la gestión de restricciones en el período inicial y final. Éste mismo proceso fue realizado también para evaluar la liberación de restricciones. Por otra parte, dado que existe un caso base con características similares, se compararon los datos de gestión de restricciones de dicho proyecto, con los del caso de estudio.

La identificación de restricciones se midió como el número de restricciones identificadas por semana. Se calculó el total de restricciones identificadas por el caso de estudio en el período ubicado entre Febrero y Abril y lo mismo para la mitad ubicada entre Mayo y Julio. Para ambas mitades se calculó el promedio, la desviación estándar y coeficiente de variabilidad. Además se graficó la evolución de la variabilidad del proyecto. Los resultados de la primera y segunda mitad fueron comparados para cuantificar la mejora en la identificación y también fueron comparados con los datos del caso base.

La liberación de restricciones se midió a través de dos indicadores: El Porcentaje de Cumplimiento de Restricciones (PCR), el cual mide el porcentaje de restricciones liberadas en la semana en la cual estaban comprometidas o en una fecha anterior, y el Índice de Liberación de Restricciones (ILR), que mide el porcentaje de restricciones liberadas en una fecha menor o igual a su fecha requerida. Ambos indicadores se midieron de forma semanal y sus resultados fueron agrupados en las dos mitades del período de control, obteniéndose un comparativo del promedio y variabilidad. Así mismo, se compararon ambos indicadores contra los datos del caso base.

Los tiempos de gestión de restricciones se midieron en base a la fecha de creación de restricciones, fecha comprometida de liberación, fecha requerida de liberación y fecha real de liberación. El tiempo de identificación se obtuvo como la diferencia entre la fecha requerida y fecha de creación. El tiempo de planificación corresponde a la diferencia entre la fecha comprometida y fecha de creación. Finalmente el tiempo de liberación es la diferencia entre la fecha real de liberación y la fecha de creación.

Este cálculo se realizó para cada restricción y luego se realizó el comparativo de los tiempos promedio de las restricciones de la primera y la segunda mitad. Al igual que en los indicadores anteriores, también se realizó un comparativo con el caso base.

c) Gestión de compromisos de ejecución:

Se registró y analizó el indicador Porcentaje de Participación de Compromisos. Éste se obtiene semanalmente utilizando el número de tareas comprometidas por período de corto plazo y el número de actividades planificadas para aquel corto plazo según el Plan Maestro. El indicador se obtiene como el porcentaje equivalente al número de

compromisos sobre el número de tareas planificadas. Por ende, permite medir la preparación del trabajo ejecutable. El indicador se midió de forma semanal y se analizó la evolución del mismo, la comparación de los promedios entre ambas mitades del proyecto y de su variabilidad, medida como la desviación estándar.

Variables y análisis de desempeño

a) Cumplimiento de programa:

El cumplimiento de programa se midió a través del indicador Índice de Desempeño de Programa (SPI o Schedule Performance Index). Este indicador fue medido semanalmente a lo largo del proyecto, para luego realizarse un análisis de su evolución a lo largo del período de medición. El análisis incluyó la comparación entre el SPI inicial y final, el análisis de la pendiente y el análisis de la aproximación de la recta a través del estadístico R^2 para verificar que la pendiente fuera representativa.

b) Desviación de programa:

Esta se midió como la diferencia entre el avance real y proyectado por la línea de base, sobre el avance proyectado por línea base. Por ende, corresponde al complemento del SPI y los análisis realizados sobre éste fueron equivalentes.

c) Cumplimiento de compromisos:

El cumplimiento de compromisos se midió a través del indicador Porcentaje del Plan Completado (PPC). Este indicador fue medido de forma semanal y se analizó su evolución en el tiempo. Para ello, se confeccionó una curva a lo largo del período completo de medición y se obtuvo la aproximación lineal de ésta, validándose mediante la prueba de R^2 para verificar que la pendiente fuera representativa. Adicionalmente se comparó el PPC promedio y su desviación entre la primera y segunda mitad de la etapa II, para medir los cambios en la variabilidad y porcentaje de cumplimiento.

d) Causas de no cumplimiento:

En primer lugar se establecieron tipos fijos de causas de no cumplimiento a ser registradas de forma semanal. Los tipos fueron luego clasificados en controlables por el proyecto y empresa o incontrolables por éstos. Dentro de las incontrolables se

incluyeron las fuentes externas, aspectos controlables por terceros ajenos al proyecto y la empresa o aspectos incontrolables como el clima.

Ambas fuentes fueron monitoreadas a lo largo del proyecto, comparándose la composición de las causas de no cumplimiento entre la primera y segunda mitad de la etapa II. Además, se comparó la cantidad de causas de no cumplimiento de los tipos controlables e incontrolables entre la primera y segunda mitad, la evolución de la cantidad de causas controlables entre ambas mitades, su impacto promedio y un factor de relevancia, obtenido de la multiplicación normalizada de cantidad por impacto.

Fuentes de información

- a) Información de cierres semanales: La información de *Last Planner* es registrada diariamente en la plataforma semanal y se consolida semanalmente, a través de cierres de planificación semanal, en los cuales se calcula el cumplimiento de la semana. Los cierres permiten el registro de indicadores en la base de datos, la cual fue consultada semanalmente para la obtención de la información requerida.
- b) Indicadores de gestión: Corresponden a indicadores calculados semanalmente por el software, que quedan registrados en la base de datos. La información histórica de estos indicadores fue analizada y procesada para elaborar curvas, gráficos de dispersión y otras herramientas de análisis, además de tablas que permitieran el análisis estadístico.
- c) Indicadores de desempeño: Corresponden a indicadores calculados semanalmente por el software, que quedan registrados en la base de datos. La información histórica de estos indicadores fue analizada y procesada para elaborar curvas, gráficos de dispersión y otras herramientas de análisis, además de tablas que permitieran el análisis estadístico.
- d) Análisis estadísticos: Se realizaron análisis de tendencia y de correlación, los cuales fueron validados a través del análisis de R2. Estos análisis sólo se utilizaron en indicadores de evolución, como por ejemplo la evolución del PPC, dado que en los análisis comparativos sólo se contó con dos puntos, inicial y

final, por lo cual no existía una muestra suficientemente válida para el análisis estadístico.

- e) Entrevistas: Se realizaron entrevistas, a lo largo del proyecto, a facilitadores y últimos planificadores para identificar efectos, tendencias y explicaciones de los resultados. Además, luego del análisis estadístico y comparativo de los resultados, se realizaron nuevas entrevistas para identificar las razones e impactos observados por parte del equipo del proyecto.
- f) Visitas a terreno: Para complementar la información obtenida de las entrevistas, se utilizaron visitas a terreno, con el fin de efectuar la observación directa del proceso de gestión de la información en terreno, instancias de análisis de información a través de los reportes y el uso de las herramientas en la preparación y realización de la reunión de *Last Planner*. Estas visitas se realizaron con una frecuencia mensual, a lo largo de la etapa II.
- g) Caso base comparativo: Se utilizó como fuente de comparación un caso base, correspondiente a la primera etapa del proyecto, en la cual se utilizó IMPERA y que fue ejecutada por el mismo equipo, en condiciones similares al caso de estudio. Dado que el proyecto no registró una cantidad similar de períodos con cumplimiento de compromisos y programa, sólo se utilizó la información histórica e indicadores referentes a las restricciones del proyecto como fuente de comparación.
- h) Análisis de correlación de indicadores: Se realizó un análisis de correlación entre el PPC y el SPI del Proyecto para analizar si existió una tendencia similar y los resultados semanales de ambos indicadores para buscar correlaciones positivas. Adicionalmente se comparó el PPC con la cantidad de CNCs por período, con el fin de identificar correlaciones entre el PPC, el número total de CNCs por período y el número de CNCs controlables por período.

2.6. Etapa V: Análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones

Los resultados asociados a los objetivos específicos de la investigación fueron recopilados y analizados en las etapas II, III y IV de la investigación, de acuerdo a la metodología descrita anteriormente. Durante la etapa final de la investigación, se

realizó un análisis global de los resultados, a través del cual se identificaron los beneficios del uso de tecnologías de la información en la gestión de la información y cómo éstas impactan en los proyectos. Además, se compararon los resultados de la mejora en gestión de la información, en el nivel de implementación de la metodología y en el desempeño del caso de estudio. Finalmente, las conclusiones y recomendaciones se elaboraron en base a un análisis completo de los resultados de la investigación, de la información recopilada a través de las entrevistas con usuarios, el personal del caso de estudio y el criterio de expertos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Problemáticas de los proyectos

Dos de los principales problemas que afectan la planificación, ejecución y control de proyectos son la incertidumbre y la variabilidad (Ballard, 2000b; Gregory Howell, Laufer, & Ballard, 1993). Múltiples decisiones en proyectos son tomadas con información incompleta y en entorno cambiante (Ballard, 2000b), lo que implica que éstos ya cargan con cierto grado de incertidumbre desde el momento de su planificación inicial (Gregory Howell et al., 1993). Algunos de los tipos de incertidumbre inherentes a los proyectos son la incertidumbre en los objetivos, en el trabajo requerido para alcanzarlos, en el plan de trabajo desarrollado y la disponibilidad de recursos necesarios para la ejecución del plan (Ballard & Howell, 1998). Adicionalmente, la falta de control en los procesos productivos (Ballard, 2000b) y las dependencias entre actividades (Tavistock Institute, 1966), aumentan el grado de incertidumbre de los proyectos durante la etapa de ejecución.

Por otra parte, la variabilidad también es un problema inherente a los proyectos y se manifiesta en múltiples formas como la variabilidad en calidad, procesos, tiempos o entregas (Ballard, 2000b). De hecho, la variabilidad es un problema que no siempre puede ser eliminada, en cuyo caso, el objetivo de la planificación y control debe ser minimizarla (Ballard & Howell, 2003). Las actividades de los proyectos de construcción son altamente dependientes entre ellas y de los recursos. Por ende, la aparición de desviaciones afecta negativamente la variabilidad del trabajo futuro, lo que implica que una variabilidad no controlada tenderá a incrementarse (Ballard, 2000b).

3.2. El enfoque tradicional de la gestión de proyectos

El enfoque tradicional de la planificación y control de proyectos está basado en la visión de transformación (Ballard, 2000b). Según este modelo, la producción se aborda exclusivamente como el proceso de transformación de los factores de producción en un producto final (Koskela, 1999). Además, según este modelo, el

trabajo es subdivisible en componentes organizados en una estructura de desglose de trabajo y cada subdivisión puede ser gestionada como un ente aislado (Koskela, 1999). Éste modelo lleva a concepciones equivocadas como que la minimización aislada de los costos de los subcomponentes es equivalente a la minimización de costos en el total (Koskela, Ballard, Howell, & Tommelein, 2002), lo que no considera el efecto de la variabilidad en procesos interconectados (Koskela, 1999).

Algunas de las concepciones del modelo de transformación aplicadas al estado de la práctica, han significado obstáculos para un proceso de planificación y control eficiente (Ballard, 1994). Principalmente, debido a que dicho enfoque representa una idealización de los procesos cuyo margen de error generado es amplio en proyectos complejos (Koskela et al., 2002). Algunos de éstos obstáculos son (Ballard, 1994):

- a) La gestión focalizada en el control y prevención de desviaciones negativas en vez de potenciar cambios positivos.
- b) Planificación conceptualizada como una serie de prácticas y habilidades de los responsables de planificar, en detrimento de una visión de sistema.
- c) Planificación entendida como programación, descuidando la planificación a nivel de las cuadrillas de planificación.
- d) Falta de medición del sistema de planificación.
- e) Falta de análisis y acción sobre las causas raíces de los problemas de planificación.

Diversos autores señalan que las conceptualizaciones y obstáculos presentes en el modelo de transformación han derivado en prácticas que entorpecen un proceso de planificación sistemático y proactivo (Díaz, 2007; A. M. González, 2012; M. Á. González, 2012; Sabbatino, 2011). Algunas de éstas prácticas son:

- a) La planificación se basa en la experiencia del administrador.
- b) Traspaso verbal de la información.
- c) Foco en el corto plazo, descuidándose los aspectos de largo plazo.
- d) Control focalizado en actividades, descuidándose las unidades productivas.
- e) Planificación excesivamente detallada en horizontes de tiempo amplios y condiciones de alta incertidumbre.

- f) Bajo interés en aplicación de nuevas técnicas, privilegiando exclusivamente la experiencia.

La utilización ampliamente mayoritaria del enfoque tradicional y las prácticas mencionadas no gestiona efectivamente los efectos de las problemáticas ya abordadas (Johansen & Porter, 2003), produciendo la recurrencia de causas comunes de no cumplimiento (Ballard, 1994). Además, las técnicas tradicionales de control, basadas en la identificación de desviaciones ya ocurridas (Ballard, 2000b) disminuyen la posibilidad de toma de acciones tempranas para evitarlas (Johansen & Porter, 2003).

3.3. Lean Production y Lean Construction

El modelo de flujo y el modelo de generación de valor presentan conceptualizaciones distintas al enfoque tradicional, las cuales se adaptan mejor a la realidad de los proyectos complejos (Koskela et al., 2002). Según el modelo de flujo, un proceso productivo se compone de 4 elementos: Procesamiento, inspección, espera y movimiento. De éstas, sólo el procesamiento corresponde a una conversión productiva y el resto puede ser entendido como desperdicios (Koskela, 1999). Según, la filosofía *Lean*, existen dos aspectos en todo proceso productivo: Transformaciones y flujos. Las transformaciones corresponden a las etapas que agregan valor en el proceso productivo, como el procesamiento; mientras que los flujos corresponden a actividades que no agregan valor, como el procesamiento innecesario, las esperas, inspecciones o el movimiento (Koskela, 1994).

El modelo tradicional se focaliza en el mejoramiento exclusivo de la etapa de procesamiento, es decir en la optimización de la transformación. Por otra parte, el foco de los modelos alternativos como el de flujo y creación de valor, es la minimización del desperdicio y maximización del valor (Koskela et al., 2002). Por ende, es entendido que el objetivo del modelo tradicional es la optimización de la producción, es decir, sólo de los procesos de transformación, mientras que ambos modelos alternativos adicionan la eliminación o minimización de las actividades de flujo, las cuales constituyen pérdidas (Koskela, 1994).

El enfoque *Lean* de producción está basado en los dos modelos mencionados (Koskela, 2000). Por ende, tanto la maximización del valor como la minimización del desperdicio forman parte de los 5 principios fundamentales de la filosofía *Lean* (Womack & Jones, 2003):

- a) Especificar el valor desde la perspectiva del cliente
- b) Identificar la cadena de valor dentro del proceso
- c) Dejar que el valor fluya a través del proceso de producción
- d) Establecer un *pull* o tiro de la producción por parte del cliente, lo que implica lograr que la producción se efectúe sólo cuando y en el momento exacto en que el cliente la necesite
- e) Buscar la perfección a través de la mejora continua

En consecuencia, la planificación y control debe estar alineada con los 5 principios, dado que la planificación debe contemplar la cadena de valor y evitar las detenciones del flujo de valor (Womack & Jones, 2003). Además, el control debe garantizar que la producción es tirada desde el cliente e identificar las pérdidas del proceso para poder eliminarlas (Womack & Jones, 2003). De hecho, la filosofía de *Lean Project Delivery*, focaliza el control como un método para provocar que acciones específicas tomen lugar. Por lo tanto, la eficacia del sistema de planificación y control se mide en la capacidad de obtener resultados específicos en el corto plazo, a través de la gestión de las asignaciones alineadas con la eliminación de pérdidas y la agregación de valor (G Howell & Koskela, 2000).

Los objetivos de la producción *Lean* se logran a través de la planificación y control sistemática, basada en la generación de asignaciones de corto plazo ejecutables y la toma de compromisos explícitos de producción por parte de las unidades productivas (Koskela et al., 2002). Las asignaciones se basan en el trabajo a entregar necesario para la producción por parte de los clientes del proceso productivo (Ballard, 2000b). Dichos clientes corresponden a quienes continúan en el proceso productivo, generándose un proceso *pull*, o de tiro, del trabajo requerido (Koskela, 1999). Las asignaciones son tomadas por las unidades productivas en alineación con las necesidades de sus clientes y por ende corresponden a un medio específico para alcanzar los objetivos del proyecto (Ballard, 1994).

Con el fin de asegurar que los procesos se lleven a cabo cumpliendo con los objetivos de minimización de pérdidas y maximización de valor, se han planteado 4 prácticas de la metodología *Lean*, las cuales deben estar inmersas en el proceso productivo y en el proceso de planificación y control (Letelier, 2013):

- a) *Pull*: Planificación y ejecución de tiro, a través de un sistema de solicitud de trabajo y recursos desde el fin a inicio del ciclo productivo.
- b) *Just in Time*: Entrega, uso de recursos y producción en el último momento responsable, sólo lo que se necesita y en el momento en que se necesita.
- c) Involucramiento de las unidades productivas: Descentralización e implicación total de los empleados en el proceso de mejora continua.
- d) Ciclo de Deming o PDCA: Sistema base para la mejora continua, basado en la realización sistemática de las etapas *Plan* (Planificar) – *Do* (Hacer) – *Check* (Verificar) – *Act* (Actuar).

La implementación de los principios *Lean* y su prácticas, se basa en 4 factores principales, los cuales deben desarrollarse en conjunto y de forma balanceada para asegurar una implementación sustentable (Koskela, 1992):

- a) Compromiso de los líderes: El compromiso en la gestión del cambio y la mejora continua es fundamental para la implementación de la metodología. Se requiere un involucramiento de los líderes y la internalización de la filosofía *Lean* o de lo contrario no se obtendrá un ambiente propicio para el cambio.
- b) Foco en la mejora medible y gestionable: Es necesario identificar los cuellos de botella y problemáticas de los procesos, a través de mediciones que permitan cuantificar y propiciar la mejora. Algunos factores de los procesos que presentan incentivos de mejora a través de su medición son los tiempos de ciclo, inventarios y la variabilidad.
- c) Involucramiento: Es fundamental el involucramiento tanto de los trabajadores, a través de grupos de resolución de problemas, como de los especialistas y líderes, quienes tienen un rol fundamental en incentivar el trabajo en equipo, la identificación de problemáticas y el planteamiento de mejoras.
- d) Aprendizaje continuo: Aprendizaje de los principios de la metodología, aprendizaje empírico del funcionamiento de los procesos, de fuentes externas a

través de *benchmarking* y del aprendizaje en base a la experiencia de la implementación de mejoras.

3.4. El Sistema Last Planner

Los proyectos de construcción presentan una serie de características que los diferencian de los proyectos comunes y que pueden ser vistas como barreras para la adopción de la filosofía *Lean*. Por ejemplo, los proyectos de construcción son únicos, desarrollados por organizaciones temporales, a través de la producción en sitio y con intervención regulatoria de múltiples actores (Koskela, 1992). Además, existen características propias de la gestión de los proyectos de construcción que pueden ser vistas como barreras para la implementación de *Lean Construction* (Ballard, 1994). Por ejemplo, el hecho que las características de la gestión de éste tipo de proyectos resulte en amplias desviaciones de los resultados esperados (Alarcón et al., 2014).

Otras características propias de la gestión de proyectos de construcción son la participación de múltiples actores a lo largo del proceso de diseño, planificación y ejecución del proyecto y el foco en el control casi exclusivo de indicadores de costo y producción (Ballard, 1994). Además, los proyectos de construcción requieren de la coordinación de múltiples especialidades, un uso extensivo de recursos y la obtención de información por parte de múltiples actores involucrados (Ballard, 2000b). Éstos factores representan algunas de las principales causas de incumplimiento en dichos proyectos (Ballard, 1994).

El sistema de planificación y control *Last Planner* fue propuesto para abordar las problemáticas mencionadas, considerándose las características propias de los proyectos de construcción, a través de la implementación de la filosofía *Lean* (Ballard & Howell, 1998). Éste sistema se basa en una visión del proceso de planificación dividido en tres horizontes (Ballard & Howell, 1998):

- a) Planificación inicial: Define los objetivos y alcance del proyecto, con un foco en la definición y coordinación de lo que DEBE hacerse.

- b) Planificación intermedia o *Lookahead*: Permite hacer un *pull* o planificación de tiro de lo que PUEDE hacerse, a través de la revisión de recursos e impedimentos para la ejecución de lo que DEBE hacerse.
- c) Compromisos de ejecución de corto plazo: Es la definición de lo que se HARÁ en base a lo que PUEDE y DEBE hacerse. Involucra la definición detallada del trabajo a realizarse en el corto plazo y normalmente es decidida por los ejecutores.

En los sistemas tradicionales de planificación, el DEBE, definido por el Plan Maestro, muchas veces se confunde con el PUEDE (Ballard, 1994). Más aún, los administradores y supervisores, consideran que se requiere poner presión en la producción de lo que se DEBE, no obstante las limitantes y restricciones existentes (Ballard, 2000b). Por éste motivo, los planes intermedios o planes de *Lookahead*, normalmente utilizados sólo representan el DEBE en un mayor nivel de detalle. El resultado es que lo que PUEDE hacerse, muchas veces no es identificado correctamente y por lo tanto los planes de corto plazo excluyen parte de dicho subconjunto. Así mismo, lo que SE HARÁ, muchas veces no guarda relación con el PUEDE y por lo tanto se generan problemas de ejecución y cumplimiento (Letelier, 2013).

En el sistema *Last Planner*, las tareas que ingresan en el intervalo de la planificación intermedia, son analizadas en un Plan de *Lookahead*, cuyo objetivo es la identificación de restricciones y la determinación de un subconjunto de lo que PUEDE hacerse, representado por el Inventario de Trabajo Ejecutable. La definición de lo que SE HARÁ toma como base sólo el PUEDE y por lo tanto, la intersección del PUEDE y SE HARÁ, es equivalente al plan de corto plazo, a diferencia del sistema tradicional. Además, el objetivo de la gestión de restricciones está en aumentar el subconjunto del PUEDE, dando más espacio para la elección de lo que SE HARÁ, basado en las capacidades y compromisos del equipo (Ballard, 2000b). La figura 3.1 muestra un comparativo de la intersección de los horizontes de planificación del sistema tradicional y *Last Planner*.

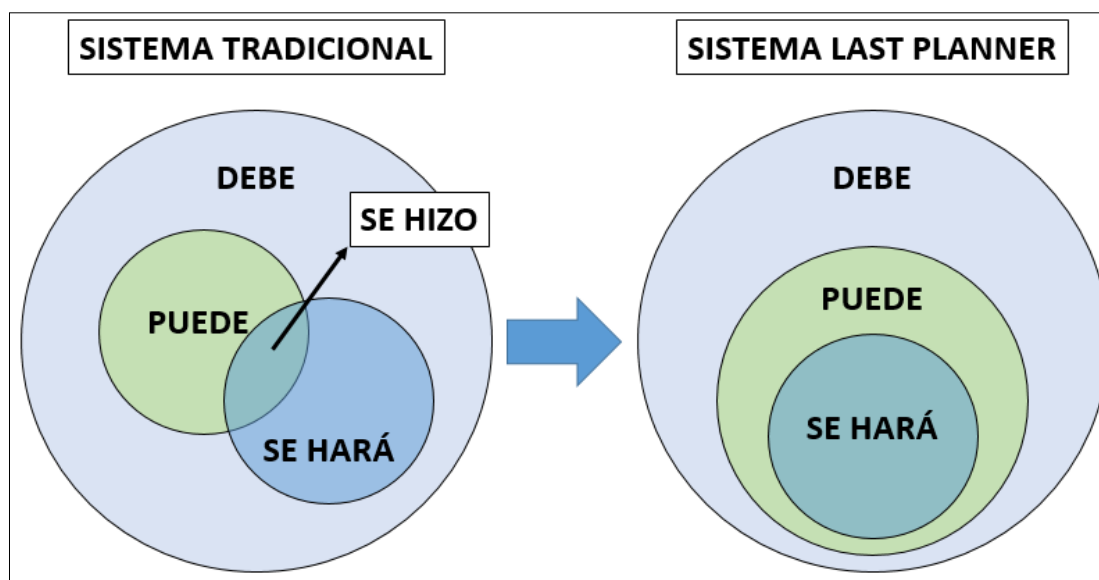


Figura 3.1: Comparativo del sistema tradicional y *Last Planner* (Letelier, 2014).

El objetivo del sistema *Last Planner* (LPS) es aumentar la confiabilidad de los flujos de trabajo. Para ello, se basa en el análisis continuo del plan maestro (PM) para identificar cuál es el trabajo que puede hacerse. De la revisión del PUEDE se obtienen dos resultados: Un Inventario de Trabajo Ejecutable (ITE), el cual está conformado por actividades libres de restricciones y un listado de restricciones, las cuales deben ser removidas para aumentar el PUEDE. El plan de ejecución del corto plazo (PCP) es obtenido a través de la toma de compromisos sobre tareas del Inventario de Trabajo Ejecutable (Ballard, 2000b). A continuación la figura 3.2 presenta un esquema de la planificación *Last Planner*.

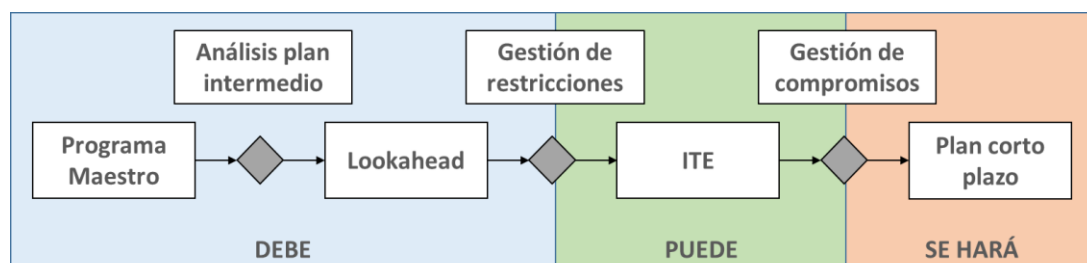


Figura 3.2: Esquema de la planificación *Last Planner*.

Quienes toman los compromisos de ejecución de actividades y los compromisos de liberación de restricciones son llamados Últimos Planificadores (UPs). Los últimos planificadores corresponden generalmente a los eslabones más bajos de la estructura organizacional ya que cumplen un rol clave en la disposición de recursos para la ejecución de actividades y elección de tareas a ejecutarse. Éstos Últimos Planificadores tienen un rol clave en la planificación ya que toman decisiones relevantes referentes a la ejecución de tareas de corto plazo (Ballard, 1994).

La medición del cumplimiento de compromisos se basa en un indicador llamado Porcentaje del plan Completado (PPC). Éste indicador mide la relación entre el número de compromisos cumplidos en la semana y el total comprometido, en forma de porcentaje (Ballard, 1994). El PPC guarda estrecha relación con el cumplimiento del programa, cantidad de defectos en la ejecución semanal y productividad, la que ha sido estudiada, obteniéndose correlaciones positivas entre los factores mencionados (Ballard, 2000b)

Para cada tarea cuyo compromiso no haya sido cumplido durante la semana, se debe identificar una Causa de No Cumplimiento (CNC). Las CNCs son evaluadas semanalmente para la identificación de acciones correctivas (ACs) para las problemáticas del corto plazo (Ballard, 1994). Además, éstas son registradas en un inventario histórico y analizadas a través del uso de herramientas como gráficos de Pareto. El registro y análisis sistemático de CNCs, junto a la búsqueda de causas raíces a través de métodos como los “5 por qué” permiten identificar problemáticas recurrentes y tomar acciones correctivas para prevenir o minimizar la aparición futura de las problemáticas identificadas (Ballard, 2000b).

Si bien el PPC y el registro de CNCs son los indicadores base de la metodología *Last Planner*, otros indicadores han sido propuestos a lo largo de los años para contribuir al análisis de la gestión de compromisos. A continuación se presentan cinco indicadores considerados relevantes debido a su amplio uso en el análisis de la gestión de proyectos (Alarcón et al., 2014; Cisterna, 2013; Letelier, 2013; Sabbatino, 2011).

- a) Índice de Desempeño de Programa (IDP o SPI): Éste indicador se deriva del Método del Valor Ganado y mide el cumplimiento del programa planificado

hasta la fecha, expresado como decimal o porcentaje. El SPI se mide como el avance real sobre el avance planificado, acumulado hasta la fecha de corte. Por ende, un valor menor a 1, representa un cumplimiento menor al plan y un porcentaje mayor, representa un cumplimiento sobre lo esperado (Letelier, 2013).

- b) Porcentaje del Trabajo Completado (PTC o PWC): Éste indicador refleja el cumplimiento del avance semanal planificado. Al igual que el SPI, se calcula como el avance real sobre presupuestado, sin embargo, éste considera sólo el trabajo planificado en la semana. Por ende, representa un indicador complementario al PPC al representar el grado de cumplimiento ponderado de las tareas planificadas (Jang & Kim, 2007).
- c) Porcentaje de cumplimiento de restricciones (PCR): Éste indicador fue planteado con el objetivo de medir el proceso de habilitación de trabajo ejecutable. Originalmente fue definido como la relación entre el número de tareas libres de restricciones para la semana y el número de tareas en el plan semanal. (Jang & Kim, 2007). Sin embargo, éste indicador ha sido utilizado en investigaciones posteriores como el número de restricciones liberadas en la semana sobre el total comprometido para la semana (Alarcón et al., 2014; Cisterna, 2013; Letelier, 2013; Sabbatino et al., 2011). La segunda forma del PCR ha mostrado ser una herramienta útil para la identificación temprana de tendencias del desempeño de proyectos (Alarcón et al., 2014).
- d) Tareas anticipadas (*Tasks Anticipated* o TA): Éste indicador fue planteado por Ballard en los inicios del sistema *Last Planner*, como método de evaluación del proceso de planificación intermedia. El indicador se obtiene de analizar el porcentaje de tareas comprometidas en el plan de corto plazo que fueron incluidas en el *Lookahead* de 1 o más semanas anteriores. Además, el indicador puede ser medido para un cierto número de semanas de anticipación, permitiendo analizar la capacidad de prever el trabajo a ejecutarse en el mediano plazo (Ballard, 1997).
- e) Tareas preparadas_i (*Tasks Made Ready* o TMR_i): Éste indicador mide el porcentaje de tareas planificadas con (i) semanas de anticipación, que participan

del plan de corto plazo actual. Cabe mencionar que esto implica considerar las tareas planificadas para la semana según el plan de *Lookahead* de (i) semanas anteriores y las tareas que participan del plan de corto plazo como aquellas cuyas restricciones fueron liberadas antes de la fecha de ejecución de la tarea. Es decir, el TMR_i mide el porcentaje de preparadas con éxito para su ejecución en el corto plazo, que fueron planificadas con al menos (i) semanas de anticipación (Ballard, 1997; Emdanat & Azambuja, 2016; Hamzeh & Aridi, 2013; Hamzeh, Ballard, & Tommelein, 2012).

3.5. Estado del arte del sistema Last Planner

Numerosas contribuciones han sido incorporadas al sistema *Last Planner* desde su concepción. Una de las primeras y más relevantes fue la inclusión de un cuarto horizonte de planificación, ubicado entre la planificación maestra y planificación intermedia (Hamzeh & Aridi, 2013). La planificación de fases fue inicialmente propuesta como un método de apertura del plan maestro, a través del método de *Pull Planning* o planificación en retrospectiva (Ballard, 2000a). Según este método, se identifica un hito de cumplimiento en un plazo de 3 a 4 meses en adelante y luego se planifican de atrás hacia adelante, las tareas necesarias para su cumplimiento (Ballard & Howell, 2003).

La planificación de fases, realizada de forma inclusiva, con la participación de todos los actores involucrados en el proyecto, permite aumentar el conocimiento del programa, estructurar la planificación de largo y mediano plazo y definir una secuencia de cumplimiento que esté alineada con las metas de largo plazo del proyecto (Knapp, Charron, & Howell, 2007). En consecuencia, la inclusión de este cuarto horizonte, permite conectar de mejor forma la planificación de mediano y largo plazo. A continuación se presenta un diagrama explicativo de los horizontes de planificación de *Last Planner*.

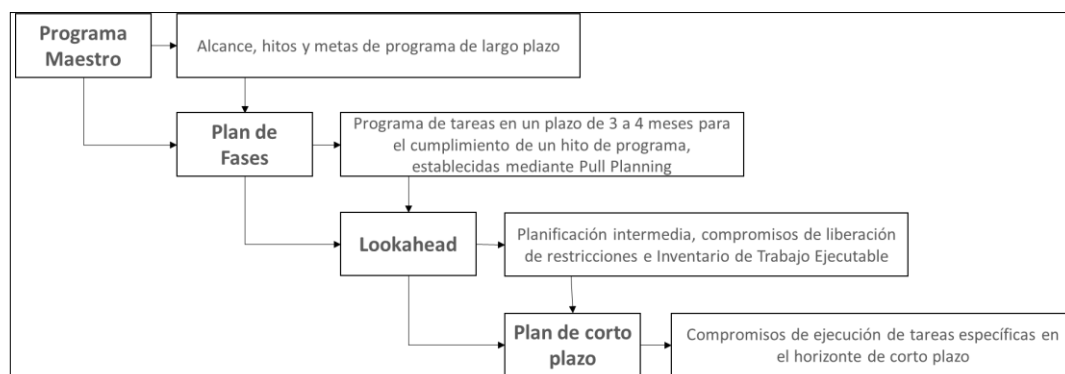


Figura 3.3: Horizontes de planificación *Last Planner*

Un segundo foco de las contribuciones ha sido la incorporación y análisis de indicadores adicionales, ligados a la metodología, los cuales permitan un estudio cuantitativo del estado, desempeño y evolución de los proyectos.

España et al. Propuso el análisis conjunto de 13 indicadores cuyo comportamiento pudiera predecir o reflejar estados y problemáticas de proyectos. De éstos, 8 correspondían a indicadores asociados a la planificación y ejecución de tareas. Cuatro de estos indicadores son presentados a continuación, dado que no son ampliamente medidos en proyectos y sin embargo resultan ser indicadores que añaden información útil para la gestión. A continuación se presentan estos 4 indicadores, su descripción y oportunidad que plantean (España et al., 2012):

Tabla 3.1: Indicadores propuestos por España et al. (2012)

Indicador	Descripción	Oportunidad
Tareas en plan (Tasks on Plan o TOP)	Número de tareas comprometidas en plan de corto plazo	Permite conocer la capacidad de ejecución de los equipos y la variabilidad de la planificación
Tareas no planificadas (Completed tasks not on plan o CNP)	Número de tareas ejecutadas en el corto plazo que no estaban en el plan original	Permite conocer la desviación de la planificación, indicador de la variabilidad del seguimiento del plan
Porcentaje de tareas no planificadas	Mide el porcentaje del trabajo ejecutado que no se	Permite conocer la magnitud de la desviación del plan en proporción al

(CNP/Tareas completadas)	planificó inicialmente	trabajo ejecutado
Porcentaje de tareas comprometidas sobre tareas ITE (TOP/ Tareas ITE)	Mide el porcentaje del plan comprometido del total ejecutable	Identificar cuellos de botella y el grado del uso del ITE en la planificación de corto plazo

Estos cuatro indicadores se centran en la planificación del corto plazo y el seguimiento de dicha planificación, por lo cual, resultan complementarios al PPC para el análisis de la gestión del corto plazo. El análisis correlacional de indicadores como el CNP o TOP con el PPC puede ayudar a la detección de buenas prácticas o problemáticas en el cumplimiento de la planificación de corto plazo.

Por otra parte, Hamzeh et al., también propone la inclusión de indicadores adicionales a los indicadores base de la metodología. Éstos corresponden a una estandarización de la medición de los indicadores Tareas Anticipadas (TA) y Tareas Preparadas (TMR), medidos con respecto a la planificación intermedia de dos semanas atrás. A continuación se presentan los indicadores propuestos (Hamzeh et al., 2012):

Tabla 3.2: Indicadores propuestos por Hamzeh et al. (2012)

Indicador	Descripción	Oportunidad
Tareas Anticipadas con dos semanas de antelación (TA ₂)	Tareas del corto plazo actual, presentes en el <i>Lookahead</i> de dos períodos atrás, sobre el número de tareas del corto plazo.	Mide qué tan bien se identifica el trabajo a ejecutarse con dos semanas de anticipación. Por ende, es un indicador de la identificación del trabajo a ejecutarse.
Tareas preparadas con dos semanas de antelación (TMR ₂)	Tareas ejecutadas del corto plazo actual, presentes en el <i>Lookahead</i> de dos períodos atrás, sobre el número de tareas planificadas según ese <i>Lookahead</i>	Mide el cumplimiento del <i>Lookahead</i> en el corto plazo. Por ende, es un indicador del cumplimiento de la planificación de mediano plazo.

Su análisis en conjunto con indicadores como el PCR, el PPC y la desviación de programa, puede resultar útil para la determinación de problemáticas, identificación de buenas prácticas o incluso para la elaboración de predictores del desempeño de proyectos.

Otra de las contribuciones realizadas a la integración del corto y largo plazo, fue el análisis correlacional entre los indicadores de corto plazo (PPC), mediano plazo (PCR) y largo plazo (SPI). Alarcón et al., por ejemplo, identificó una correlación significativa entre el PPC y el SPI de 36 proyectos de construcción chilenos (Alarcón et al., 2014). Además, en dicho estudio se identificaron diferencias significativas entre proyectos exitosos y no exitosos, en la variabilidad del SPI, promedio del PPC y variabilidad del PCR. Dichos resultados permitieron construir curvas comparativas de la evolución de la variabilidad del PPC, variabilidad del PCR y promedio del PCR, que presentan diferencias significativas entre proyectos exitosos y no exitosos a lo largo de la evolución de su avance.

Los resultados encontrados por Alarcón et al. (2014) permiten inferir que utilizándose otros indicadores como los propuestos por España et al. (2012) y Hamzeh et al. (2012), puedan identificarse nuevos predictores y diferencias significativas. Además, también se han encontrado correlaciones entre los indicadores tradicionales de LPS, como una correlación positiva entre el desempeño de la gestión de restricciones (PCR) y el cumplimiento de compromisos (PPC), identificada en 2 casos de estudio a lo largo de 12 meses (Jang & Kim, 1998), los cuales fueron validados en un tercer caso estudio, encontrándose además una correlación entre ambos indicadores y el porcentaje de trabajo completado (PWC) (Jang & Kim, 2007).

Además, no sólo se han identificado correlaciones significativas entre los indicadores de *Last Planner* e indicadores de desempeño de los proyectos, sino también, en aspectos como la fortaleza de las redes organizacionales, trabajo en equipo y comunicación (Priven & Sacks, 2013). Dichos resultados son concluyentes con una investigación que involucró a más de 700 participantes de la gestión de proyectos de 9 empresas chilenas, en la cual se encontraron numerosas correlaciones entre las prácticas de gestión y la fortaleza de las redes organizacionales (Castillo et al., 2015).

3.6. Estado de la práctica del sistema Last Planner

El sistema *Last Planner* ha sido implementado en países de los 5 continentes a lo largo de más de 20 años y su evolución ha sido registrada en más de 50 investigaciones publicadas en las conferencias del *International Group of Lean Construction* (IGLC) (Daniel et al., 2015). Además, si bien la gran mayoría de las publicaciones reportan estudios de Estados Unidos y Europa, un estudio de Daniel et al. (2015) demuestra que el mayor número de casos de implementación reportados corresponden a casos sudamericanos, concentrados principalmente en Chile y Brasil. Por ende es posible observar que el sistema ha tenido una amplia y creciente adopción en Sudamérica y particularmente en Chile. Además, el número de componentes adoptados ha crecido sistemáticamente en el tiempo, no obstante, el grado de adopción de los distintos componentes ha variado a lo largo de los años y existen algunos componentes que se han mantenido en un grado incipiente de implementación (Daniel et al., 2015).

Una conclusión ampliamente aceptada por los investigadores del IGLC es que el foco de la implementación de LPS ha sido sistemáticamente cortoplacista (Daniel et al., 2015; Dave et al., 2015; Salvatierra et al., 2015). De hecho, los componentes más ampliamente adoptados de la metodología han sido constantemente la planificación semanal, búsqueda de causas de no cumplimiento y medición del PPC (Alarcón & Calderón, 2003a, 2003b; Alarcón et al., 2005; Daniel et al., 2015; Dave et al., 2015; López, 2013; Priven & Sacks, 2013; Salvatierra et al., 2015; Soares et al., 2002; Viana et al., 2010).

Alarcón & Calderón (2003a) categorizan el grado de implementación de LPS en 4 niveles: el nivel 1 corresponde a la planificación sistemática de corto plazo; el nivel 2 incluye la planificación intermedia o de *Lookahead*; el nivel 3, una preparación sistemática del trabajo a través de la liberación de restricciones; y el nivel 4, la utilización sistemática de un inventario de trabajo ejecutable. Además, puede inferirse que un proceso sistemático de mejora continua y la gestión del conocimiento también estén reservadas al nivel 4 dada la dificultad reportada para su internalización (Alarcón & Calderón, 2003b).

Si se analiza el grado de adopción de LPS tanto a nivel nacional como internacional, es posible apreciar que los proyectos se mantienen principalmente entre los niveles 1 y 2. Por ejemplo, a nivel nacional, un estudio realizado en 16 proyectos chilenos mostró que 10 de éstos alcanzaron como máximo una implementación informal del *Lookahead* y una baja o nula gestión sistemática de restricciones (Alarcón et al., 2005).

Dicha tendencia se ha mantenido en el tiempo dado que una investigación realizada 10 años después en 7 empresas chilenas reportó un grado de implementación de la medición de la gestión de restricciones a través del PCR y uso del Inventario de Trabajo Ejecutable (ITE) menor a 36% (Salvatierra et al., 2015). Además, esta no es una problemática exclusiva de Chile, dado que a nivel internacional el uso del ITE es también uno de los aspectos menos implementados (Daniel et al., 2015).

De la misma forma, el análisis de causas raíces, la gestión de acciones correctivas y la gestión del conocimiento también son algunos de los componentes con menor grado de adopción tanto a nivel nacional como internacional (Daniel et al., 2015; Dave et al., 2015; Salvatierra et al., 2015). Esto implica que el nivel 4 de implementación del sistema es difícilmente alcanzado por los proyectos y que por lo tanto, se pierde la capacidad de aprendizaje para la mejora continua en los proyectos (Alarcón & Calderón, 2003a; Alarcón et al., 2005).

Más aún, la falta de adopción de los componentes mencionados no es exclusiva de los proyectos de edificación y ha sido reportada también en la construcción minera e industrial (López, 2013). Esta problemática resulta ser importante ya que dichos componentes están altamente correlacionados al aumento del cumplimiento de compromisos y el mejoramiento del desempeño de los proyectos (Alarcón et al., 2005; Lagos et al., 2017).

La inclusión de sistemas de tecnologías de la información (TI) para el soporte de la gestión de LPS presenta una oportunidad para el mejoramiento de la gestión de dichos componentes (Alarcón & Calderón, 2003a). En particular, investigaciones exploratorias del uso de sistemas TI han mostrado facilitar la captura y análisis de la información relacionada a la toma de acciones correctivas, gestión de restricciones y análisis de causas de no cumplimiento (Lagos, Alarcón, & Salvatierra, 2016). No

obstante, las funcionalidades de dichas tecnologías, asociadas a los componentes mencionados, son las menos utilizadas (Cisterna, 2013). Por ende, el desarrollo continuo de los sistemas para facilitar la gestión de la información resulta fundamental ya que las tecnologías de la información representan una oportunidad patente para el soporte de LPS (Daniel et al., 2015).

3.7. Uso de tecnologías de la información para el soporte de Last Planner

Choo et al. Describe un listado de requerimientos, obtenidos del desarrollo y testeo con usuarios, para la formulación de sistemas TI basados en LPS. Estos requerimientos buscan fijar las características necesarias de dichos sistemas para facilitar su adopción y que su implementación sea beneficiosa en proyectos de construcción. Los requerimientos se basan principalmente en las características de los aplicativos para facilitar su uso, entendimiento y la integración con la metodología *Last Planner* (Choo & Tommelein, 2001):

- a) Procedimiento de *Last Planner* efectivo y simple: software diseñados para la gestión de *Last Planner* deben integrar todos los componentes de la metodología en un procedimiento que emule los pasos de la planificación *Last Planner* y que sea fácil de seguir por los usuarios.
- b) Soporte para las reuniones de planificación: Para ello, debe facilitar la recopilación de la información y ponerla a disposición de los usuarios como apoyo a la reunión de planificación. Aspectos como las restricciones, compromisos y causas de no cumplimiento deben poder ser registradas en una forma simple y que requiera poco tiempo. Además, debe entregarse en la forma de reportes que tengan la información más actualizada para contribuir a la reunión.
- c) Distribución efectiva de la información: Entrega de la información actualizada, ya sea a través de reportes imprimibles, formatos web o en la aplicación misma, de tal forma que los responsables puedan acceder fácil y rápidamente a ésta.
- d) Interfaz y estructura de datos que resulte familiar: Se debe mantener un orden y estructura de la información, al nivel de detalle requerido por los usuarios, que

permita el claro entendimiento de ésta. Además, la interfaz debe ser simple y clara con el fin de facilitar la adopción. Algunos puntos clave mencionados son la similitud con herramientas y reportes ya usados por los responsables.

- e) Interacción con sistemas existentes: Muchas empresas utilizan sistemas informáticos para el control y gestión de información. Las herramientas por implementarse deben ser capaces de interactuar con éstas para facilitar su adopción y uso.
- f) Registro de información histórica: Para promover el análisis de la evolución de la implementación y resultados, junto a la gestión del conocimiento.
- g) Capacidad de sincronizarse y actualizarse sistemáticamente: Para asegurar que los planificadores trabajen siempre con la última información disponible.
- h) Permitir la recolección de la información en la fuente: Permitir la toma de información en diversas instancias, sin necesidad de reingresarla posteriormente. Además, permitir acceder a la información capturada en ocasiones posteriores.
- i) Integridad: Debe ser sostenible y confiable, lo que implica que debe funcionar sin fallas de sistema ni errores en la información entregada.

Los requerimientos anteriormente descritos pretenden minimizar tres de las barreras más recurrentes para la adopción de sistemas TI y del sistema *Last Planner*. La inclusión de mecanismos que permitan facilitar la comunicación y difusión de la información facilitará la descentralización de la planificación y control (Choo & Tommelein, 2001). El uso de herramientas que faciliten el registro, actualización y visualización de la información permite disminuir el tiempo utilizado en la preparación, maximizando el tiempo invertido en la planificación y control (Alarcón et al., 2005; Choo & Tommelein, 2001). Además, el registro sistemático de información, y su difusión en la forma de reportes especializados, facilita la gestión del conocimiento y toma de decisiones, lo que genera impactos positivos en el grado de adopción de la metodología (Alarcón et al., 2005).

El software utilizado en este estudio cumple con la mayoría de las características descritas por Choo y Tommelein, (2001). En particular, integra un procedimiento de uso basado en la metodología *Last Planner*, entrega un soporte a la reunión de *Last Planner*, su interfaz es muy similar a la de otros softwares de planificación como MS

Project y Primavera P6, además de permitir interactuar con dichos sistemas y registra información histórica que puede actualizarse sistemáticamente en una plataforma estable y confiable (Alarcón & Calderón, 2003a; Cisterna, 2013; Letelier, 2013).

Sin embargo, algunas de las características descritas anteriormente no están satisfechas completamente por el software. En particular, dado que la mayoría de la gestión del sistema *Last Planner* se realiza por los últimos planificadores en terreno (Ballard, 2000b), la plataforma computacional no facilita la recopilación de la información en la fuente. Además, no se cuenta con una interacción fluida con terreno que permita la sincronización y actualización diaria de la herramienta. Finalmente, dado que los reportes tradicionales del software son visualizables en plataformas computacionales, la difusión de la información desde y hacia terreno queda limitada.

Si bien sistemas como la plataforma analizada en esta investigación son beneficiosos para la gestión semanal de *Last Planner*, resulta complicado realizar un control diario y sistemático con las actualizaciones de información requeridas dado que los softwares se limitan a plataformas computacionales (Dave et al., 2014). Según Dave et al., (2014), se necesita de un sistema de comunicación que permita la interoperabilidad y la gestión de la información en tiempo real. Para ello, es necesario que la información generada en terreno sea consolidada por un sistema que permita conocer su estado actual de forma simple, por todos los actores de la planificación (Dave, Boddy, & Koskela, 2010). Uno de los problemas asociados al conocimiento de la información en tiempo real es que los sistemas de control resultan lentos dado que requieren consolidar la información provenientes de múltiples fuentes en un proceso que toma tiempo y esfuerzo (Navon & Sacks, 2007). La necesidad de una obtención rápida de la información para mantener un sistema actualizado y contar con la información en tiempo real o cuando esta sea necesaria, radica en que la información es la base para el proceso de planificación y además, la obtención de información retroalimentada desde la operación garantiza que se cuente con mejor información en procesos de planificación futuros (Gregory Howell & Ballard, 1996). Si dicha retroalimentación no se obtiene a tiempo, se provocará una

división entre las decisiones planteadas en base a la planificación y las decisiones que deberán tomarse en terreno, basadas en la información (Dave et al., 2014).

Por otra parte, la interacción entre los equipos de proyectos y las áreas funcionales de la empresa o los miembros de la cadena de suministro se dan principalmente de forma informal o a través de sistemas de *Enterprise Resource Planning* (ERP), los cuales no están integrados ni manejan la información de la misma forma que los sistemas de *Last Planner* (Dave et al., 2011, 2014). Según Dave et al., (2011), los ERP no atacan los procesos productivos y la necesidad de la remoción de restricciones de la forma necesaria para una gestión *Lean* y *Last Planner*.

Se ha postulado que una forma de resolver las problemáticas mencionadas es la utilización de herramientas simples de gestión de la información que integren a todos los actores en el proceso de identificación, gestión y liberación de restricciones y también en los procesos de gestión, cumplimiento y control de los planes semanales (Faloughi et al., 2014). Según Faloughi et al., (2014) el uso de herramientas visuales y simples para la gestión de la información de tareas y restricciones permite una mayor integración, mejores análisis, mejor seguimiento y control.

Por este motivo, el módulo a desarrollarse deberá permitir el acceso a la información en terreno y en tiempo real por parte de los últimos planificadores, la gestión visual y simple de los compromisos, el registro sistemático y la facilidad de la actualización del estado de los compromisos (Faloughi et al., 2014). Además, es importante que este proceso pueda hacerse desde la fuente y difundiendo la información a todos los involucrados (Choo & Tommelein, 2001). Finalmente el proceso de recopilación, actualización y seguimiento debe ser rápido y fluido (Dave et al., 2014).

Los sistemas computacionales desarrollados en los últimos años, como Simplean y Visilean, ya incorporan las nuevas bondades de las tecnologías de la información para facilitar la captura, actualización, comunicación y gestión de la información (Dave et al., 2011; Faloughi et al., 2014) en áreas complementarias al sistemas *Last Planner*. Por ende, es momento que los softwares como Impera (Alarcón & Calderón, 2003a; Lagos et al., 2017) y Workplan (Choo et al., 1998) aprovechen el aprendizaje ya generado para mejorar sus sistemas de gestión de la información y aumentar su propuesta de valor a los usuarios.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL REGISTRO Y USO DE INFORMACIÓN

4.1. Selección de componentes

En primer lugar, se realizó una investigación bibliográfica de 9 publicaciones (Alarcón & Calderón, 2003a; Alarcón et al., 2005; Daniel et al., 2015; Dave et al., 2015; López, 2013; Priven & Sacks, 2013; Salvatierra et al., 2015; Soares et al., 2002; Viana et al., 2010) que analizan el grado de implementación de los componentes de la metodología *Last Planner*; proceso que fue explicado en la sección de metodología. Los resultados de las 9 publicaciones representan una muestra de más de 100 proyectos, a lo largo de más de 14 años en Chile y el mundo. Por ende, esta fuente permitió determinar los componentes con un menor grado de implementación histórico. La tabla 4.1 presente a continuación contiene un detalle del grado de implementación medido, agrupados en 9 componentes de la metodología, presentes en las investigaciones revisadas.

Tabla 4.1. Grado de implementación de componentes según bibliografía

Componente	(Soares et al., 2002)	(Alarcón et al., 2003)	(Alarcón et al., 2005)	(Viana et al., 2010)	(Priven et al., 2013)	(López, 2013)	(Salvatierra et al., 2015)	(Dave et al., 2015)	(Daniel et al., 2015)
Plan maestro	/	100%	/	69%	81%	81%	100%	/	60%
<i>Lookahead</i>	/	75%	38%	66%	25%	32%	91%	70%	90%
<i>Make-ready process</i> (gestión de restricciones)	0%	38%	38%	41%	6%	32%	27%	/	80%
Uso del ITE	0%	35%	6%	22%	6%	/	36%	/	30%
Plan de corto plazo	100%	100%	100%	66%	63%	49%	100%	100%	/
Causas de no cumplimiento	50%	100%	100%	81%	25%	/	64%	/	90%
Acciones correctivas	0%	22%	/	81%	25%	/	36%	/	68%
Gestión de la información para la mejora continua	0%	5%	6%	81%	38%	17%	/	0,4	/
Reunión de planificación	0%	100%	100%	88%	63%	43%	100%	/	93%

Posteriormente, se realizaron entrevistas al panel de usuarios expertos, con el fin de determinar el grado de implementación de cada componente. Para ello, se solicitó a cada experto calificar cada uno de los componentes de acuerdo al proceso descrito en la sección de metodología y en base a su experiencia en proyectos en Chile y América Latina, a lo largo de los años. De esta forma, el puntaje obtenido de la calificación de los expertos representa la experiencia chilena y de América Latina a lo largo de los años. Así mismo, se solicitó también a un panel de usuarios avanzados que determinara también una calificación para cada componente, basado en su experiencia en la implementación reciente en casos chilenos.

Los resultados de la literatura, del panel de expertos y del panel de usuarios avanzados fueron promediados dentro de su grupo, para cada componente y luego fueron promediados los resultados de las 3 fuentes de información. Los resultados, que se presentan en la tabla 4.2, permitieron identificar como componentes con menor grado de implementación a la gestión de restricciones, uso del ITE, gestión de las causas de no cumplimiento, gestión de las acciones correctivas y gestión de la información para la mejora continua.

Se decidió no considerar a la gestión de la información, dada que ésta resultará beneficiada a través de las herramientas de reportabilidad y gestión de la información a desarrollarse. Así mismo, el uso del ITE también fue descartado dado que su información está fuertemente ligada a la planificación de corto plazo y la gestión de restricciones. En consecuencia, los componentes escogidos fueron la gestión de restricciones, gestión de causas de no cumplimiento y gestión de acciones correctivas.

Por último, para asegurar que existiera una correlación entre los resultados obtenidos de las tres fuentes, se realizó un test estadístico de R^2 y Coeficiente de Pearson entre los distintos pares de fuentes de información. Los resultados de los 3 test pareados obtuvieron valores de R^2 por sobre 0,6 por lo cual se aceptó la hipótesis de que los resultados de las 3 fuentes están correlacionados (Hernández-Sampieri et al., 2006). Los resultados del test de correlación entre las fuentes se presentan en la tabla 4.3.

Tabla 4.2. Resultados grado de implementación componentes metodológicos

Componente	Literatura	Expertos	Usuarios	Promedio
Plan maestro	82%	93%	93%	89%
<i>Lookahead</i>	61%	53%	80%	65%
<i>Make-ready process</i> (gestión de restricciones)	33%	27%	47%	35%
Uso del ITE	19%	13%	7%	13%
Plan de corto plazo	85%	100%	100%	95%
Causas de no cumplimiento	73%	53%	33%	53%
Acciones correctivas	39%	20%	13%	24%
Gestión de la información para la mejora continua	27%	20%	40%	29%
Reunión de planificación	73%	93%	80%	82%

Tabla 4.3. Correlación resultados grado de implementación componentes metodológicos

Correlación resultados nivel implementación			
Eje X	Eje Y	R2	R
Expertos	Usuarios	0,793	0,89
Literatura	Expertos	0,883	0,94
Literatura	Usuarios	0,637	0,80

4.2. Métricas elaboradas para la obtención de información

Como se mencionó en la sección de metodología, se elaboraron dos métricas para evaluar la gestión de la información de restricciones, causas de no cumplimiento y acciones correctivas. Una de las métricas desarrolladas contiene 12 análisis específicos a ser medidos, agrupados por componente y se denomina “Métrica de evaluación del uso de información”. La otra contiene un listado de 26 parámetros agrupados por componente, los cuales proveen la información necesaria para la elaboración del análisis de cada componente. En consecuencia, la segunda métrica se denomina “Métrica de evaluación del registro de información”. Ambas métricas están disponibles en los anexos 2 y 3.

Para validar ambas métricas, se solicitó al panel de usuarios avanzados, cuya información está disponible en el anexo A, que evaluaran un total de 34 proyectos en los cuales desarrollaron la implementación de *Last Planner*, utilizando en primer lugar la métrica de registro de información y luego la métrica de uso de la información. Los resultados de las evaluaciones fueron sometidos a un análisis estadístico Alpha de Cronbach para validar la fiabilidad de los instrumentos. La métrica de registro obtuvo un Alpha de Cronbach de 0,88 y la métrica de uso, un valor igual a 0,85. Por ende, ambas métricas tienen una fiabilidad estadística válida (Hernández-Sampieri et al., 2006).

4.3. Obtención de datos y validación estadística de resultados

Utilizando la metodología descrita en la sección 2.3.3 de este documento, se recopiló la información de 34 proyectos, 17 de los cuales utilizaban IMPERA y 17 un soporte tradicional. Una vez obtenida la calificación de los 34 proyectos, éstos fueron agrupados en 17 proyectos que utilizaban la plataforma TI y 17 proyectos que utilizaban sistemas tradicionales. Los resultados del grado de cumplimiento de cada proyecto, para cada componente, fueron analizados a través de la prueba estadística de Shapiro-Wilk (Hernández-Sampieri et al., 2006), para muestras de menos de 50 datos, con el fin de evaluar su normalidad. Los resultados de dicha prueba, que se presentan en la tabla 4.4, permitieron determinar la utilización de la prueba estadística de U de Mann-Whitney para muestras independientes no paramétricas, dado que gran parte de las muestras no seguían una distribución normal (Hernández-Sampieri et al., 2006).

Tabla 4.4. Resultados del análisis de normalidad

Tipo		Shapiro-Wilk			
		Estadístico	gl	Sig.	Normalidad
Análisis restricciones	Con IMPERA	0,941	17	0,330	SI
	Sin IMPERA	0,792	17	0,002	NO
Análisis causas de no cumplimiento	Con IMPERA	0,800	17	0,002	NO
	Sin IMPERA	0,887	17	0,041	NO

Análisis acciones correctivas	Con IMPERA	0,843	17	0,008	NO
	Sin IMPERA	0,391	17	0,000	NO
Análisis global	Con IMPERA	0,953	17	0,513	SI
	Sin IMPERA	0,916	17	0,126	SI
Registro restricciones	Con IMPERA	0,910	17	0,099	SI
	Sin IMPERA	0,905	17	0,082	SI
Registro causas de no cumplimiento	Con IMPERA	0,924	17	0,173	SI
	Sin IMPERA	0,864	17	0,018	NO
Registro acciones correctivas	Con IMPERA	0,955	17	0,535	SI
	Sin IMPERA	0,846	17	0,009	NO
Registro global	Con IMPERA	0,956	17	0,558	SI
	Sin IMPERA	0,967	17	0,759	SI

A través de la prueba de U de Mann-Whitney se estableció que todas las diferencias observadas entre las muestras eran significativas dado que se obtuvieron valores del estadístico de significancia asintótica bilateral (p-valor) menores a 0,05 en todos los casos. Por ende, se pudo corroborar con un 95% de confianza que las diferencias medidas entre el grupo de proyectos con ayuda de sistemas TI y el grupo de proyectos con soporte tradicional son representativas (Hernández-Sampieri et al., 2006). A continuación, la tabla 4.5 presenta los resultados del test estadístico.

Tabla 4.5. Resultados prueba de U de Mann-Whitney para muestras independientes

Variable analizada	U de Mann-Whitney	Z	Sig. asintótica bilateral [p-valor]
Análisis restricciones	46	-3,442	0,001
Análisis causas de no cumplimiento	33,5	-3,878	0,000
Análisis acciones correctivas	71,5	-2,952	0,003
Análisis global	14,5	-4,497	0,000
Registro restricciones	41,5	-3,574	0,000
Registro causas de no cumplimiento	26,5	-4,107	0,000
Registro acciones correctivas	81,5	-2,192	0,028
Registro global	37,5	-3,692	0,000

4.4. Análisis de resultados del registro de información

A continuación, en la tabla 4.6, se presentan los resultados globales obtenidos del registro de la información. Esta tabla incluye el número de parámetros cuyo registro aumentó con el uso de sistemas TI en comparación a los mecanismos tradicionales de soporte, el número de parámetros que disminuyeron y el factor de aumento promedio. Dicho factor se obtuvo a través de la fórmula descrita en la figura 4.1.

$$\text{Factor de Aumento Promedio} = \frac{\overline{\text{Registro TI}}}{\overline{\text{Registro Trad.}}} = \frac{\frac{\sum_i^n \% \text{registro TI}_{\text{parámetro } i}}{n}}{\frac{\sum_i^n \% \text{registro Tradicional}_{\text{parámetro } i}}{n}}$$

Figura 4.1. Fórmula para el cálculo del factor de aumento

Tabla 4.6. Resultados globales del registro información

	Registro			
	Restricciones	Causas de no Cumplimiento	Acciones Correctivas	Global
Número de parámetros que aumentaron	9	8	7	24
Número de parámetros que se mantuvieron o disminuyeron	1	0	1	2
Factor aumento promedio	1,3	1,5	1,8	1,44

En primer lugar, es posible observar que el promedio para cada componente fue mayor con el uso de soporte TI que con sistemas tradicionales. De hecho el factor promedio de mejora logrado con el soporte TI es de 1,44, lo cual implica que los proyectos que utilizan soporte TI mejoran aproximadamente un 40% su captura de información. En particular, la diferencia más significativa en el registro de información se obtiene en las acciones correctivas, componente en el cual se captura casi el doble de información que en el grupo con soporte tradicional. Además, es posible observar que 24 parámetros, equivalentes al 92% de la muestra, mejoraron con el uso de sistemas TI para el soporte de la metodología.

El gráfico de la figura 4.2 permite observar que el aumento promedio fue bastante parejo en los tres componentes, con una diferencia de un 20,3% en las restricciones, 27,2% en las causas de no cumplimiento y 20,2% en las acciones correctivas. Sin embargo, si bien el registro de acciones correctivas mejora con el uso de sistemas TI, tampoco se logra un porcentaje de implementación mayor al 50%. De hecho, las acciones correctivas tienen un registro en los proyectos analizados que es mucho menor al registro de los otros dos componentes tanto con el uso de sistemas TI como con soporte tradicional. Aún así, las acciones correctivas son el componente con la mejora proporcional más grande, ya que casi duplican su captura de información.

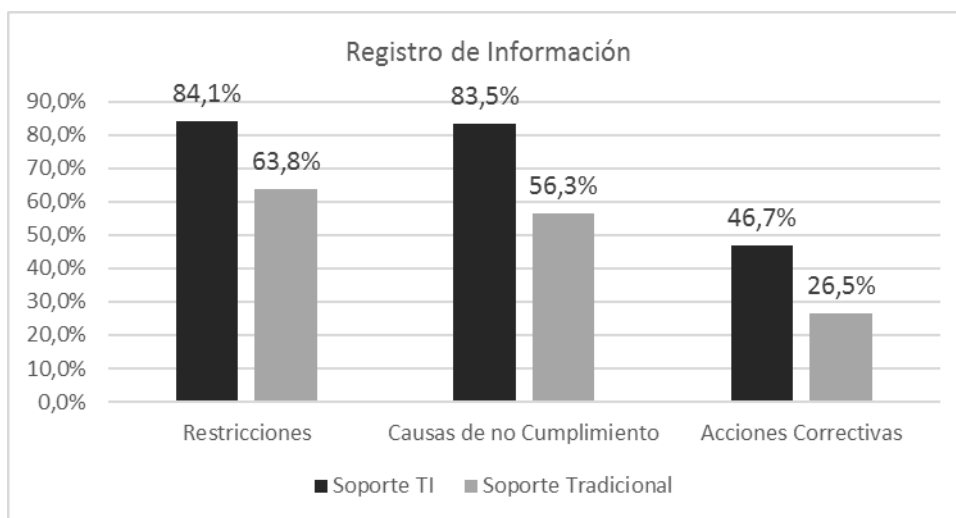


Figura 4.2.Comparativo resultados del registro de información

Otro aspecto interesante es que si se analiza el número de parámetros con un grado de implementación menor a 50% en ambos grupos, existe una clara diferencia. Sólo 5 parámetros obtuvieron un grado de implementación menor a 50% en el grupo TI, con un mínimo de 18%, mientras que 13 parámetros obtuvieron grados menores a 50% en el grupo tradicional. De forma similar, sólo 2 parámetros obtuvieron un grado de implementación menor a 25% en el grupo TI y 8 en el grupo tradicional. La tabla 4.7 muestra dicha información.

Tabla 4.7. Distribución de parámetros de registro información

	Grupo TI	Grupo Tradicional
Número de parámetros bajo 90%	18	20
Número de parámetros bajo 75%	12	17
Número de parámetros bajo 50%	5	13
Número de parámetros bajo 25%	2	8
Menor grado de implementación	18%	0%

Al preguntarse a los usuarios el motivo de ésta diferencia, se estableció que la razón es que existe información que no se utiliza en implementaciones con soporte tradicional debido a que su procesamiento requiere de un elevado tiempo y esfuerzo. Esto causa que los proyectos dejen de registrar esa información o que lo hagan de forma poco sistemática. Los usuarios determinaron que el uso de soporte TI permite que se de un mejor uso a la información, incentivando su registro, y además sistematiza la captura de información.

4.4.1. Registro de información de restricciones

La tabla 4.8 presenta un detalle de los resultados del registro de la información. En esta es posible observar que por ejemplo, dos de los parámetros, el responsable y la fecha de identificación, obtuvieron un 100% de registro en el grupo TI, mientras que ningún parámetro obtuvo un 100% en el grupo tradicional. Otra de las diferencias significativas fue el grado de registro del tipo de restricción, el cual determina el tipo de efecto que tiene una restricción sobre la tarea. Éste resultó tener un grado de implementación de 85% en el primer grupo y tan solo un 3% en el segundo. Al preguntarse por esto, los usuarios comentaron que el tipo de efecto es tratado sólo de manera informal en proyectos con soporte tradicional, lo cual a veces provoca problemas en la determinación del Inventario de Trabajo Ejecutable.

Otros de los aspectos con una mejora significativa a través del uso de sistemas TI son el registro de la fecha comprometida original y de la fecha requerida de liberación. La primera es relevante para analizar cuánto se han desplazado los compromisos de

liberación y la segunda para determinar qué restricciones han impactado el cumplimiento del programa y los plazos asociados a la gestión de restricciones. En ambos casos, los usuarios explicaron que su registro y control es difícil sin la ayuda de un sistema que rescate automáticamente dichos datos.

Por otra parte, es posible observar que el detalle de la restricción obtuvo un mayor grado de implementación en el grupo sin soporte TI. La principal razón rescatada de las entrevistas a usuarios es que el detalle de la restricción se vuelve fundamental en sistemas tradicionales ya que no existe un sistema formal que vincule las restricciones a tareas específicas, por lo cual el detalle debe explicitar a qué tareas corresponde la restricción.

Tabla 4.8. Resultados registro de restricciones

Componente	Parámetro	Grupo con soporte TI		Grupo con soporte tradicional		Factor de aumento	Factor aumento promedio
		Promedio parámetro	Promedio componente	Promedio parámetro	Promedio componente		
Información en registro restricciones	Tipo de restricción	85%	84,10%	3%	63,80%	28,3	1,32
	Familia restricción	85%		79%		1,1	
	Detalle de la restricción	91%		94%		1,0	
	Tareas afectadas	88%		71%		1,2	
	Responsable	100%		97%		1,0	
	Fecha de identificación	100%		74%		1,4	
	Fecha requerida de liberación	62%		26%		2,4	
	Fecha comprometida de liberación	97%		94%		1,0	
	Fecha comprometida original	47%		18%		2,6	
	Fecha de liberación	85%		82%		1,0	

4.4.2. Registro de información de causas de no cumplimiento

La tabla 4.9 presenta un detalle del registro de información de las causas de no cumplimiento. Al igual que en el caso anterior, en esta se observa que dos campos obtuvieron un grado de implementación de 100% en el grupo TI mientras que ninguno lo obtuvo en el grupo sin soporte TI.

Tabla 4.9. Resultados registro de causas de no cumplimiento

Componente	Parámetro	Grupo con soporte TI		Grupo con soporte tradicional		Factor de aumento	Factor aumento promedio
		Promedio parámetro	Promedio componente	Promedio parámetro	Promedio componente		
Información en registro CNCs	Tipo de CNC	94%	83,50%	91%	56,30%	1,0	1,48
	Origen de CNC	94%		44%		2,1	
	Fuente de CNC	65%		6%		10,8	
	Detalle de CNC	85%		76%		1,1	
	Período de corto plazo en que afectó	100%		94%		1,1	
	Actividad Afectada	100%		94%		1,1	
	Impacto	59%		9%		6,6	
	Causa Raíz	71%		35%		2,0	

Adicionalmente, dos de los impactos más grandes se obtuvieron en el registro de las fuentes de CNC, el cual permite determinar cuáles problemáticas son controlables y cuáles no, y en registro del impacto de las causas de no cumplimiento, el cual se realiza de forma cuantitativa a través del sistema TI. Ambos aspectos obtuvieron un grado de implementación menor a 10% en el grupo con soporte tradicional y superior a 59% en el grupo TI, lo que implica un aumento de 6 veces la cantidad de información capturada.

Por otra parte, los campos origen de CNC y causa raíz también fueron beneficiados por el soporte TI. El origen de las CNC permite determinar en qué área o función del proyecto se originan los incumplimientos mientras que la causa raíz, la problemática

de fondo por la cual se evidenció un incumplimiento. Un factor interesante a considerar es que si bien el origen de la CNC es un parámetro obligatorio en el software, no existe un parámetro particular destinado a la causa raíz. Sino que al consultarse a los usuarios, estos determinaron que la razón para un mejor registro es la disponibilidad de la información para el análisis, la cual al ser mayor con el uso de TI, incita al registro sistemático de causas raíces, para evitar que el análisis conduzca a problemáticas erróneas.

Las entrevistas referentes a los resultados del grupo tradicional también permitieron conocer que el impacto no se registra con sistemas tradicionales por la dificultad para realizar un análisis cuantitativo. Así mismo, las fuentes y orígenes no se registran dado que las causas de no cumplimiento se gestionan principalmente en el análisis del último corto plazo y ambas están todavía patentes en la memoria de los responsables a la hora de analizarlas. Sin embargo, los usuarios mencionaron que la falta de registro de los 4 campos mencionados en el grupo tradicional, limitaba el análisis de la información a una profundidad general y menor a la que era posible a través del software.

Por último, los resultados permitieron determinar que el registro de la información más relevante para la gestión semanal fue registrado de forma similar en ambos grupos. En particular, el tipo de CNC, período de corto plazo en que afectó y actividad fueron registrados con un porcentaje de implementación mayor a 90% en ambos grupos. De la misma forma, si bien el registro del detalle fue ligeramente más bajo, también se obtuvo un grado similar en ambos grupos. La opinión de los usuarios consultados al respecto es que el registro básico se realiza de forma similar con ambos sistemas, sin embargo, el uso del software obliga a profundizar en aspectos de mayor detalle como las fuentes e impactos, los cuales son de utilidad en el análisis posterior.

4.4.3. Registro de información de acciones correctivas

En primer lugar, la tabla 4.10 permite identificar que sólo tres parámetros obtuvieron un grado de implementación mayor a 60% en el grupo TI mientras que ninguno obtuvo un porcentaje mayor a 60% en el grupo tradicional. Adicionalmente, en

ambos grupos los aspectos con menor grado de registro fueron la fecha de implementación, impacto esperado, tipo de acción y evaluación de la efectividad o impacto. Cabe mencionar que debido a que 3 de estos parámetros tuvieron un grado de implementación medido igual a 0%, el factor de aumento se estimó dividiendo el valor obtenido en el grupo TI por 1% para dichos casos.

De los aspectos con menor grado de implementación, los aspectos con una mejora más relevante en el grupo TI fueron el impacto esperado, la evaluación de la efectividad o impacto y la fecha en qué evaluar la efectividad. La razón determinada es que el sistema TI requiere evaluar obligatoriamente la efectividad e impacto de las acciones correctivas, por lo cual, se hace necesario estimar el impacto y definir cuándo se evaluará su cumplimiento.

De lo anterior se pueden obtener dos conclusiones: La primera es que el registro es más parejo en el sistema TI dado que este obliga a evaluar las acciones y, por ende, sistematiza el registro de información que de otra forma no es capturada. La segunda conclusión es que existen muchos proyectos que no registran en absoluto acciones correctivas. Esto se concluye dado que el registro de la efectividad y la fecha de control son obligatorios, por lo cual que se obtenga un porcentaje tan bajo sólo es explicable si no se registran acciones correctivas.

Por último, que en el grupo TI exista una diferencia de casi 30% entre el registro de la acción planteada y la evaluación de la efectividad e impacto, sólo podría explicarse porque los responsables evalúen la efectividad de forma cualitativa y poco sistemática. Dicha conclusión se obtiene porque el control es obligatorio, por lo que las acciones que se registren deberían ser evaluadas. Entonces, la única forma posible de obtener una diferencia tan significativa entre plan y evaluación, es que ambas se registren pero la evaluación se realice de forma deficiente.

Dicha conclusión fue presentada a los usuarios quienes validaron el análisis y la explicación. De hecho, se identificó que la misma tendencia se obtuvo en ambos grupos, lo que implica que los proyectos hacen registro de las acciones correctivas pero no de su implementación y resultados, perdiéndose la oportunidad de realizar una gestión del conocimiento de las prácticas más exitosas.

Tabla 4.10. Resultados registro de acciones correctivas

Componente	Parámetro	Grupo con soporte TI		Grupo con soporte tradicional		Factor de aumento	Factor aumento promedio
		Promedio parámetro	Promedio componente	Promedio parámetro	Promedio componente		
Información en registro acciones correctivas	Problema a tratar	68%	46,70%	56%	26,50%	1,2	1,76
	Detalle o plan acción correctiva	65%		56%		1,2	
	Responsable de implementación	79%		44%		1,8	
	Fecha en que implementar	21%		29%		0,7	
	Fecha en que evaluar efectividad	59%		21%		2,8	
	Impacto esperado	26%		0%		26,0	
	Se separan entre medidas preventivas o reactivas	18%		0%		18,0	
	Evaluación de efectividad o impacto	38%		6%		6,3	

4.5. Análisis de resultados del uso de información

A continuación, la tabla 4.11 presenta los resultados globales del uso de la información para la elaboración de análisis de los componentes. Esta tabla incluye el número de parámetros cuyo registro aumentó con el uso de sistemas TI, el número de parámetros que disminuyeron y el factor de aumento promedio. El factor de aumento se calculó de igual forma que en la sección anterior, utilizando la formula descrita en la figura 4.3. Además, en el caso que el denominador de la ecuación fuera 0%, fue reemplazado por un 1%.

$$Factor\ de\ Aumento\ Promedio = \frac{\overline{Uso\ TI}}{\overline{Uso\ Trad.}} = \frac{\frac{\sum_i^n \% Uso\ TI_{parámetro\ i}}{n}}{\frac{\sum_i^n \% Uso\ Tradicional_{parámetro\ i}}{n}}$$

Figura 4.3. Fórmula para el cálculo del factor de aumento

Tabla 4.11. Resultados uso de información para el análisis

	Análisis			
	Restricciones	Causas de no Cumplimiento	Acciones Correctivas	Global
Número de parámetros que aumentaron	4	4	4	12
Número de parámetros que se mantuvieron o disminuyeron	0	0	0	0
Factor aumento promedio	2,3	1,7	9	2,12

En primer lugar, puede observarse que todos los análisis específicos obtuvieron un mayor grado de implementación con el uso de sistemas TI para soporte. Además, en promedio, el grado de implementación de los análisis fue más del doble en el grupo con soporte TI que en el grupo con soporte tradicional. El componente con el menor aumento fue el análisis de causas de no cumplimiento, el cual aumentó un 70% mientras que las acciones correctivas aumentaron 9 veces el grado de implementación de los análisis.

La figura 4.4 presenta un comparativo del grado de implementación medido para cada componente en ambos grupos. En esta figura puede notarse que si bien el análisis de Causas de no Cumplimiento fue el componente con un menor factor de aumento proporcional a su valor inicial, fue el componente con el mayor grado de implementación en ambos grupos. De forma opuesta, pese a que las acciones correctivas mejoraron 9 veces su análisis con el uso de sistemas de soporte TI, éstas sólo alcanzaron aproximadamente un cuarto de la profundidad y completitud de los análisis realizados en las causas de no cumplimiento.

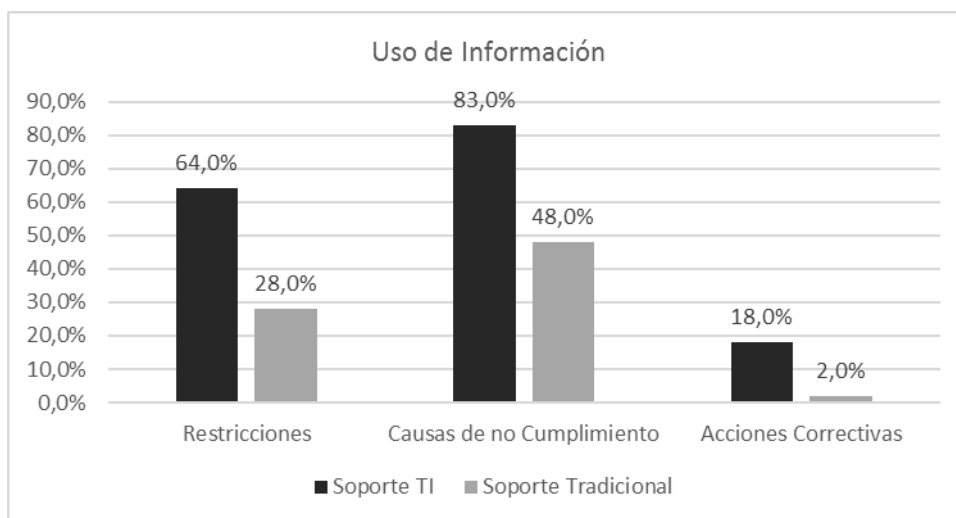


Figura 4.4. Comparativos resultados del uso de información para el análisis

Otro aspecto relevante es la diferencia entre el número de parámetros bajo 75% y 50% de implementación. Por ejemplo, el grupo tradicional tiene 11 parámetros con menos de un 75% de implementación y el grupo TI tiene 7, lo que implica que el grupo tradicional tiene un 60% más de parámetros bajo 75% de implementación. Dicha diferencia aumenta al medirse el número de parámetros bajo 50%, donde el grupo tradicional tiene casi el doble de parámetros que el grupo TI. Esto implica que mientras el 82% de los parámetros tienen un grado de implementación bajo 50% en el grupo tradicional, en el grupo TI dicho porcentaje se reduce a un 45% del total de parámetros. La tabla 1.12 presenta la distribución de los parámetros medidos para el uso de información.

Tabla 4.12. Distribución de parámetros de uso de información

	Grupo TI	Grupo Tradicional
Número de parámetros bajo 90%	10	12
Número de parámetros bajo 75%	7	11
Número de parámetros bajo 50%	5	9
Número de parámetros bajo 25%	4	6
Menor grado de implementación	9%	0%

4.5.1. Uso de información de restricciones

La tabla 4.13 presenta los resultados del uso de la información de restricciones para el análisis. En esta es posible observar que 3 de los 4 análisis medidos para el componente se vieron beneficiados altamente por el uso de herramientas TI. En particular, el análisis del estado actual de las restricciones y la evolución de su estado, aumentaron casi 3 veces. El uso y análisis de un indicador de liberación semanal aumentó en menor medida, logrando un factor de aumento de 1,5. Por otra parte, el aumento más relevante es el del análisis de la identificación de restricciones, dado que dicho análisis no se realizaba en ninguno de los proyectos medidos del grupo tradicional y se realizaba de forma completa en aproximadamente 1 de cada 5 proyectos con el uso de soporte TI.

Tabla 4.13. Resultados uso de información de restricciones

Componente	Análisis	Grupo con soporte TI		Grupo con soporte tradicional		Factor de aumento	Factor aumento promedio
		Promedio análisis	Promedio componente	Promedio análisis	Promedio componente		
Uso de la información de restricciones	Estado actual restricciones	88%	64%	32%	28%	2,8	2,29
	Identificación de restricciones	18%		0%		18,0	
	Evolución del estado de restricciones	68%		26%		2,6	
	Indicador de liberación semanal	82%		53%		1,5	

Cabe mencionar que la identificación de restricciones fue el parámetro más bajo en ambos grupos. Al consultar a los usuarios del sistema TI, se identificó que éste no tiene ningún gráfico o reporte asociado a la identificación de restricciones. Por otra parte, no existe una forma fácil de agrupar las restricciones por período de creación por lo que confeccionar los reportes con mecanismos tradicionales también requiere un alto esfuerzo. En cambio, se determinó que los otros tres análisis si tienen reportes asociados que pueden extraerse y utilizarse para facilitar el análisis, lo que explica el alto grado de implementación logrado en el grupo TI. En consecuencia, se identificó

que la elaboración de un reporte visual que ayude a analizar la evolución de la identificación de restricciones representa una oportunidad de mejora para el sistema TI, a abordarse en la etapa III.

Además, se corroboró a través de las entrevistas que la constancia y el grado de profundidad con el cual se realizan los análisis mejoran al contar con reportes de fácil extracción y entendimiento. Por ejemplo, los proyectos del grupo tradicional contaban con gráficos y reportes específicos de la evolución del indicador de liberación semanal, por lo cual este análisis obtuvo un puntaje bastante mayor a los otros 3 análisis en dicho grupo. Lo mismo ocurrió en el grupo TI donde 3 los 4 componentes contaban con reportes asociados que facilitaban los análisis y que permitieron la obtención de puntajes bastante mayores al componente sin dicho tipo de reportes.

4.5.2. Uso de información de causas de no cumplimiento

La tabla 4.14 presenta el uso de la información en análisis específicos de causas de no cumplimiento. En esta es posible observar que los 4 análisis medidos para el componente mejoraron con el uso de sistemas TI. Además, se puede observar una mejora global proporcional de un 73% en el uso de información.

Por otra parte, 3 de los 4 análisis obtuvieron un grado de implementación mayor a 80% en el grupo TI, siendo la evolución de la aparición de las causas de no cumplimiento el único que no obtuvo dicho grado, con un puntaje de 56%. No obstante, la evolución de la aparición de CNCs mejoró más de 3 veces con respecto al grupo tradicional. Otro análisis que mejoró significativamente fue el análisis de la composición de CNCs históricas cuyo factor de aumento fue igual a 2,4.

Los usuarios consultados, establecieron que la existencia de reportes de fácil extracción nuevamente facilitó la mejora en el grado de uso de la información. Sin embargo, en el caso de la evolución de aparición, las características del reporte hacían que fuera poco comprensible y por lo tanto, éste dejaba de utilizarse en las etapas finales de los proyectos ya que la cantidad de datos dificultaba entender las curvas. Pese a que el análisis de la evolución de CNCs decayera en el tiempo, es

posible observar que el grupo TI realiza un análisis bastante parejo y con alta profundidad. Por el contrario, en el grupo tradicional es evidente que el análisis se centra principalmente en las CNCs del corto plazo actual y que la información histórica sólo se analiza de forma consolidada en base a algún indicador de relevancia, impacto o frecuencia.

Tabla 4.14. Resultados uso de información de causas de no cumplimiento

Componente	Análisis	Grupo con soporte TI		Grupo con soporte tradicional		Factor de aumento	Factor aumento promedio
		Promedio análisis	Promedio componente	Promedio análisis	Promedio componente		
Uso de la información de causas de no cumplimiento	Composición CNCs históricas	91%	83%	38%	48%	2,4	1,73
	Composición CNCs del período actual	88%		79%		1,1	
	Relevancia e impacto de CNCs	94%		56%		1,7	
	Evolución de la aparición de CNCs	59%		18%		3,3	

Se consultó a los usuarios por qué el único análisis del grupo tradicional con un grado mayor a 70% fue la composición de las CNCs del período actual. Estos respondieron que se debe a tres razones: La primera es que el foco en las reuniones se pone en las causas del período anterior, por lo que involuntariamente dejan de analizarse las causas históricas.

La segunda razón es la cantidad de información asociada a las causas, la cual requiere de mucho tiempo para registrarse de forma sistemática. Por dicha razón, se pierde bastante información y los datos registrados no permiten un análisis en profundidad de la evolución y composición histórica. Por último, la tercera razón es en realidad una parte específica de la segunda, ya que se estableció que la relevancia e impacto no se analizaba cuantitativamente debido a la necesidad de tiempo e información de difícil acceso para calcular los impactos de manera sistemática.

En consecuencia, es posible inferir que la mejora lograda a través del uso de sistemas TI se debe a tres razones: En primer lugar, la información histórica está siempre

almacenada y disponible, por lo cual el análisis de ésta no debe limitarse exclusivamente a las reuniones. En segundo lugar, los sistemas TI recopilan la totalidad de la información histórica que se carga a su sistema. Por ende, mientras más información útil se recopile y ponga a disposición, sin que esto aumente el esfuerzo requerido para la utilización de las plataformas, más se beneficiará la capacidad de análisis. Por último, los softwares son capaces de realizar procesamiento complicados de datos de forma autónoma y rápida, lo que permite sistematizar cálculos como el del impacto y relevancia de las CNC sin que aquello requiera tiempo o esfuerzo de los usuarios.

4.5.3. Uso de información de acciones correctivas

La tabla 4.15 muestra los resultados obtenidos del estudio del uso de información en los proyectos estudiados. En esta se aprecia que el grado de utilización de la información para análisis es bajo en ambos grupos y que el mejor grado de análisis medido sólo es implementado completamente en menos de uno de cada tres proyectos. Pese a ello, se observa que el uso de sistemas TI también resulta beneficioso para este tipo de análisis. En específico, logró la implementación en aproximadamente 1 de cada 10 proyectos de dos análisis que resultaron ser inexistentes en los proyectos medidos del grupo tradicional. Así mismo, los análisis de efectividad y evolución de la planificación de acciones correctivas aumentaron más de 4 veces en el grupo TI.

Tabla 4.15. Resultados uso de información de acciones correctivas

Componente	Análisis	Grupo con soporte TI		Grupo con soporte tradicional		Factor de aumento	Factor aumento promedio
		Promedio análisis	Promedio componente	Promedio análisis	Promedio componente		
Uso de la información de acciones correctivas	Efectividad	24%	18%	6%	2%	4,0	9,00
	Análisis cuantitativo de impacto	9%		0%		9,0	
	Evolución de acciones correctivas planificadas en el tiempo	29%		3%		9,7	
	Evolución de acciones correctivas implementadas en el tiempo	9%		0%		9,0	

Las entrevistas realizadas a usuarios se enfocaron tanto en las mejoras logradas por la implementación de los sistemas TI, como en las razones causantes de la baja implementación. En primer lugar, se identificó que la plataforma logró resultados mayores a cero en todas las categorías por dos motivos: Su interfaz y alertas recuerdan la importancia de tomar acciones correctivas y sugieren tomarlas en cuanto se carga una causa de no cumplimiento. Adicionalmente, una vez cargada una acción correctiva, el software exige realizar el seguimiento y evaluar obligatoriamente la acción en la fecha de control planificada.

Sin embargo, la plataforma no cuenta con reportes gráficos o específicos asociados a la efectividad, planificación y gestión de acciones correctivas, por lo cual, los usuarios no identifican el valor que agrega su registro y esto causa que no exista un registro y control sistemático. Lo mismo ocurre en los proyectos tradicionales, en los cuales la toma, gestión y control de acciones no tiene asociados indicadores, reportes o análisis sistematizados, por lo que se plantean y gestionan casi exclusivamente de manera informal.

Por otra parte, si bien el análisis de la efectividad mejora en el grupo con soporte TI, este se realiza principalmente de forma cualitativa y sin tomarse toda la información disponible para el análisis y calificación. Además, los usuarios especificaron que una

vez evaluadas las acciones, no se utiliza la información de la efectividad para decisiones posteriores, razón por la cual, los proyectos sin soporte TI, dejan rápidamente de registrar la efectividad.

Por último, tampoco se detectó un análisis sistemático de la cantidad y tipo de acciones tomadas para determinados problemas en ninguno de los dos grupos. Esto quiere decir, que la decisión de implementar una acción correctiva no considera un análisis de la información disponible de acciones tomadas en el pasado para problemáticas similares. Más aun, se estableció que tampoco se realiza un control sistemático de cuándo se implementan realmente o cuándo deberían estudiarse sus impactos.

4.6. Análisis conjunto del registro y uso de información

A continuación se analiza la relación existente entre el registro y uso de información en los grupos con soporte tradicional y soporte TI. Por ende, se abordan las similitudes y diferencias de los resultados, las causantes identificadas y la correlación entre los resultados. Se determina que los componentes que tienen un nivel de uso alto cuentan con un tipo particular de reportes que facilitan la gestión de la información, y al mismo tiempo, que los reportes de IMPERA hacen que un mayor registro de información esté correlacionado con un mayor uso de ésta para el análisis.

4.6.1. Causantes de la diferencia en el uso de información y oportunidades

La figura 4.5 muestra el grado de utilización medido en el uso y registro de información para cada componente, separado entre el grupo con soporte tradicional y TI. En esta se puede observar la relación entre el registro y uso de información para cada componente.

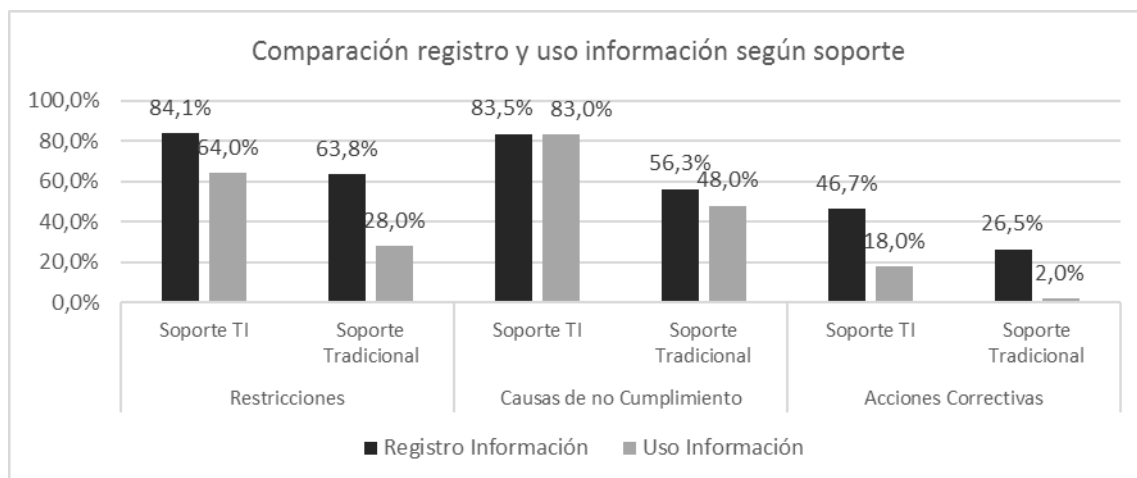


Figura 4.5. Comparativo conjunto del registro y uso de información

En primer lugar, es posible observar que pese a que el registro de información es similar entre las restricciones y causas de no cumplimiento, existe una diferencia notoria en el uso de información de ambos componentes. En particular, causas de no cumplimiento fue el único componente con un uso de información similar al registro, mientras que restricciones y acciones correctivas registraban más información de la que utilizaban y tenían un grado de análisis menor a su capacidad de registro. En consecuencia, debe existir un factor adicional al registro de información que promueva y facilite el análisis, dado que restricciones y causas de no cumplimiento tienen un alto grado de registro de información y una cantidad similar de información disponible, pero sin embargo tienen un grado de análisis diferente.

A través de entrevistas con usuarios se logró identificar qué factores resultan influyentes en el uso de la información. Se identificaron 4 factores relevantes:

- Capacidad de identificar el beneficio de la realización del análisis
- Capacidad de obtener y procesar fácilmente información
- Características de los reportes asociados al análisis
- Tiempo y esfuerzo asociado al análisis

Los resultados de los 3 componentes pueden explicarse utilizando los 4 factores. En el caso de las acciones correctivas, el bajo uso de la información se debe principalmente a los factores a) y b). Los usuarios no identifican el beneficio de

controlar y registrar la efectividad de las acciones y su cumplimiento dado que no realizan una gestión del conocimiento de las acciones ya implementadas a la hora de plantear nuevas. Así mismo, al momento de evaluar las acciones o controlarlas, deben recurrir a mucha información que no ha sido registrada de forma sistemática, por lo cual, las evaluaciones resultan cualitativas y no se usan criterios estandarizados, lo que provoca una pérdida de la utilidad del análisis posterior de la información.

Además, la diferencia entre el uso de la información de restricciones y de causas de no cumplimiento se explica por los factores c) y d). En particular, en el grupo con soporte TI, existen diversos reportes asociados a ambos componentes, sin embargo, las causas de no cumplimiento cuentan con reportes gráficos de composición y estado, además de tablas de detalle, por lo cual, se facilita el análisis sistemático de la información histórica. Las restricciones, por otra parte, cuentan sólo con reportes de la evolución de indicadores y tablas de detalle. Esto causa que, si bien se pueden realizar los mismos análisis que con las causas de no cumplimiento, estos toman más tiempo y esfuerzo dado que se requiere procesar los datos de las tablas de detalle y elaborar reportes gráficos.

Adicionalmente, en el grupo sin soporte TI, los usuarios determinaron que la diferencia en el uso de información se debe a la forma como se registran los datos, la cual facilita la elaboración de reportes gráficos y extracción de información de las causas de no cumplimiento, mientras que la información de restricciones requiere mayor procesamiento. Por ende, además de la forma en que se presenta la información, otro factor relevante es la forma como se registra y almacena, dado que esta puede facilitar o dificultar el procesamiento de información.

En consecuencia, se determina que si bien la disponibilidad de información es importante para permitir la elaboración de análisis específicos, dos de los aspectos fundamentales para promover el uso de la información es la forma de registro y almacenamiento y la disponibilidad de reportes simples de gestión visual. Un registro y visualización en tablas simples, con suficientes campos para permitir la agrupación, filtrado y procesamiento de datos permite extraer información de forma más rápida y acorde al tipo de análisis necesario.

Por otra parte, presentar la información actual e histórica en reportes gráficos de composición y estado, que se obtengan de forma automática, facilita la gestión de la información al requerir menos tiempo y esfuerzo en procesar y entender la información. Los reportes gráficos son preferibles por los usuarios dado que su comprensión a través de la gestión visual resulta más sencilla y por lo tanto, facilitan la difusión y comprensión de la información.

Por último, en todos los componentes se identificó información que se captura y que no es utilizada en el análisis, debido a que no se conoce, su procesamiento es dificultoso o no se entiende el valor agregado de su análisis. Conociéndose que la integración de reportes gráficos automatizados y acompañados de tablas de detalle facilita la gestión de la información, la elaboración de nuevos reportes que cumplan con dichas características es detectada como una oportunidad para nivelar y mejorar la gestión de la información.

4.6.2. Correlación entre el registro y el uso de información

Uno de los factores diferenciadores entre el uso de soporte TI y los mecanismos tradicionales de soporte de la metodología, es la estandarización del registro y visualización de la información. Según los usuarios entrevistados, una de las problemáticas del soporte tradicional es que la información puede ser ingresada en cualquier momento y si bien existe una estructura, no existen mecanismos que validen sistemáticamente la estructura y lógica de los datos ingresados.

Por otra parte, los sistemas tradicionales, si bien tienen ciertos reportes automatizados, estos dependen de la información registrada, la cual tiene las problemáticas ya mencionadas. Esto hace que los reportes puedan presentar inconsistencias o bien que algunos reportes no se generen debido a la falta de información. De la misma manera, la elaboración manual de reportes también depende de la calidad y cantidad de información registrada, por lo cual estos sistemas no pueden garantizar que se cuente de forma constante con reportes actualizados.

Ambas problemáticas pueden evitarse a través del uso de sistemas TI, ya que estos pueden hacer obligatorio el registro de determinada información con una frecuencia

constante, con los mismos parámetros y de forma sistemática. Aquello asegura que se cuente con la misma información a lo largo del proyecto y evita o minimiza la cantidad de inconsistencias que puedan encontrarse en los datos. Así mismo, los reportes se generan constantemente de forma automática, evitando el esfuerzo asociado a su construcción y permitiendo que el proyecto pueda ser controlado a través de los mismos reportes a lo largo del tiempo.

Por ende, puede inferirse que a lo menos en los sistemas TI, el registro de la información está correlacionado con el uso de la misma, dado que si ésta se registra, estará disponible inmediatamente para el análisis a través de múltiples reportes. En los proyectos tradicionales por el contrario, dicha relación puede no cumplirse dado que la información registrada puede presentar inconsistencias, el registro puede no ser sistemático y puede que los reportes no cuenten con toda la información necesaria o que éstos requieran un esfuerzo adicional para elaborarse.

Con el fin de analizar la correlación en ambos grupos, se realizaron test del estadístico de correlación R^2 en cada grupo y cada componente. Los resultados se presentan en la figura 4.6.

Los resultados del análisis de correlación se resumen en la tabla 4.16. En esta es posible observar que el valor de R medido como la correlación entre el registro y uso de información para un componente y grupo específico, fue siempre mayor en el grupo con soporte TI que en el grupo tradicional. Además, en los componentes restricciones y causas de no cumplimiento se obtuvo un valor de R mayor a 0,5 que implica que puede inferirse que un mejor registro de la información se correlaciona con un mayor grado de análisis. En las acciones correctivas, si bien no se obtuvo un R mayor a 0,5, el estadístico es más de 6 veces superior en el grupo con soporte TI que el grupo tradicional. Además, considerándose el bajo grado de registro y uso de la información de acciones correctivas, podría esperarse que con un uso más sistemático, pueda obtenerse una correlación estadísticamente relevante.

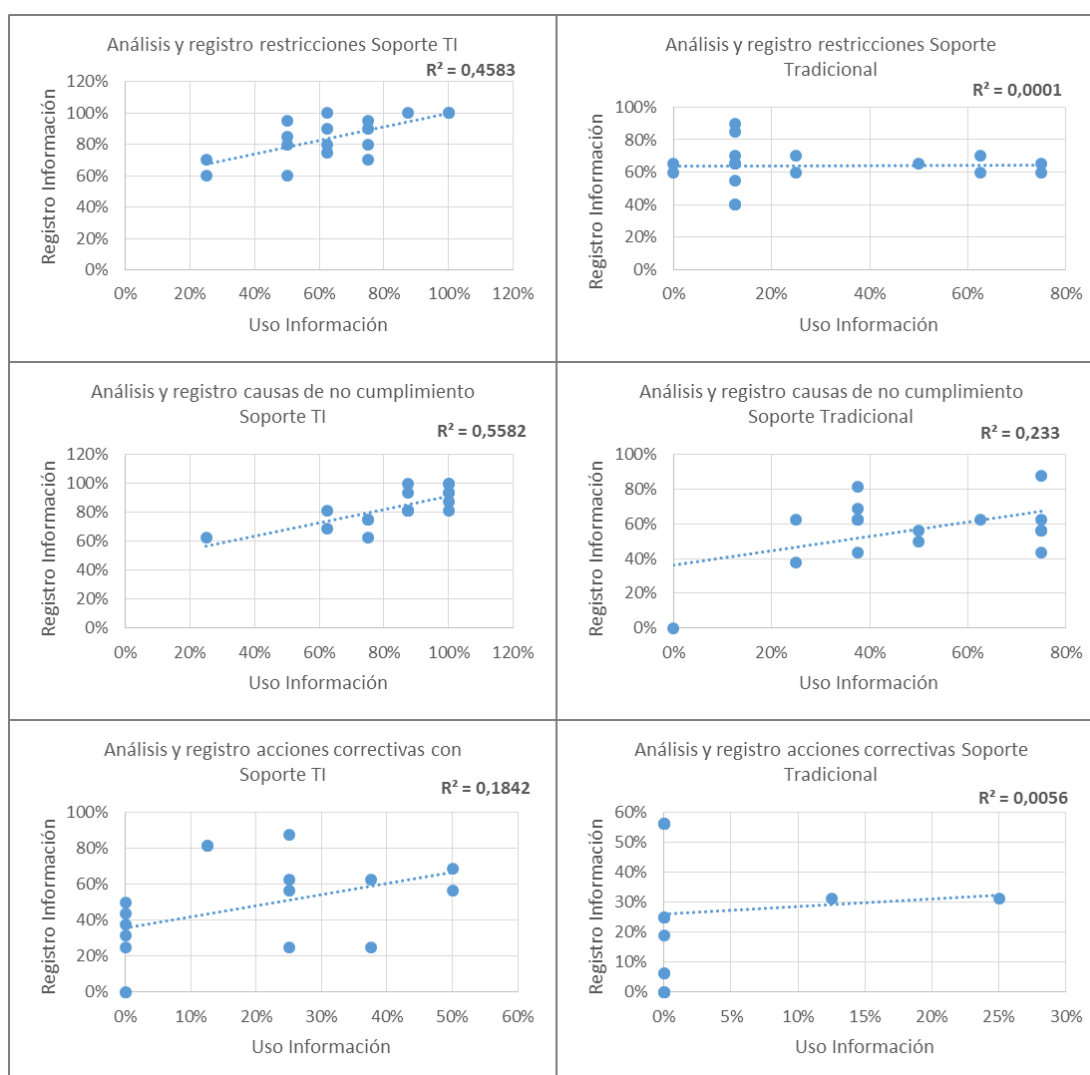


Figura 4.6. Comparativo de la correlación entre el registro y uso de la información

Tabla 4.16. Comparativo de resultados de correlaciones entre grupos

	Soporte TI	Soporte Tradicional
	Estadístico de correlación [R]	Estadístico de correlación [R]
Restricciones	0,68	0,01
Causas de no cumplimiento	0,75	0,48
Acciones correctivas	0,43	0,07

Otro factor importante de mencionar es que el R de las causas de no cumplimiento fue el mayor en ambos grupos, lo que reafirma que las características de la reportabilidad de las causas de no cumplimiento, que son la disponibilidad de múltiples reportes gráficos simples de composición y estado, facilitan y promueven el uso de la información. Esto es visible ya que existe una correlación fuerte entre el registro y uso de la información, lo que implica que no sólo el grado promedio medido es mayor y más parecido, sino que mientras más información se registra, mejor es la capacidad de análisis y el uso de la información en los proyectos estudiados.

4.7. Conclusiones en base al análisis de resultados

En primer lugar, puede concluirse que se cumplió con el primer objetivo específico de la investigación, dado que se recopiló información útil que muestra diferencias significativas en la gestión de la información de proyectos que utilizan sistemas tradicionales y sistemas de tecnologías de la información para el soporte de la metodología *Last Planner*. Los resultados, pertenecientes a un universo de 34 proyectos de construcción chilenos, compuestos por 21 proyectos de edificación, 6 proyectos de montaje industrial, 3 proyectos de obras civiles y construcción de gran envergadura y 3 proyectos de construcción en faenas mineras, permitieron identificar información que no es registrada por ambos sistemas, información que se registra pero no se utiliza y las características que propician la utilización de la información. Adicionalmente se identificaron diferencias estadísticamente relevantes entre el grupo compuesto por 17 proyectos que utilizan sistemas tradicionales de soporte como Microsoft Excel y el grupo de 17 proyectos que utilizaba el sistema computacional analizado. Dichas diferencias muestran que existe una mejora significativa en el registro y uso de la información de los 3 componentes con el uso de sistemas TI. Además, fue posible identificar qué componentes tienen un mejor registro de la información, en qué componentes se logra un mejor uso y las razones por las cuales se producen las diferencias en la gestión de la información.

Por otra parte, se identificaron oportunidades de mejora en el uso y registro de la información, así como características asociadas a la forma en la cual se presenta la información para potenciar la elaboración de análisis complejos. Por consiguiente, esta etapa de la investigación también resultó útil para la determinación de oportunidades y necesidades para el desarrollo de herramientas de gestión complementarias a la plataforma computacional analizada.

Finalmente, dado que se logró identificar mejoras estadísticamente relevantes en el registro de la información y su uso en la elaboración de análisis específicos para los tres componentes, es posible concluir que se validó la primera hipótesis. Por lo cual, es posible afirmar, considerándose el alcance y las limitaciones de la investigación, que existe evidencia estadísticamente válida para inferir que el uso de tecnologías de la información mejora la gestión de la información de *Last Planner*. Además, en base a los resultados observados, puede inferirse que la elaboración e implementación de herramientas de gestión de la información que cumplan con las características identificadas como necesarias para potenciar el registro y uso de los datos, resultaría beneficiosa para el soporte de la metodología en proyectos de construcción.

5. DESARROLLO DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

Esta sección se compone de dos grandes etapas. En primer lugar, el desarrollo de un módulo de reportes que permita poner a disposición la información de *Last Planner* para facilitar la toma de decisiones. En segundo lugar, se desarrolló un módulo de gestión de la información en terreno. Dicho módulo permite a los últimos planificadores acceder a la información de sus compromisos, notificar su estado, notificar cambios en terreno y facilitar la comunicación con los encargados de programación y últimos planificadores indirectos. Para la construcción de ambos módulos se dio respuesta a la segunda pregunta de investigación, al comienzo de cada una de las dos etapas de esta sección. Una vez concluido el desarrollo de los módulos, se logró cumplir con el segundo objetivo de la investigación.

5.1. Módulo de reportes

Éste módulo corresponde a un panel compuesto de grupos de reportes por componente metodológico, el cual pone a disposición la información de LPS a través de reportes gráficos. El objetivo del desarrollo es que el módulo facilite la gestión de la información y promueva la realización de análisis más profundos a través de la gestión visual.

5.1.1. Identificación de necesidades y características necesarias de los reportes

A través de la realización de mesas de trabajo y entrevistas individuales abiertas a los usuarios del panel avanzado e intermedio, se obtuvo un listado de 16 características mencionadas por los usuarios como necesarias para que los reportes faciliten la gestión de la información de *Last Planner*. Las respuestas similares fueron agrupadas en una misma característica, registrándose el número de usuarios que la mencionaron. Además, el resultado del proceso fue presentado a los usuarios para verificar que todas las características mencionadas estuvieran registradas en el listado consolidado. A continuación, la tabla 5.1 presenta el resultado del proceso.

Tabla 5.1. Características preliminares necesarias en módulo de reportes

Característica mencionada	Número de menciones
Entendimiento sencillo, fácil y rápido	7
Contener información necesaria para la elaboración de reportes más complejos	6
Posibilidad de filtrar	5
Permitir y promover la gestión visual de la información	4
Evidenciar tendencias	4
Fácil acceso	4
Facilidad de extracción y envío de reportes	3
Contener información histórica y del presente	3
Posibilidad de ordenar datos	2
Variedad	2
Orden claro de la información	2
Actualización automática	2
Acompañar gráficos de tablas resumen	1
Tener parámetros de borde del cumplimiento	1
Posibilidad de analizar múltiples indicadores en un mismo reporte	1

Posteriormente, se realizó una revisión de las 16 menciones en una sesión conjunta con los miembros del panel de usuarios avanzados, en la cual se agruparon en 6 características generales. El listado abreviado, fue comparado con el listado inicial, para verificar que la totalidad de las características mencionadas estuvieran cubiertas por el listado final.

Dicho listado fue entregado a los usuarios de ambos paneles, a quienes se les solicitó ordenar según prioridad descendente las 6 características. Una vez recopiladas las 10 respuestas, se asignaron 6 a 1 puntos a cada característica según la respuesta de cada usuario. Posteriormente, los puntajes de cada característica fueron sumados para poder realizar una priorización final en base a las respuestas. De esta manera, la característica que obtuvo un puntaje mayor fue designada como primera prioridad y así sucesivamente. Finalmente, el orden priorizado fue revisado y validado por los usuarios avanzados. La priorización determinada es presentada en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Características priorizadas del módulo de reportes

N°	Característica de los reportes
1°	Claridad, orden y facilidad de entendimiento de la información
2°	Existencia de reportes visuales como gráficos, que faciliten la gestión visual
3°	Existencia de múltiples y variados reportes que sean presentados en conjunto en un panel que facilite el análisis
4°	Facilidad para filtrar y ordenar la información de acuerdo con las necesidades del usuario
5°	Facilidad de acceso, extracción y envío de los reportes
6°	Posibilidad de la elaboración de reportes complejos, basados en el detalle de la información presentada en los reportes

Adicionalmente, se le pidió a cada usuario ordenar según grado de cumplimiento de cada característica, a los 3 componentes. En consecuencia, para cada característica, cada usuario asignó 3 puntos al componente cuyos reportes existentes satisficieran mejor la característica, dos al siguiente y 1 ó 0 puntos al con menor satisfacción. La asignación de 0 puntos se utilizó para designar a los componentes cuya reportabilidad no cumpliera en absoluto con una característica específica.

Al igual que en el caso anterior, los puntajes de cada componente fueron sumados para cada característica, obteniéndose una priorización de los componentes, según grado de satisfacción de cada característica. Dichos resultados fueron traspasados a una matriz, en la cual se designó como 1° lugar al componente con un mayor satisfacción, 2° al siguiente y 3° al último, para cada característica. Además, se designó con el símbolo N/A en la matriz a los componentes que no cumplieron con una característica específica. La tabla 5.3 muestra la matriz mencionada.

La matriz comparativa permitió encontrar tendencias entre los componentes y entre las características. Por ejemplo, fue posible identificar que acciones correctivas fue el componente peor evaluado en las 6 características y que, además, no satisfacía el criterio base de 3 de las 6 características. Por otra parte, la tabla permitió identificar que las causas de no cumplimiento contaban con mayor variedad de reportes, mejor gestión visual y que éstos eran considerados de más fácil entendimiento que los reportes de restricciones. Por último, las restricciones fueron mejor evaluadas con referencia a la información, ya que permitían análisis más complejos y permitían

filtrar, ordenar, extraer y enviar fácilmente la información existente. Sin embargo, contaban con una evaluación menor en las características de fácil entendimiento, gestión visual y variedad.

Tabla 5.3. Matriz comparativa cumplimiento características reportabilidad existente

N°	Característica de los reportes	Restricciones	Causas de no cumplimiento	Acciones correctivas
N°1	Claridad, orden y facilidad de entendimiento de la información	2°	1°	3°
N°2	Existencia de reportes visuales como gráficos, que faciliten la gestión visual	2°	1°	N/A
N°3	Existencia de múltiples y variados reportes que sean presentados en conjunto en un panel que facilite el análisis	2°	1°	N/A
N°4	Facilidad para filtrar y ordenar la información de acuerdo con las necesidades del usuario	1°	2°	3°
N°5	Facilidad de acceso, extracción y envío de los reportes	1°	2°	3°
N°6	Posibilidad de la elaboración de reportes complejos, basados en el detalle de la información presentada en los reportes	1°	2°	N/A

Para complementar las identificaciones realizadas mediante el análisis de la tabla comparativa, se realizó un testeo práctico de los componentes de reportabilidad de la plataforma computacional. Para ello, se accedió a 5 proyectos disponibles en la base de datos del software que contaban con toda la información requerida por los reportes de la herramienta. Se descargaron y analizaron todos los reportes entregados por la plataforma y se clasificaron en 5 categorías según la información contenida en los reportes y 2 subcategorías que representaban si éstos eran presentados en tablas o gráficos. Posteriormente, se registró en una matriz comparativa si la plataforma contaba con el tipo de reporte para cada componente y si su información se presentaba en la forma de tablas o gráficos.

La matriz, que se presenta en la tabla 5.4, fue comparada con la matriz del grado de satisfacción de las características, obteniéndose similitudes y diferencias. Además, el análisis se complementó con entrevistas a usuarios para identificar razones para las similitudes y diferencias entre los resultados. La utilización de estas tres fuentes

(Matriz de satisfacción de características, matriz de contenido de reportes y entrevistas) permitió realizar un análisis de las características de la reportabilidad de cada componente y la satisfacción de las características necesarias definidas por los usuarios.

Tabla 5.4. Matriz comparativa tipos de reportes existentes

		Restricciones	Causas de no cumplimiento	Acciones correctivas
Composición	Gráfico	NO	SI	NO
	Tabla	NO	SI	NO
Evolución de aparición	Gráfico	NO	SI	NO
	Tabla	NO	SI	NO
Estado de indicadores	Gráfico	SI	NO	NO
	Tabla	SI	NO	NO
Evolución de indicadores	Gráfico	SI	NO	NO
	Tabla	SI	NO	NO
Tabla detalle	Tabla	SI	SI	SI

El análisis de los tipos de reportes existentes en el software permitió identificar una tendencia muy similar a la encontrada a través de la clasificación entregada por los usuarios. En primer lugar, acciones correctivas cuenta con un solo reporte consistente en una tabla de detalle y no existen ni gráficos ni tablas resumen de la composición o indicadores de las acciones correctivas, lo que explica por qué la reportabilidad de las acciones correctivas fue calificada en último lugar.

Además, se verificó que existen múltiples gráficos de composición de las causas de no cumplimiento y evolución de su aparición en el tiempo, mientras que no existen gráficos o tablas que presenten indicadores cuantitativos de las causas de no cumplimiento, además de las cantidades. En consecuencia, no hay gráficos o tablas de impactos, frecuencia promedio u otro indicador que facilite la realización de análisis complejos. No obstante, la tabla de detalle permite profundizar algunos análisis utilizando herramientas como tablas dinámicas. Por ejemplo, el testeo con proyectos reales permitió construir gráficos de impacto promedio en el avance, evolución de la aparición por áreas del proyecto, determinar tareas más afectadas,

entre otros análisis, utilizando tablas dinámicas de Excel que trabajaran sobre la tabla de detalle entregada por el software.

Por otra parte, se identificó que el software no contiene gráficos o tablas de composición de restricciones, por familia, área, tipo u otro. Tampoco contiene gráficos o tablas del estado de liberación de las restricciones. Sin embargo, cuenta con indicadores del estado de los indicadores asociados a las restricciones y su evolución, como el caso de los gráficos de PCR o confiabilidad de responsables. Por último, el software cuenta con una tabla con gran cantidad de información de las restricciones, que posibilita nuevos análisis y la elaboración de nuevos reportes.

El análisis comparativo de las últimas dos tablas permitió identificar tendencias comunes. La primera de ellas, fue que acciones correctivas fue la peor en la satisfacción de características necesarias y la existencia de reportes. Así mismo, causas de no cumplimiento contaba con múltiples gráficos y tablas de composición y evolución y también el primer lugar en claridad de la información, gestión visual y variedad. Restricciones obtuvo el primer lugar en la capacidad de filtrar y ordenar la información, la facilidad de acceso y difusión de la información y capacidad de elaborar análisis complejos, siendo también el único componente con múltiples reportes de indicadores.

En consecuencia, se puede inferir que la existencia de reportes gráficos de composición ayuda a la gestión visual y el rápido entendimiento y que la existencia de tablas de detalle y múltiples indicadores facilita la elaboración de análisis complejos. Además, se puede inferir que la existencia de reportes es fundamental para el análisis de la información, ya que la falta de reportes adicionales a las tablas de detalle explica la baja satisfacción de las características de la reportabilidad, como ocurrió en el caso de las acciones correctivas, y que dicha satisfacción está asociada al tipo de reporte que se presenta.

Además, las entrevistas a usuarios permitieron obtener una serie de conclusiones respecto a las necesidades y oportunidades de mejora de la reportabilidad de los componentes específicos en el software:

- a) Las primeras fuentes de información que se buscan al momento del análisis de un determinado componente son gráficos de composición que permitan

dimensionar, cuantificar, determinar dónde existe un problema y si existe información suficiente para analizarlo.

- b) Posteriormente se buscan gráficos del estado de indicadores específicos para proporcionar parámetros al análisis. Éstos pueden complementarse con gráficos de evolución de los indicadores si se necesita un análisis del comportamiento en el tiempo y/o tendencias.
- c) Las tablas de detalle son sólo accedidas una vez que se tiene en conocimiento la información de los reportes de composición y de indicadores y cuándo se necesita un análisis en profundidad de información específica.
- d) La primera fuente de información que se analiza son los gráficos ya que permiten una gestión visual y más rápida. Los gráficos de torta son los más preferidos, seguidos por gráficos de barras. Las curvas o gráficos de tendencia son más difíciles de entender por lo que se recurre a éstos sólo en análisis más profundos.
- e) El acompañamiento de los gráficos con una tabla resumen es importante pero sólo para una segunda mirada en mayor profundidad o para la realización de análisis en detalle. En consecuencia, no se necesita en primera instancia tener las tablas junto a cada reporte, pero sí que estas puedan ser accedidas fácilmente en caso de necesitarse un detalle del reporte.
- f) Los usuarios tratan de consolidar múltiples fuentes de información antes de realizar un análisis detallado por lo que la existencia de paneles con múltiples reportes facilitaría el proceso.

En consecuencia, las conclusiones del proceso de análisis y las entrevistas permitieron determinar cuáles son las características necesarias para que las herramientas de reportes fomenten la realización de análisis de la información, determinar qué tipos de reportes son más propicios según dichas características, un orden de relevancia de la presentación de información en base a cómo los usuarios acceden a ésta y la necesidad fundamental de juntar múltiples fuentes de información en un solo reporte.

5.1.2. Definición de las características de la herramienta y desarrollo del prototipo

En base al análisis anterior se elaboró un listado de requerimientos de la herramienta de reportes, los cuales se consolidaron en una definición de alcance: Debe mostrar la información a través de un panel o *dashboard* de gráficos que combinen gráficos de composición, indicadores y evolución del componente, esquematizado de lo general a lo particular, acompañados de una tabla de detalle con la información necesaria para la realización de análisis de detalle y que cuente con un sistema que permita filtrar la información de manera sencilla en uno o múltiples gráficos para la elaboración de reportes de acuerdo a necesidades personalizadas de un determinado usuario.

Además, se recopilaron requerimientos específicos, de acuerdo a las necesidades establecidas por el panel de usuarios intermedios, ya que éstos son quienes tendrían el uso más frecuente de la herramienta. Los requerimientos específicos son los listados a continuación:

- a) Debe permitir la visualización de a lo menos 4 gráficos al unísono para permitir análisis con múltiples fuentes de información.
- b) Las tablas de detalle deben ubicarse bajo los gráficos e indicadores dado que serán utilizadas con menor frecuencia.
- c) El orden de la información se establecerá de acuerdo con la frecuencia de uso de la información, por lo que las restricciones ocuparán el primer lugar, dado que se gestionan diariamente, luego las causas de no cumplimiento, que se gestionan semanalmente y finalmente las acciones correctivas, dado que estas se gestionan en períodos de tiempo mayores.
- d) El *dashboard* debe incluir también indicadores básicos de cumplimiento de programa y compromisos, dado que permitirán introducir el análisis de las razones del cumplimiento o incumplimiento, las cuales podrán identificarse analizando la información de los otros tres componentes.

- e) La herramienta debe permitir la visualización en navegadores de computador y dispositivos móviles para facilitar el rápido acceso a la información mediante distintos medios.
- f) La herramienta debe permitir exportar gráficos, tablas o información específica para facilitar la difusión, envío o registro de ésta.

Una vez definidos los requerimientos base, se definieron los reportes a incorporarse. Para ello, se utilizó como base la matriz de análisis confeccionada inicialmente, la cual se muestra en la tabla 5.5. Los análisis de la matriz fueron transformados, con la ayuda del panel de usuarios avanzados, en reportes específicos para la realización de dichos análisis. Este listado fue complementado con otros reportes que fueron considerados de utilidad por parte los usuarios, quienes elaboraron esquemas visuales simplificados de los reportes considerados como útiles. Luego, el listado fue analizado en conjunto, determinándose una lista de 20 reportes cuya utilización facilita la realización de los análisis mencionados.

Con la ayuda del panel de usuarios avanzados, se presentaron 20 prototipos visuales de dichos reportes, confeccionados con datos reales de proyectos, a través de las herramientas gráficas de Excel y una descripción de cada uno de ellos. Tanto el listado, como los prototipos visuales y las descripciones fueron presentados al panel de usuarios intermedios para su validación, dado que éstos son los que tienen mayor contacto con los reportes en la elaboración de análisis e informes. La tabla 5.6 presenta la descripción de los reportes incorporados.

Luego de esto, se confeccionó un prototipo no funcional que consolidara los reportes con los datos de un proyecto real y éste fue presentado al panel de expertos de *Last Planner*, explicándose el proceso de análisis a realizarse con la información, para luego obtener la validación de los expertos. Una vez validado, se desarrolló un prototipo funcional, elaborado en Excel y que incluía las funcionalidades básicas, como filtros, a incorporarse en la versión definitiva.

Tabla 5.5. Reportes levantados inicialmente

	Restricciones	Causas de no cumplimiento	Acciones correctivas
Información histórica	Estado de liberación de restricciones Evolución de indicador global de liberación Cantidad de restricciones identificadas	Frecuencia de CNCs Impactos de CNCs Orígenes de CNCs	Efectividad de las acciones correctivas Cantidad de acciones correctivas planificadas e implementadas
Composición	Tipo de restricciones identificadas y pendientes Familias de restricciones identificadas y pendientes Áreas del proyecto con mayor cantidad de restricciones Cantidad de restricciones por responsable	Tipos de CNCs Orígenes (Áreas o funciones del proyecto) de CNCs Fuentes (Internas o externas) de CNCs Composición por período	Tipos de acciones correctivas planificadas e implementadas
Cumplimiento de parámetros	Liberación semanal Cumplimiento de compromisos de liberación Tiempos asociados a la gestión de restricciones	Disminución de la frecuencia de aparición Disminución del impacto	Efectividad de las acciones correctivas Cumplimiento de los plazos de implementación planificados
Análisis de la evolución del componente	Restricciones identificadas por período Liberación por período Planificación de liberación por período	Cantidad por período Evolución de la aparición por tipo Evolución de la aparición por origen Evolución de la aparición por fuente Evolución del impacto	Cantidad planificada en el tiempo Cantidad implementada en el tiempo Evolución de la efectividad

Tabla 5.6. Reportes incorporados al módulo

Componente	Reporte	Descripción
Cumplimiento de programa y compromisos	Confiabilidad de responsables	Gráfico de barras con la información del porcentaje de restricciones liberadas por responsable (PCR de la semana y su PCR acumulado)
	Evolución del SPI	Gráfico de líneas con la evolución del SPI por semana
	Curva de avance	Gráfico de la curva de avance proyectada y real
	Evolución del PPC y avance semanal	Gráfico de líneas que contiene el PPC semanal en un eje primario y el avance semanal en un eje secundario
	PPC por función	Gráfico de barras que contiene el PPC semanal y acumulado de las áreas o funciones (constructora, proveedores, subcontratos, etc.) del proyecto
Restricciones	Estado restricciones	Gráfico de torta con la cantidad de restricciones liberadas a tiempo, liberadas con atraso, pendientes en plazo o atrasadas
	Estado restricciones por familia	Gráfico de barras con la cantidad de restricciones liberadas y pendientes por familia
	Identificación de restricciones	Gráfico de líneas con la cantidad de restricciones identificadas en cada semana
	Evolución del PCR	Gráfico de líneas del PCR semanal y la evolución del PCR acumulado
	Detalle de restricciones	Tabla con la información en detalle de cada restricción
Causas de no cumplimiento	Orígenes de CNCs	Gráfico de torta con la cantidad de CNCs históricas que afectaron a cada función
	Pareto de tipos de CNCs	Gráfico de Pareto con la cantidad de CNCs por tipo
	Aparición de CNCs	Gráfico de líneas con la cantidad de CNCs de cada tipo por período, representadas por una línea por cada tipo
	Fuentes de CNCs	Gráfico de líneas con la cantidad de CNCs de fuentes internas o externas por período, representadas cada una por una línea
	Detalle de causas de no cumplimiento	Tabla con la información en detalle de cada CNC
Acciones correctivas	Impacto de acciones correctivas	Gráfico de torta con el impacto de las acciones correctivas, separadas en preventivas o reactivas
	Distribución de acciones correctivas	Gráfico de barras con la cantidad de acciones preventivas y reactivas tomadas para cada tipo de CNC
	Efectividad de acciones correctivas	Gráfico de barras con la cantidad de acciones efectivas e inefectivas, separadas en acciones preventivas y reactivas
	Efectividad por tipo de CNC	Gráfico de barras con el porcentaje de acciones efectivas e inefectivas para cada tipo de CNC
	Detalle de acciones correctivas	Tabla con la información en detalle de cada acción correctiva

5.1.3. Versión final del módulo

Luego de la implementación y testeo del prototipo funcional, se decidió modificar uno de los reportes e incluir un reporte adicional. Dado que las acciones correctivas pueden ser evaluadas como inefectivas o efectivas y que su efectividad puede evaluarse como alta, media o baja, se decidió modificar el reporte de efectividad de las acciones correctivas por tipo de CNC, convirtiéndolo en un gráfico de barras apiladas, consistente en una barra por tipo de CNC, con el detalle de las acciones catalogadas como inefectivas, baja, media o alta efectividad.

Además, se incorporó un gráfico del estado de acciones correctivas, en el cual se mostrara la cantidad de acciones controladas, implementadas y planificadas, separadas por tipo de acción (preventiva o reactiva). Para ello, se decidió reemplazar la torta de impacto de las acciones correctivas por una torta con el estado de las acciones, filtrable por tipo de acción. La figura 5.1 presenta un esquema de los componentes finales de la herramienta y su distribución; además, la figura 5.2 muestra una sección del módulo final de reportes.

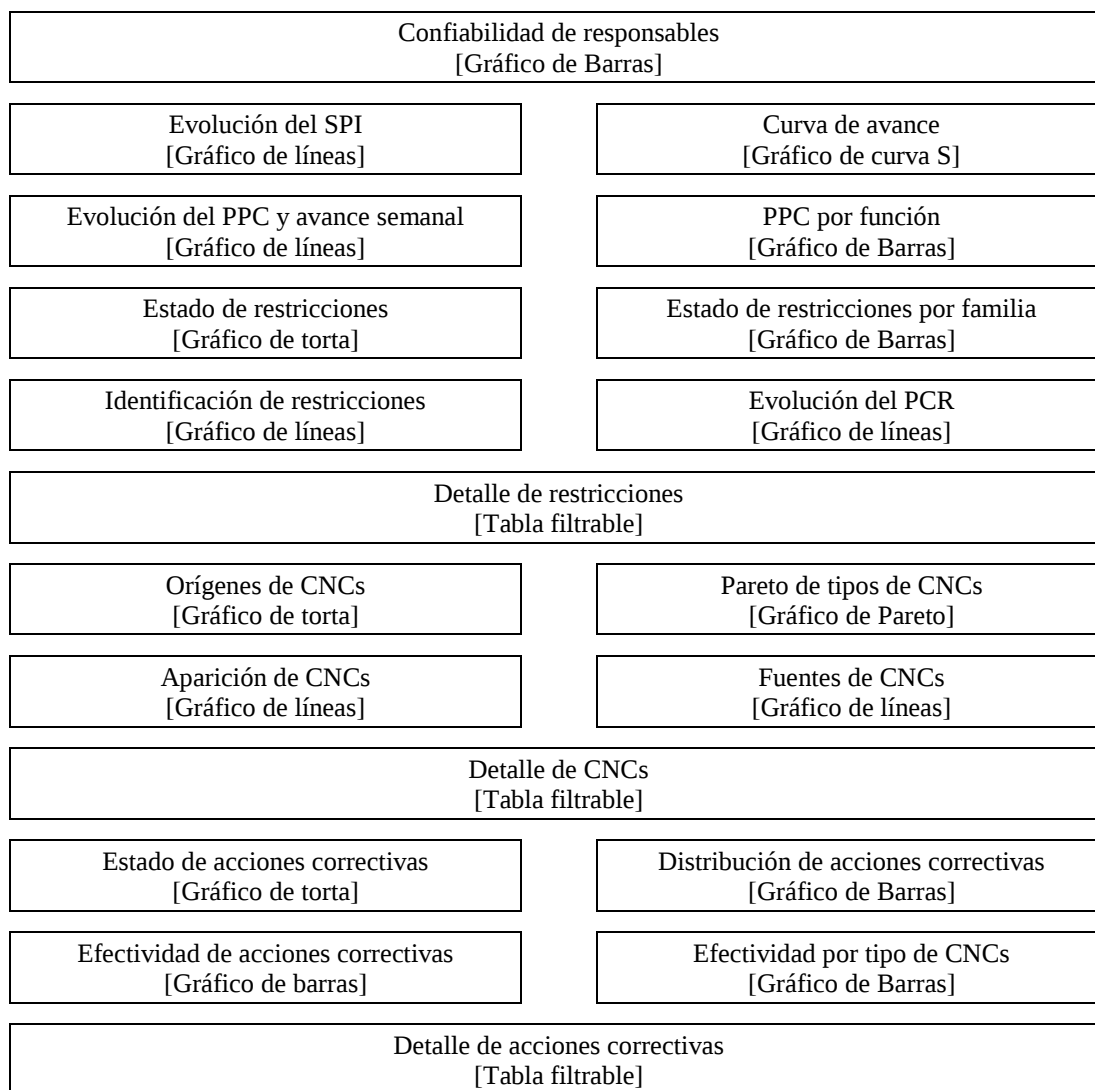


Figura 5.1. Esquema módulo reportes

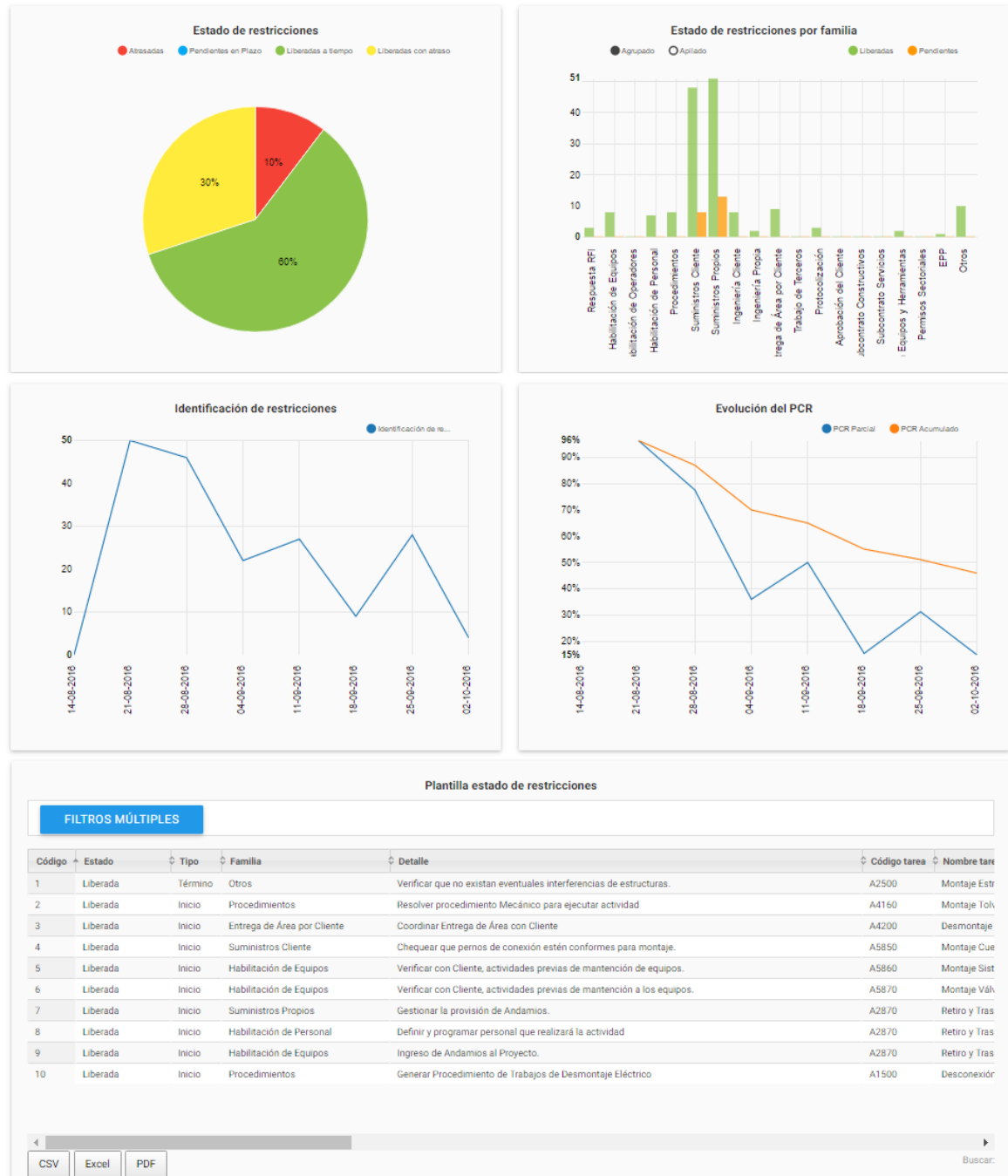


Figura 5.2. Sección restricciones módulo de reportes

5.2. Módulo de recopilación de información y gestión en terreno

Este módulo servirá para capturar la información en terreno y facilitar la comunicación entre los últimos planificadores directos y los equipos funcionales de obra. Por tanto, el módulo permitirá conocer y gestionar los compromisos semanales de cada responsable, notificando al resto su estado y cambios que ocurran en la programación. De ésta forma, la información se pone a disposición inmediata del equipo para su registro en el software.

5.2.1. Identificación de problemáticas, necesidades y oportunidades

En primer lugar se llevaron a cabo sesiones de trabajo conjunto, entrevistas no estructuradas y cuestionarios estructurados para identificar las problemáticas, necesidades y oportunidades para el desarrollo del módulo de gestión en terreno. Para ello, se confeccionó un listado de las condiciones en las cuales debería funcionar el módulo, luego las problemáticas que debería resolver, luego las causas raíces de dichas problemas y finalmente qué necesidades y oportunidades se desprenden de las causas raíces. La figura 5.3 muestra la metodología de esta primera etapa.

Una vez que se levantaron las problemáticas, se consolidaron y fueron presentadas a los usuarios para la validación de las descripciones y la suficiencia de las problemáticas identificadas. Posteriormente, se realizaron sesiones grupales de búsqueda de la causa raíz a través del método de los 5 por qué (Ballard, 2000b). Las necesidades fueron establecidas en base a cada causa raíz y luego se unificaron en un listado que sirviera de base para la formulación de las oportunidades. La figura 5.4 muestra el listado de problemáticas, causas raíces, necesidades y oportunidades identificadas.

Análisis de problemáticas, necesidades y oportunidades a cubrir con el módulo de gestión en terreno		
Sub-Etapa	Método	Fuentes información
Condiciones de borde	- Entrevistas - Mesas de trabajo	- Criterio de usuarios avanzados - Criterio de usuarios intermedios
Problemáticas	- Entrevistas - Cuestionario abierto	- Criterio de usuarios avanzados - Criterio de usuarios intermedios
Causas raíces	- Mesas de trabajo - Método de los 5 por qué (Ballard, 2000b).	- Criterio de usuarios avanzados - Criterio de usuarios intermedios
Oportunidades y necesidades	Cuestionario estructurado	- Criterio de usuarios avanzados - Criterio de usuarios intermedios

Figura 5.3. Metodología planteamiento módulo terreno



Figura 5.4. Resultado del análisis de problemáticas, necesidades y oportunidades

5.2.2. Diseño de la herramienta

En primer lugar se realizó la delimitación del alcance de la herramienta, basada en la información recopilada en la etapa anterior. El resultado de la delimitación de alcance, el cual fue validado mediante el método Delphi (Dalkey, 1969) con el panel de usuarios y con la ayuda del cuestionario incluido en el anexo F, se presenta a continuación:

- a) Sistema de tecnologías de la información que permita uso en dispositivos móviles en terreno
- b) Sistema que permita asegurar integridad y respaldo de la información
- c) Sistema unificado de captura, gestión y comunicación de información
- d) Sistema integrado al software de soporte de *Last Planner*
- e) Acceso a información de restricciones y tareas
- f) Capacidad de notificar compromisos, cumplimiento, incumplimiento, reprogramación e identificación
- g) Capacidad de filtrar y monitorear notificaciones y flujo de información

Posteriormente, se realizó un análisis de la gestión de compromisos necesaria en terreno que permitiera identificar qué información mostrar, capturar y comunicar. A través de entrevistas con usuarios intermedios, visitas a terreno y entrevistas con los últimos planificadores se determinó el flujo de información de la gestión semanal entre el equipo de planificación de oficina y los últimos planificadores, además del tipo de información que debería enviarse desde y hacia terreno. La figura 5.5 presenta un diagrama de los tipos de notificaciones que pueden enviarse desde y hacia terreno según el resultado de la gestión de compromisos.

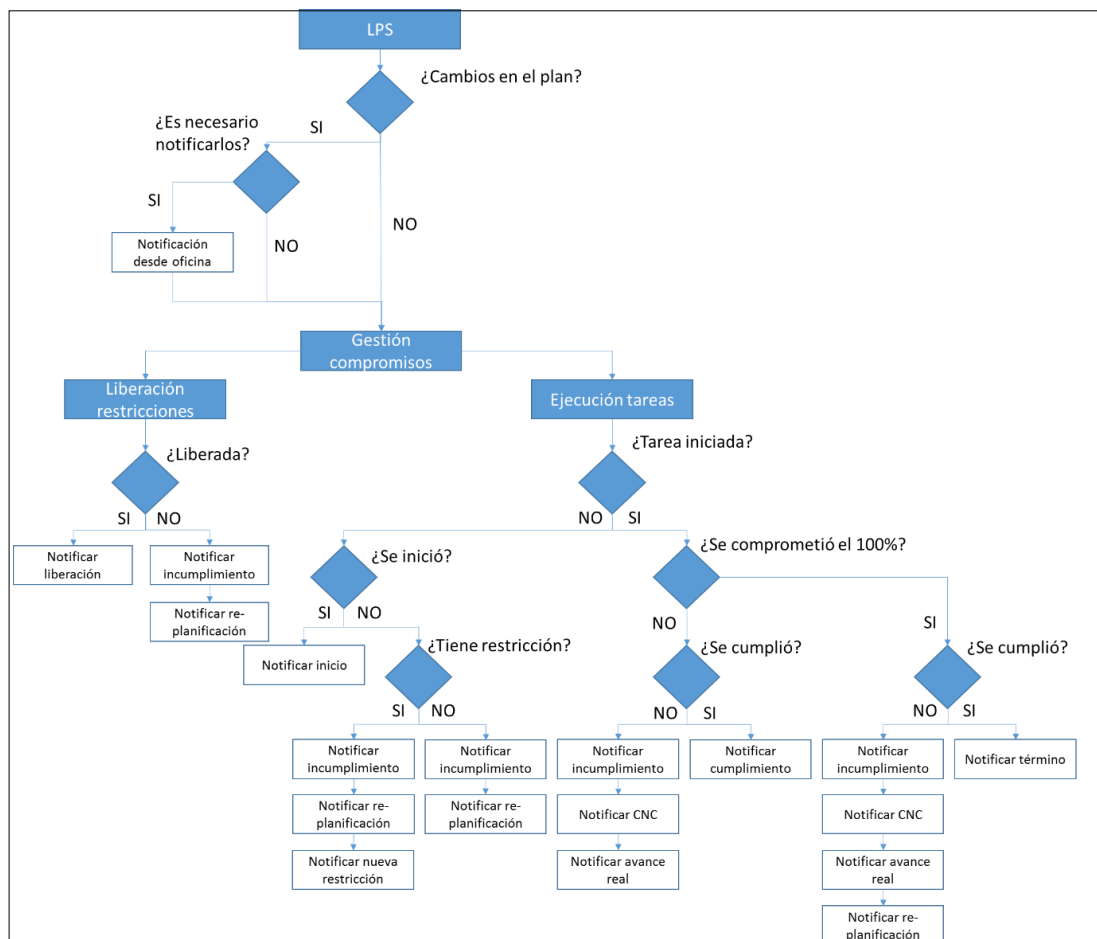


Figura 5.5. Diagrama de flujo de información desde y hacia terreno

En consecuencia, se decidió dividir la información del aplicativo en 3 secciones o vistas: Una sección de tareas, una sección de restricciones y una secciones de notificaciones recibidas y respuestas. Además, se decidió incorporar un link de acceso a los reportes de gestión provistos por el *dashboard* de reportes existente en el módulo desarrollado anteriormente, con el fin de facilitar la obtención de información previa a las reuniones o para la gestión semanal.

Las secciones de tareas y restricciones permiten acceder a la información actualizada de los compromisos y enviar notificaciones del cumplimiento e incumplimiento. Además, se definió que la vista de tareas contenga un listado de los compromisos de inicio, avance específico o término de tareas por día de la semana, en un esquema de calendario semanal, con recuadros que indiquen los compromisos del día. La vista de

restricciones corresponde a un calendario con una duración equivalente a la cantidad de semanas del *Lookahead*, en el cual los compromisos de liberación de restricciones se muestran en la forma de recuadros ubicados en el día del compromiso.

Por otra parte, la sección de notificaciones contiene un listado de las actualizaciones hechas al programa en la semana y un listado de mensajes o notificaciones enviados por oficina, que pueden ser contestados por los últimos planificadores. Ésta sección está separada de las vistas de gestión de compromisos y contiene un ícono indicador de nuevos mensajes visible desde las otras secciones. La figura 5.6 presenta un diagrama explicativo de las vistas del sistema.

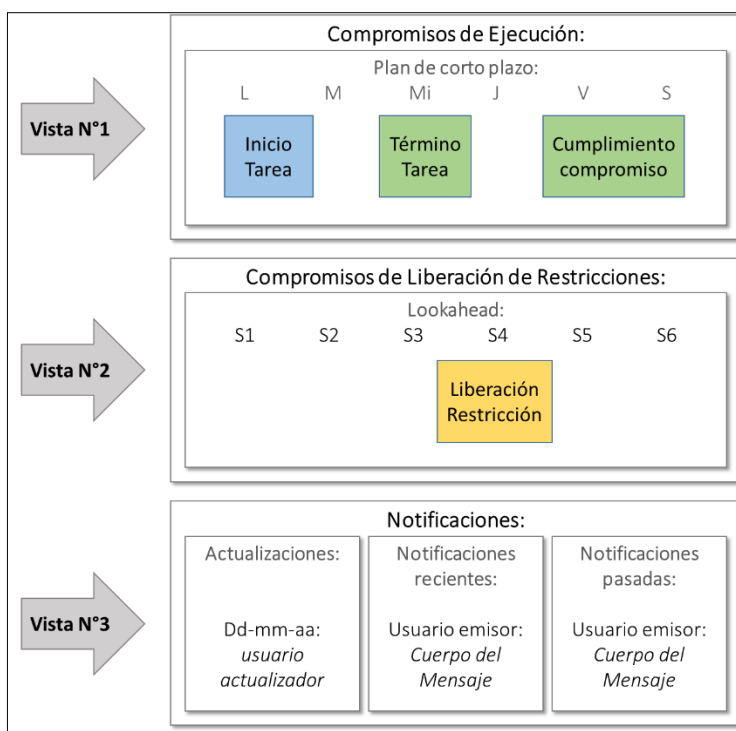


Figura 5.6. Diagrama explicativo vistas módulo gestión en terreno

5.2.3. Prototipos incrementales y desarrollo del módulo

Una vez definido el alcance de la herramienta, su diseño, la información preliminar necesaria y el diagrama de las vistas del módulo, se procedió a desarrollar prototipos incrementales de éste. Cada prototipo incluyó un componente adicional del módulo,

fue probado en instancias controladas con usuarios y fue validado empíricamente en base al uso y satisfacción de los usuarios en dichas instancias.

Luego de cada sesión de prueba se realizó un cierre con los usuarios en los cuales determinar qué cambios eran necesarios en el módulo y si era necesario agregar nuevas funcionalidades, mostrar, comunicar o capturar información adicional. La información recopilada en el cierre del testeo de un prototipo fue incluida en el prototipo siguiente para su validación.

Se realizaron 6 iteraciones de desarrollo, prueba y validación de los prototipos, al término de las cuales se obtuvo una versión completa del módulo, implementada en un ambiente web que simulara las capacidades de una aplicación para dispositivos móviles Android. La figura 5.7 presenta una breve descripción de cada prototipo incremental y las funcionales adicionadas en éstos.

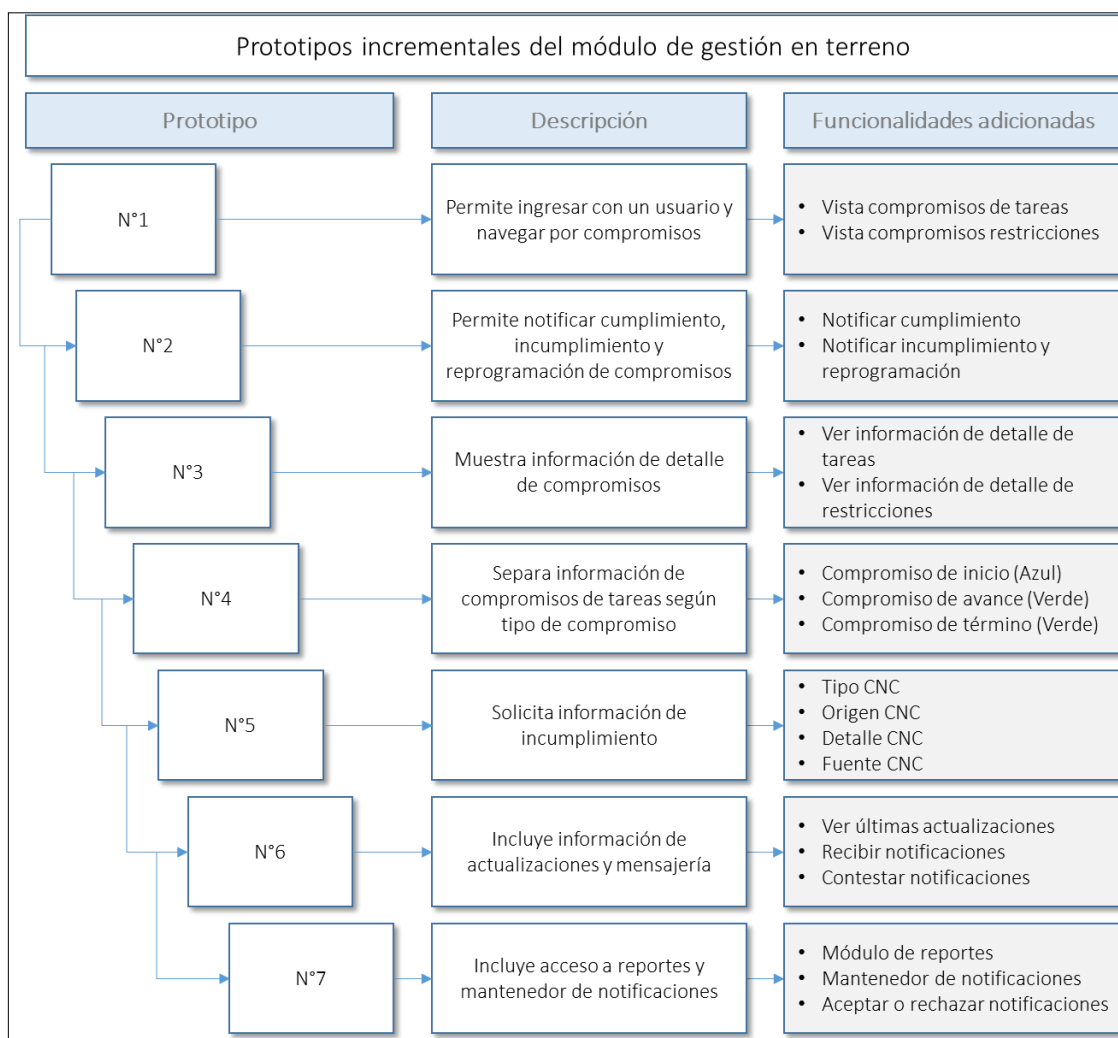


Figura 5.7. Desarrollo de prototipos incrementales del módulo de gestión en terreno

5.2.4. Componentes del módulo definitivo de gestión en terreno

La herramienta definitiva se desarrolló utilizando como base las funcionalidades definidas en los prototipos. Ésta se incluyó 3 componentes: el primero de ellos corresponde a la aplicación móvil, desarrollado sobre una plataforma Android, con componentes *Open Source*, los cuales permiten la mejora continua, a través de la inclusión de nuevas funcionalidades y facilidades de cambio en las funciones o componentes. Dicho módulo permite que los usuarios accedan en terreno a la visualización, gestión y notificación del estado de sus compromisos.

El segundo módulo corresponde a la plataforma web de gestión de notificaciones, en el cual los usuarios administradores pueden enviar, recibir, aceptar o rechazar notificaciones enviadas por los usuarios de terreno. La plataforma se conecta en tiempo real para actualizar constantemente las notificaciones y consolidarlas en un mantenedor. Además, esta incorpora la plataforma de reportes web desarrollada anteriormente, para conectar la gestión de compromisos con la gestión de la información para la toma de decisiones y mejora continua.

Por último, dado que el software base, al cual se incorporó la herramienta, utiliza una conexión a una base de datos SQL Server, se necesitó el desarrollo de un módulo de conectividad entre la forma en la cual la base de datos registra la información y la forma en que la procesan los módulos de gestión de compromisos y de gestión de información. En consiguiente, se desarrolló un módulo API Rest, el cual permite que la información sea procesada en forma rápida para su utilización en los módulos de visualización y para que ésta sea registrada en el formato de la base de datos, luego de la aceptación de las notificaciones.

En consecuencia, la integración de la herramienta con el software base ocurre de la siguiente forma: Todos los cambios realizados en el programa, a través del software, son registrados en la base de datos. Luego la información es tomada por el API Rest y entregada a la plataforma web y la plataforma móvil. Luego, cuando se envían notificaciones desde terreno, estas son recibidas por la plataforma web, donde los usuarios administradores, pueden gestionarlas. Las notificaciones aceptadas son posteriormente tomadas por la API Rest y cargadas en la base de datos del software. Por otra parte, la plataforma móvil, permite el acceso a la información de los indicadores de la plataforma web, a través de un sistema de visualización integrado en el aplicativo. La interacción entre las herramientas está esquematizada en la figura 5.8.

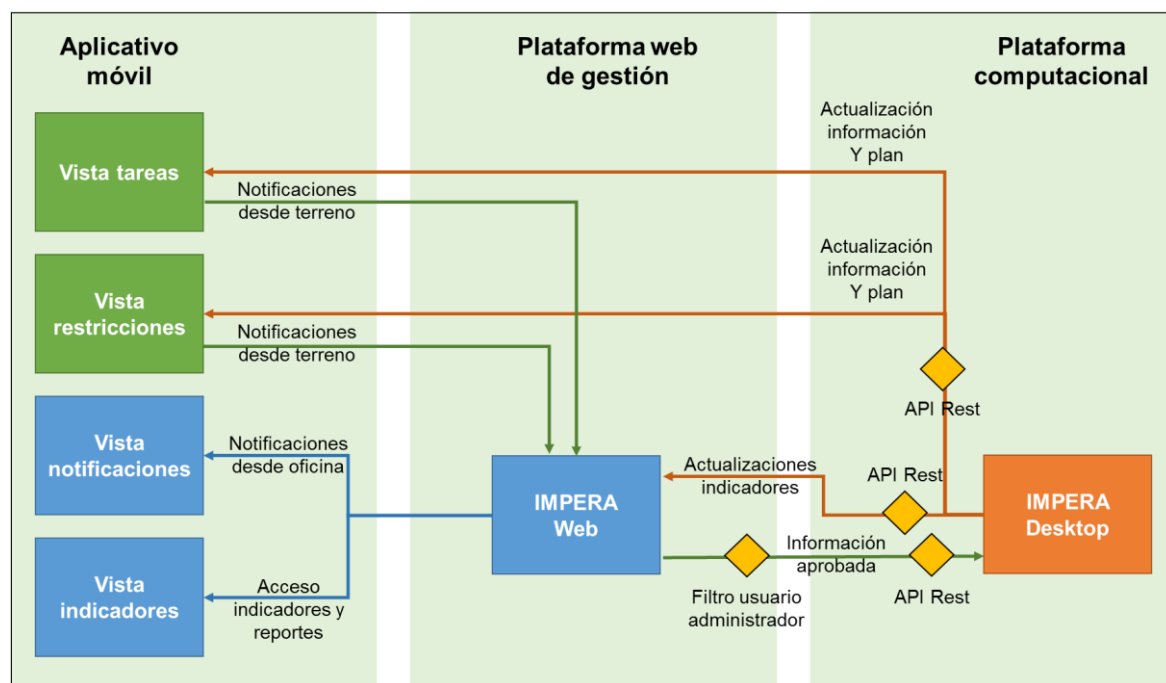


Figura 5.8. Interacción componentes herramienta de gestión

La información que muestra y permite gestionar la aplicación móvil se presenta en la tabla 5.7. Además, la tabla 5.8 muestra la información que es posible enviar a través del uso del aplicativo. Cabe mencionar que los indicadores a los cuales es posible acceder a través del uso del aplicativo, no se describen en esta sección ya que fueron descritos previamente en la sección del desarrollo de la herramienta de reportes.

Por último, dado que el prototipo final se construyó utilizando componentes que eran compatibles con la plataforma web, se decidió incorporarlo a ésta, para permitir que los usuarios administradores pudieran ver los compromisos de cada responsable. Por consiguiente, la misma información que se muestra y envía a través del aplicativo móvil, puede gestionarse también, a través de la plataforma web. Esto también permite que usuarios que no tengan acceso a plataformas Android y que cuenten con dispositivos fijos o móviles con acceso a navegadores web, puedan también hacer uso del aplicativo. La información que se envíe a través del módulo web, se incorpora automáticamente a la información generada por el aplicativo Android, por

lo que ambas fuentes de información son equivalentes. El anexo H incluye imágenes de las distintas vistas e información contenida en el módulo.

Tabla 5.7. Información disponible en el módulo de gestión en terreno

Tipo de compromiso	Información	Descripción
Ejecución de tareas	Tipo compromiso	Inicio, cumplimiento de compromiso o término de tarea
	Nombre tarea	Nombre de la tarea afectada
	Estado de notificación	Notificado, rechazado, pendiente o atrasado
	Jerarquía de la tarea	Descomposición desde la tarea madre a la tarea hija
	Fecha de inicio	Fecha de inicio planificado o real de la tarea
	Duración	Duración en días corridos
	Fecha de término	Fecha de término planificado de la tarea
	Avance real	Porcentaje de avance al último cierre semanal
	Avance comprometido	Porcentaje de avance comprometido para la semana
Liberación de restricciones	Tipo compromiso	Liberación de restricción
	Detalle restricción	Detalle o nombre de la restricción comprometida
	Estado de notificación	Notificado, rechazado, pendiente o atrasado
	Tipo de restricción	Comienzo o término de tarea
	Familia de restricción	Familia a la cual la restricción pertenece
	Fecha comprometida	Fecha comprometida de liberación
	Tarea afectada	Nombre de la tarea afectada
	Fecha requerida	Última fecha de liberación posible que no retrase el programa
Mensaje / Notificación	Emisor	Nombre del usuario emisor
	Fecha emisión	Fecha y hora de la notificación
	Estado	Leído o pendiente
	Detalle	Cuerpo del mensaje
	Compromiso vinculado	Tarea asociada al mensaje, en caso de necesitarse

Tabla 5.8. Información contenida en notificaciones

Componente aplicativo	Tipo de notificación	Información contenida	Características
Identificación de restricciones	Nueva restricción	Detalle restricción	Texto libre
		Familia restricción	Campo seleccionable
		Tipo de restricción	Campo seleccionable
		Tarea afectada	Campo seleccionable
		Fecha requerida	Campo auto-calculado
		Responsable sugerido	Campo seleccionable
		Fecha solicitada liberación	Campo fecha
		Observación	Texto libre
Liberación de restricción	Restricción liberada	/	/
	Restricción reprogramada	Fecha de replanificación	Campo fecha
		Observación	Texto libre
Inicio de actividad	Tarea ha iniciado	/	/
	Reprogramación inicio	Fecha de replanificación	Campo fecha
		Observación	Texto libre
Compromiso de actividad	Cumplimiento compromiso	Avance real	Campo porcentaje
	Incumplimiento compromiso	Avance real	Campo porcentaje
		Tipo de CNC	Campo seleccionable
		Origen de CNC	Campo seleccionable
		Fuente de CNC	Campo seleccionable
		Detalle de CNC	Texto libre
Término de actividad	Tarea ha terminado	/	/
	Reprogramación de término	Avance real	Campo porcentaje
		Tipo de CNC	Campo seleccionable
		Origen de CNC	Campo seleccionable
		Fuente de CNC	Campo seleccionable
		Detalle de CNC	Texto libre
Mensaje / Notificación	Mensaje / respuesta	Fecha de reprogramación	Campo fecha
		Emisor	Usuario
		Fecha emisión	Fecha y hora
		Detalle	Texto libre
		Compromiso vinculado	Código y nombre tarea

6. RESULTADOS DEL CASO DE ESTUDIO

El registro, seguimiento y control del proyecto se realizó utilizando las herramientas desarrolladas, en conjunto con la plataforma TI de soporte y la visita a las instancias de *Last Planner* instauradas en el proyecto, entre Febrero y Agosto de 2016. Los datos fueron recopilados de forma semanal y la gestión del proyecto fue realizada exclusivamente por el equipo de éste. La participación del autor se limitó a la resolución de dudas o problemáticas del uso de las herramientas, sin participar en las instancias de recopilación, gestión de la información y planificación.

Los datos presentados a continuación corresponden a los indicadores e información obtenida durante las 26 semanas en las cuales se realizaron cierres semanales en que se consolidó la información del cumplimiento y gestión. Las primeras 4 semanas corresponden al período de marcha blanca, en el cual se realizó el registro, análisis y planificación en instancias controladas, con la participación de todos los usuarios y responsables involucrados. Las 22 semanas siguientes corresponden al período en el cual el proyecto hizo uso autónomo de los módulos y la gestión de información se realizó de forma individual y autónoma por cada último planificador desde terreno, utilizando la herramienta. Las 26 semanas fueron separadas dos períodos de 13 semanas cada uno. Las primeras 13 semanas incluyen la puesta en marcha y marcha blanca. Las semanas 14 a 26 corresponden al período de utilización completa y sistematizada de las herramientas, siguiendo el procedimiento desarrollado por la empresa.

Al término de las semanas de seguimiento se realizó un análisis de la evolución de los indicadores, del mejoramiento del grado de implementación metodológica y un análisis comparativo de la gestión entre las semanas 1 a 13 y las semanas 14 a 26. Finalmente, en base a los resultados se realizó el test de la segunda hipótesis de la investigación, se dio respuesta a la tercera pregunta de investigación y cumplimiento al tercer objetivo.

6.1. Grado de implementación de la metodología

El grado de implementación de la metodología fue medido al inicio de la implementación, en Febrero y al término del seguimiento, en Agosto, por parte del

consultor de GEPRO encargado del seguimiento del proyecto. El consultor realizó visitas a terreno, auditorías de la reunión y entrevistas con los responsables para la recopilación de la información necesaria. La medición se realizó utilizando una herramienta de medición del grado de implementación utilizada por GEPRO y basada en la métrica *Planning Best Practices* (PBP) (Bernardes & Formoso, 2002; Viana et al., 2010), la cual estaba previamente validada (Lagos et al., 2017) y ha sido incluida en el anexo G. Los resultados fueron entregados al autor y revisados en una entrevista con el facilitador de la empresa a cargo del proyecto y el consultor a cargo. La figura 6.1 presenta el comparativo de los resultados de la evaluación inicial y final.

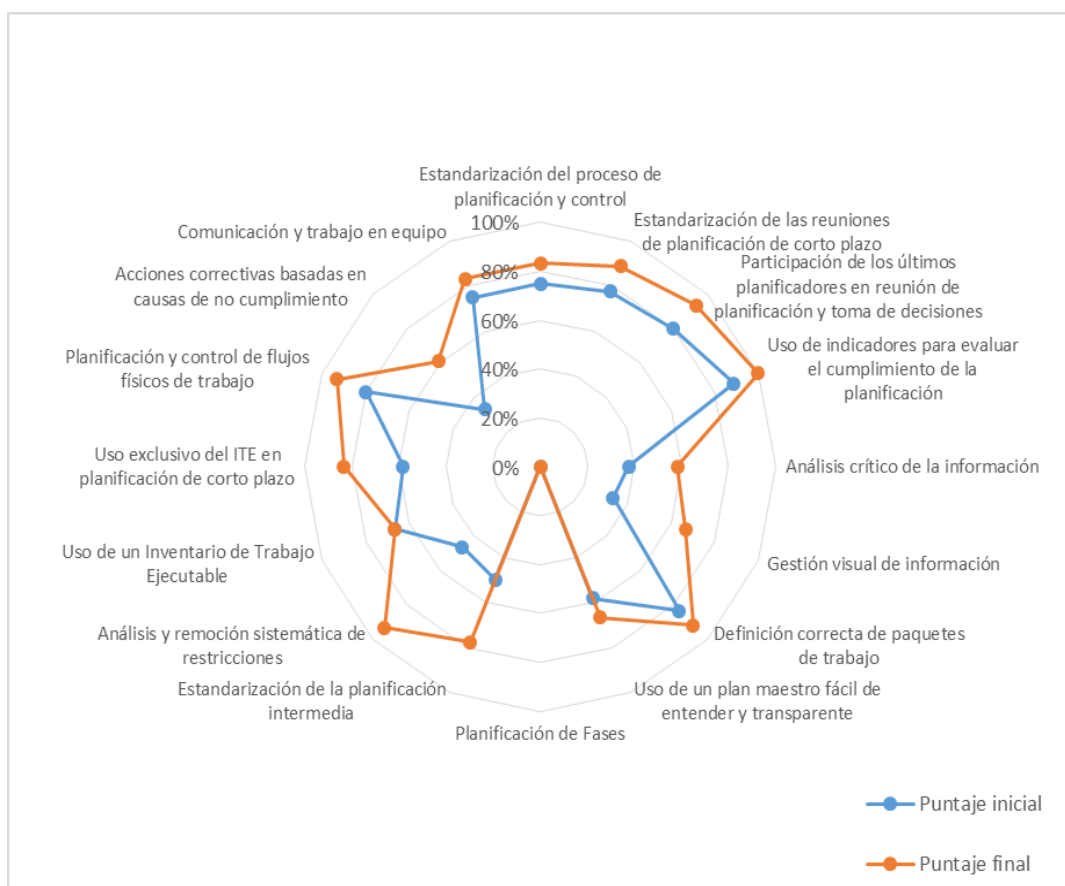


Figura 6.1. Comparativo grado de implementación inicial y final

En la figura puede apreciarse que todos los componentes medidos mejoraron, con la excepción de la planificación de fases y el uso del inventario de trabajo ejecutable. La planificación de fases fue un componente que no se utilizó en el proyecto debido a que la empresa decidió que la complejidad y características del proyecto hacían que el proceso de realización de un *Pull Planning* sistemático de las fases del proyecto fuera complejo y requiriera de mucho tiempo de los últimos planificadores. Además, la planificación de fases no se ve directamente afectada por la implementación las herramientas desarrolladas.

Por otro lado, durante el período de implementación y seguimiento el proyecto no realizó cambios en la metodología con la cual gestionaban el inventario de trabajo ejecutable (ITE), razón por la cual la medición del grado de implementación no sufrió cambios. Sin embargo, los resultados del desempeño y cumplimiento del proyecto que se revisarán en las secciones posteriores permiten inferir que sí se obtuvieron mejoras en el uso del ITE. Dichas mejoras son consecuentes con la mejora medida en el uso exclusivo del ITE para la planificación de corto plazo.

La tabla 6.1 presenta el valor inicial y final medido, la diferencia entre ambos valores y el factor de aumento, medido como la proporción entre el valor final e inicial. Así mismo, la figura 6.2 muestra gráficamente el factor de aumento de cada componente. En la figura 6.2 puede apreciarse que los componentes que más aumentaron fueron: la gestión visual de la información; el análisis y remoción sistemática de restricciones; y las acciones correctivas basadas en las causas de no cumplimiento. Dichos componentes prácticamente duplicaron su grado de implementación inicial en un período menor a 6 meses.

El análisis crítico de la información, la estandarización de la planificación intermedia y el uso exclusivo del ITE en la planificación de corto plazo también aumentaron aproximadamente un 50% con respecto a su nivel inicial. Por ende, 6 de los componentes mejoraron significativamente con la inclusión de las herramientas, no obstante, 8 de los componentes restantes también mejoraron al menos un 10%.

Tabla 6.1. Aumento grado de implementación de los componentes metodológicos

N°	Criterio	Puntaje inicial	Puntaje final	DELTA	Factor Aumento
1	Estandarización del proceso de planificación y control	75%	83%	8%	1,11
2	Estandarización de las reuniones de planificación de corto plazo	78%	89%	11%	1,14
3	Participación de los últimos planificadores en reunión de planificación y toma de decisiones	80%	93%	13%	1,17
4	Uso de indicadores para evaluar el cumplimiento de la planificación	89%	100%	11%	1,13
5	Análisis crítico de la información	38%	58%	21%	1,56
6	Gestión visual de información	33%	67%	33%	2,00
7	Definición correcta de paquetes de trabajo	83%	92%	8%	1,10
8	Uso de un plan maestro fácil de entender y transparente	58%	67%	8%	1,14
9	Planificación de Fases	0%	0%	0%	-
10	Estandarización de la planificación intermedia	50%	78%	28%	1,56
11	Análisis y remoción sistemática de restricciones	47%	93%	47%	2,00
12	Uso de un Inventario de Trabajo Ejecutable	67%	67%	0%	1,00
13	Uso exclusivo del ITE en planificación de corto plazo	58%	83%	25%	1,43
14	Planificación y control de flujos físicos de trabajo	80%	93%	13%	1,17
15	Acciones correctivas basadas en causas de no cumplimiento	33%	61%	28%	1,83
16	Comunicación y trabajo en equipo	75%	83%	8%	1,11

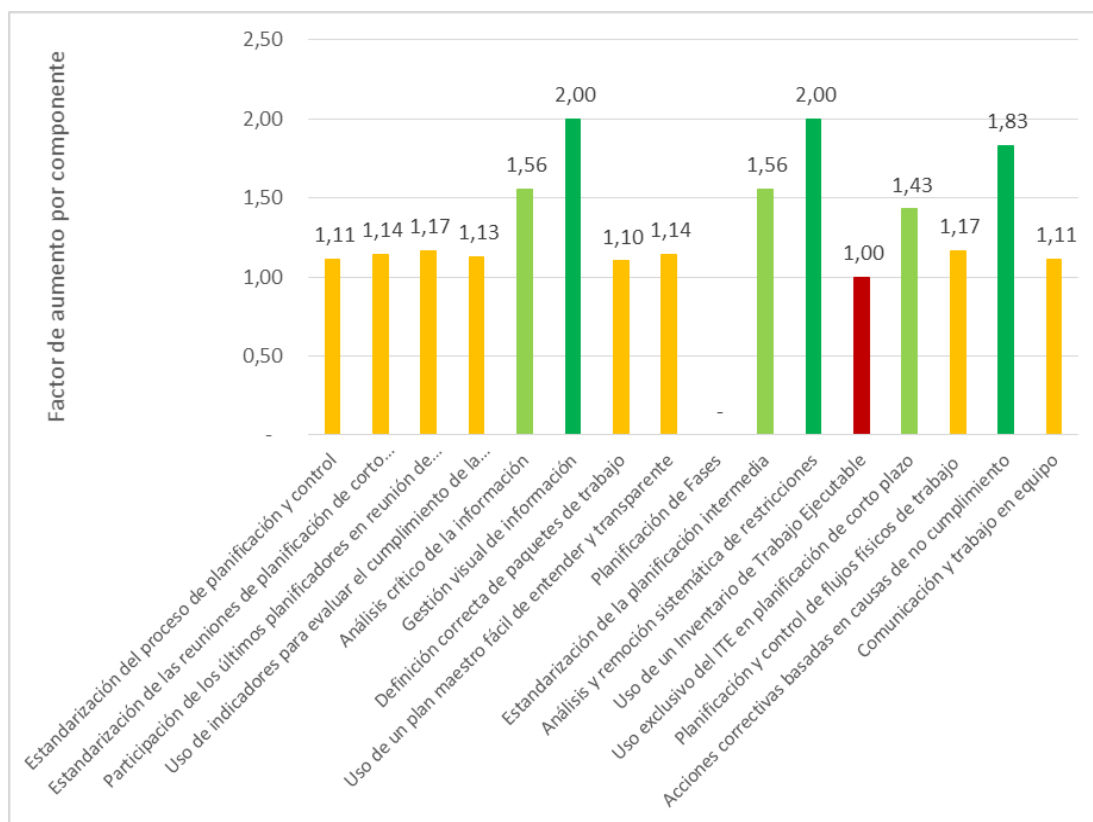


Figura 6.2. Factor de aumento de los componentes metodológicos

A continuación se revisan las mejoras identificadas:

a) Estandarización de las reuniones de planificación de corto plazo:

Este aspecto mejoró un 14% proporcional a lo largo del proceso de seguimiento. Dicha mejora se debe principalmente a una mejor preparación por parte de los responsables, ya que estos tenían acceso a la información de los reportes, y a una mejora en la consolidación de la información previa a la reunión.

Adicionalmente se identificó que la utilización de los reportes para la preparación de la reunión y durante esta, permitió una estandarización de la agenda y un proceso de análisis con mayor información. Así mismo, el mantenedor de notificaciones permitió que se buscara información de detalle durante la reunión en caso de necesitarse.

- b) Participación de los últimos planificadores en reunión de planificación y toma de decisiones:

Este aspecto mejoró un 17% proporcional, principalmente por la participación tanto durante la reunión como en el proceso de gestión semanal. Al igual que en el caso anterior, la mejora se debió al aumento en la información accesible por parte de los últimos planificadores y la estandarización de la medición y análisis a través de la herramienta de reportes.

Adicionalmente, dado que los últimos planificadores podían notificar el estado de sus compromisos de forma sistemática durante la semana, éstos se involucraron activamente en la búsqueda de soluciones y propuesta de cambios. En particular, los facilitadores de la empresa y el proyecto pudieron notar una mayor participación en la elaboración de los planes semanales y en la toma de acciones correctivas.

- c) Uso de indicadores para evaluar el cumplimiento de la planificación:

El uso de indicadores mejoró un 13% proporcional, lográndose un grado de implementación de 100%. Cabe destacar, en primer lugar, que el uso inicial era alto debido a que la empresa cuenta con procedimientos estrictos de seguimiento y evaluación del desempeño de sus proyectos. Las mejoras se lograron debido a un aumento en la disponibilidad de indicadores de gestión y el fácil acceso a la información histórica del proyecto. Los indicadores cuya utilización mejoró a través del uso de la herramienta están asociados principalmente a la gestión de restricciones y el análisis de causas de no cumplimiento.

Por último cabe mencionar que si bien se incluyeron también indicadores asociados a la efectividad de acciones correctivas, estos no fueron analizados en profundidad por el equipo del proyecto. Dicho aspecto no es medido como un parámetro particular en el uso de indicadores, por lo cual no se vio reflejado en los resultados. A través de las entrevistas pudo establecerse que el análisis no se realizó debido a que la evaluación de la efectividad se hizo de forma cualitativa y por lo tanto, se desestimó el análisis de la efectividad histórica de las acciones correctivas.

- d) Análisis crítico de la información:

Este componente mejoró un 56% proporcional, sin embargo, sólo se logró un grado de implementación final de 58%. Los principales aspectos que mejoraron fueron el

seguimiento y control periódico del avance, que mejoró desde un grado de implementación bajo a uno alto, el análisis de causas de no cumplimiento, seguimiento de acciones correctivas y el uso de técnicas de análisis estipuladas en la metodología *Lean* y *Last Planner*. Las principales razones para la mejora fue la disponibilidad de mayor información, presentada en reportes simples.

Por otra parte, los aspectos que al término todavía registraron un nivel de implementación bajo fueron el planteamiento riguroso y sistematizado de acciones para la mejora y el seguimiento y control de la implementación y efectividad de las acciones correctivas. En consecuencia, se puede inferir que hubo una mejora considerable en el análisis realizado pero que es necesaria una mayor consolidación de la metodología y el uso de dichos análisis para estandarizar la toma de acciones para la mejora continua.

e) Gestión visual de información:

Este fue uno de los componentes que más mejoró, duplicando su valor inicial y lográndose un nivel final de 67%. Los aspectos que mejoraron fueron la publicación y acceso a material visual de los compromisos, plan de corto plazo, plan intermedio, causas de no cumplimiento y acciones correctivas. Además, se identificó una mejora en el conocimiento del plan maestro, dado que los últimos planificadores solicitaron de forma más frecuente que éste fuera publicado, para poder preparar de mejor forma sus compromisos y la gestión del plan intermedio. Cabe destacar que el bajo nivel final se debe principalmente a que no mejoró la gestión visual del plan de hitos y fases, dado que la planificación de fases no se implementó en el proyecto.

f) Definición correcta de paquetes de trabajo:

Este componente mejoró un 10% proporcional, alcanzándose un grado final de implementación de 92%. El principal motivo fue que al momento de analizar su *Lookahead* en búsqueda de restricciones, los últimos planificadores fueron capaces de identificar tareas que necesitaban mayor apertura o detalle, solicitando cambios al programa maestro y la subdivisión de trabajo. Dado que este proceso se realizó en el plan intermedio, mejoró también la definición de los paquetes de trabajo de los planes de corto plazo.

g) Uso de un plan maestro fácil de entender y transparente:

Este componente también mejoró un 14% proporcional, debido a las razones ya mencionadas. Los facilitadores notaron una mejora en el nivel de detalle y programación del plan maestro, causada por un involucramiento en mayor profundidad de los últimos planificadores en la gestión del plan intermedio.

h) Estandarización de la planificación intermedia:

La planificación intermedia también mejoró un 56% proporcional, con una diferencia de 28% entre el grado inicial y final. El aumento en el grado de implementación se debió, de acuerdo a la opinión de los facilitadores y el consultor entrevistado, al mayor involucramiento de los últimos planificadores, un aumento en la identificación de restricciones y una mejora en la gestión de restricciones. Se señaló también que la mejora en la identificación y gestión de restricciones fue ayudada principalmente por la capacidad de los últimos planificadores de notificar la aparición de restricciones desde terreno y en tiempo real a través del aplicación móvil.

i) Análisis y remoción sistemática de restricciones:

Como ya se mencionó, se identificó una mejora en el análisis, gestión y liberación de restricciones. Esto permitió el aumento de 47 puntos entre el grado inicial y final, lográndose un grado final de 94%, es decir, el doble del grado inicial. Cabe mencionar que de los 5 aspectos medidos por la herramienta, 4 alcanzaron un nivel alto de implementación y sólo 1 alcanzó un nivel medio. Las principales mejoras identificadas fueron en la interrelación de las restricciones con actividades específicas y en el control de la confiabilidad en la liberación de restricciones.

Los facilitadores y el consultor establecieron que el uso de indicadores para medir la confiabilidad semanal, liberación a tiempo y confiabilidad por responsable resultó ser beneficioso para la gestión de las restricciones. Así mismo, permitir a los últimos planificadores notificar inmediatamente de las restricciones asociadas a sus tareas del plan intermedio, mejoró la vinculación entre restricciones y tareas específicas.

j) Uso exclusivo del ITE en planificación de corto plazo:

En este componente se observó una mejora de 43% proporcional, alcanzándose un grado final de 83%. La mejora estuvo causada por un aumento en la identificación de

restricciones y una mejora en los tiempos de gestión de restricciones. Por dicha razón, los facilitadores notaron una mejora en la determinación del ITE y el planteamiento de programas de corto plazo cumplibles. Además, mejoró la elaboración y el cumplimiento de los compromisos por un mayor involucramiento de los últimos planificadores en la planificación y control del corto plazo.

k) Planificación y control de flujos físicos de trabajo:

Este componente mejoró un 17% proporcional, alcanzándose un nivel final de 93%. Los facilitadores establecieron que la mejora estuvo ligada al involucramiento de los últimos planificadores y el acceso a la información de detalle de sus compromisos. Al tener mayor información para su planificación y poder notificar rápidamente de la liberación o identificación de restricciones, así como el cumplimiento o incumplimiento de tareas, se logró una mejora en la planificación y control del trabajo.

Por último, el aspecto relacionado al componente que más mejoró fue el conocimiento de los compromisos, secuencia de tareas y programa de actividades de los últimos planificadores. Éstos, podían acceder en terreno y en cualquier momento a la información actualizada de su programa semanal, por lo cual tenían mayor claridad de sus compromisos y trabajo a realizar.

l) Acciones correctivas basadas en causas de no cumplimiento:

Este aspecto aumentó un 28% entre la medición inicial y final, lo que implicó un factor de aumento de casi 2 veces. Sin embargo, la mejora fue primordialmente en la identificación y análisis de las causas de no cumplimiento. Si bien la gestión de acciones correctivas también mejoró, esta alcanzó sólo un nivel básico, por ende, se obtuvo un valor final de 61%. Como se estableció anteriormente, si bien se plantearon y gestionaron más acciones correctivas, el seguimiento y análisis mejoró muy poco y no se logró implementar la gestión del conocimiento de las acciones planteadas e implementadas.

m) Comunicación y trabajo en equipo:

La comunicación y trabajo en equipo mejoró un 11% proporcional debido a una mayor integración de los últimos planificadores. Los facilitadores atribuyeron dicha mejora a la capacidad de éstos de acceder constantemente al plan y el estado del

proyecto, notificar y participar activamente en el control del cumplimiento. Así mismo, identificaron también una mejora en la comunicación ya que podían emitir y recibir notificaciones específicas asociadas a tareas, restricciones y compromisos, con información y canales estándar.

n) Estandarización del proceso de planificación y control:

Por último, la estandarización del proceso de planificación y control también mejoró un 11% proporcional, debido a la sumatoria de las mejoras y beneficios obtenidos de la implementación de las herramientas. Los facilitadores destacaron que si bien la inclusión de las herramientas no implicó cambios en los estándares y procedimientos de *Last Planner* del proyecto, sí influyó en una mayor participación y un seguimiento más sistemático a través de la gestión de la información.

6.2. Indicadores de gestión

6.2.1. Identificación de restricciones

A continuación la tabla 6.2 muestra el resultado de la medición de la identificación semanal de restricciones del caso de estudio, en un período de 27 semanas. En esta es posible observar que el promedio global de identificación de restricciones se mantuvo constante a lo largo del proyecto, con un promedio de casi 18 restricciones identificadas por semana.

Tabla 6.2. Identificación de restricciones

Identificación de restricciones caso estudio			
Período	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación
S01-S13	17,9	19,7	110%
S14-S27	17,7	7,9	44%
Global	17,8	14,2	80%

Pese a ello, es posible notar que la desviación estándar de la identificación fue alta ya que hubo semanas en las cuales no se identificaron restricciones y otras en que se identificó un alto número. Aquello es explicable debido a que en determinadas

semanas fue posible identificar con mayor precisión restricciones en períodos de mayor plazo, por lo cual, en las semanas siguientes no se identificaron nuevas restricciones. Adicionalmente, por las características del proyecto, las tareas eran de larga duración, razón por la cual, no todas las semanas ingresaban nuevas tareas al *Lookahead*, lo que también explica la alta variabilidad de la identificación.

Al compararse la primera mitad del período de seguimiento y la segunda, es posible observar que si bien el promedio de identificación se mantuvo casi constante, la desviación estándar de la identificación disminuyó considerablemente. En particular, el coeficiente de variación de la segunda mitad fue menos de la mitad del coeficiente del primer período, disminuyendo de un 110% en las primeras 13 semanas a un 44% en las 14 semanas siguientes.

Las figuras 6.3 y 6.4 muestran la evolución del promedio mensual de identificación de restricciones y del coeficiente de variabilidad mensual, respectivamente. Al analizar ambas figuras es posible apreciar que el promedio se estabilizó durante los últimos 4 meses y que el coeficiente de variabilidad disminuyó de forma constante. En consecuencia, puede inferirse que el promedio de identificación se mantuvo constante y que si bien se observó una alta variabilidad, la cual es en parte explicable por las características del programa de obra, esta disminuyó a medida que fue consolidándose el uso de las herramientas.

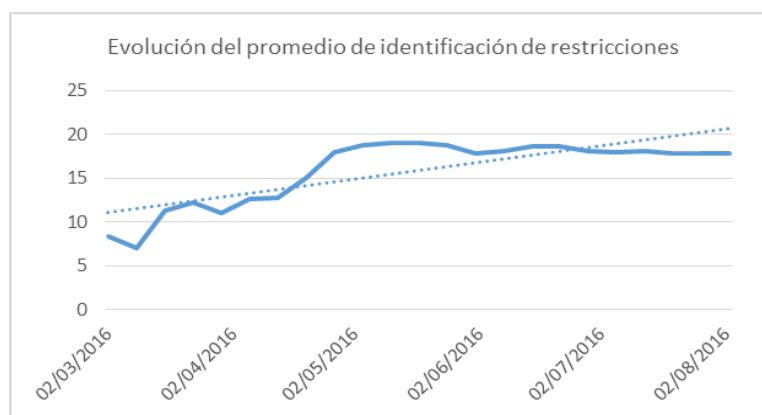


Figura 6.3. Evolución del promedio mensual de identificación de restricciones

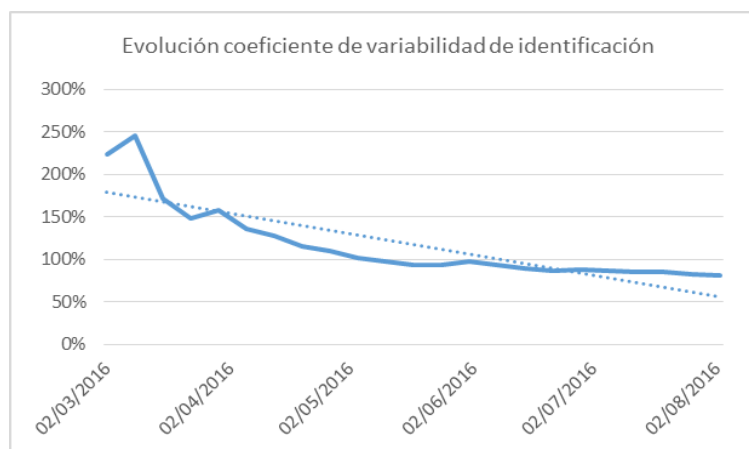


Figura 6.4. Evolución del coeficiente de variabilidad mensual de la identificación

La tabla 6.3 muestra los resultados del mismo análisis realizado para el caso base, cuya selección y características fueron explicadas en el apartado de metodología. En dicha tabla es posible observar que el promedio de identificación semanal fue 5 veces menor y que el coeficiente de variación de la identificación fue mayor a lo largo de todo el proyecto. Además, en la figura 6.5 puede apreciarse un comparativo de los datos globales del caso de estudio y caso base, en el cual puede apreciarse que el proyecto en el cual se utilizaron las herramientas tuvo una identificación semanal de restricciones promedio más de 5 veces mayor y un coeficiente de variación un 36% menor.

Tabla 6.3. Identificación de restricciones en el caso base comparativo

Identificación de restricciones caso base			
Período	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación
S01-S13	3,3	4,2	128%
S14-S26	2,5	2,6	102%
Global	2,9	3,4	116%

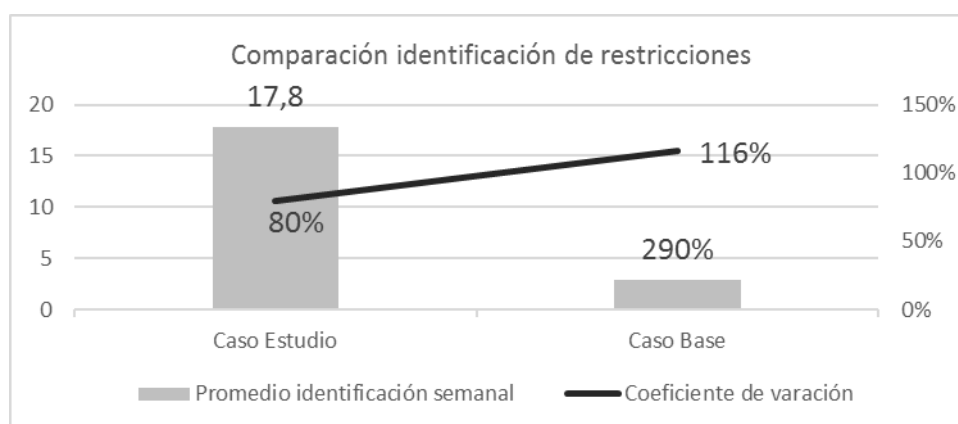


Figura 6.5. Comparativo identificación de restricciones en caso de estudio y caso base

Dado que ambos proyectos tenían características similares, una muestra con espacios temporales similares y ambos contaban con una implementación metodológica consolidada y similar, puede inferirse que el uso de las herramientas de gestión de la información tuvo un impacto positivo en la identificación de restricciones, el cual se condice con una mayor identificación y menor coeficiente de variación. Además, esta mejora se condice con la mejora observada en el grado de implementación de los componentes metodológicos asociados a la planificación intermedia y gestión de restricciones.

6.2.2. Liberación de restricciones

La evolución del PCR del proyecto no mejoró con la inclusión de las herramientas, de hecho, como puede apreciarse en la figura 6.6, el PCR acumulado alcanzó un máximo de 58% y luego bajó a un 39% final. Adicionalmente, puede apreciarse que la variabilidad del PCR fue alta a lo largo del período de seguimiento y aumentó en los últimos meses. El promedio del PCR también fue bajo y equivalente a un 39%, el cual bajó de un 50% en la primera mitad del período de seguimiento a un 35% en la segunda mitad.

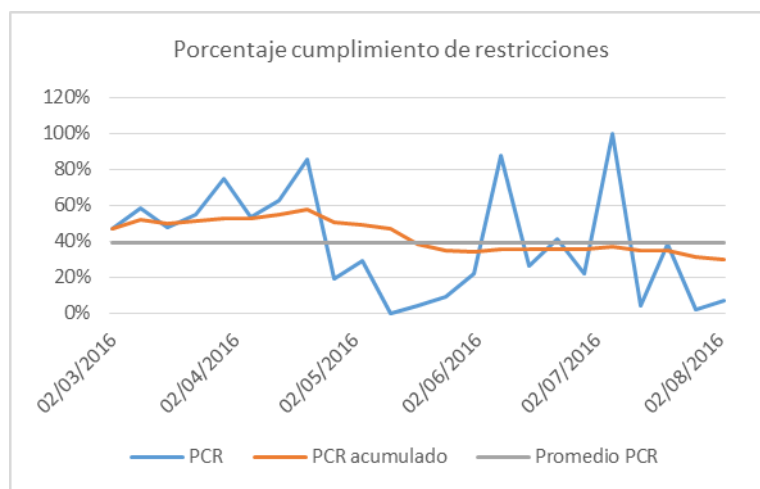


Figura 6.6. Evolución del PCR caso estudio

Adicionalmente se midió el número de restricciones liberadas antes de la fecha requerida, correspondiente a la última fecha en la cual es posible liberar la restricción sin causar un atraso en la tarea. Para ello se elaboró un indicador al cual se le llamó Índice de Liberación de Restricciones (ILR), el cual fue medido de forma semanal como el número de restricciones liberadas antes de su fecha requerida. La figura 6.7 muestra la evolución del ILR del proyecto.

El ILR tuvo un promedio de 89% y su promedio acumulado tuvo una tendencia al alza a lo largo de los primeros meses del proyecto, para luego estabilizarse en torno al 90%. No obstante, el indicador tuvo una baja durante las últimas semanas de medición que se correlacionan con la baja del PCR. Adicionalmente, al igual que el PCR, el ILR también sufrió un aumento de su variabilidad en la segunda mitad del proyecto.

Por ende, dado que tanto el PCR como el ILR sufrieron una baja en la segunda mitad del período de medición y un aumento en la variabilidad, no puede concluirse que haya habido una mejora significativa en el cumplimiento de las restricciones con la inclusión de las herramientas. No obstante, es posible inferir que sí hubo un impacto positivo en la gestión de restricciones dado que la liberación antes de la fecha requerida tuvo un promedio semanal de 89% y del total de 473 restricciones

identificadas en el proyecto, 409 fueron liberadas antes de la fecha requerida, obteniéndose un ILR total de 86%.

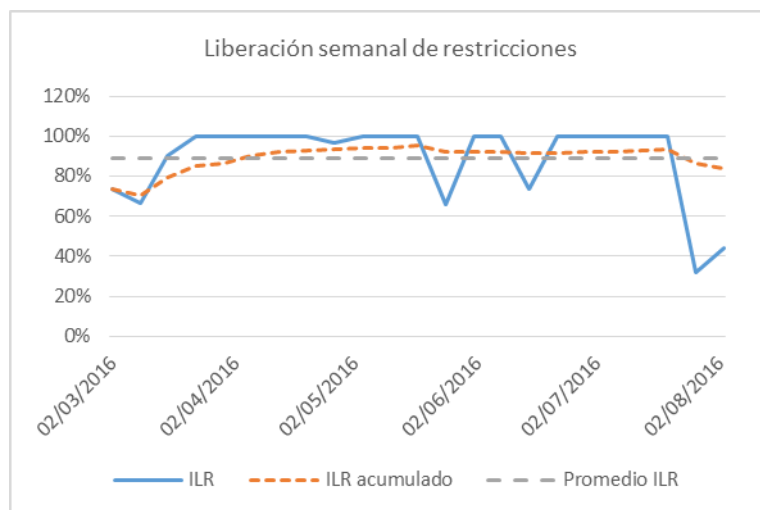


Figura 6.7. Evolución del Índice de Liberación de Restricciones

Los resultados del caso estudio también fueron comparados con los datos obtenidos de 26 semanas de gestión de restricciones del caso base. La figura 6.8 muestra un comparativo del valor acumulado final, promedio y desviación estándar de ambos proyectos. En esta es posible apreciar que si bien el PCR del caso de estudio fue peor en todos los ámbitos que el PCR del caso base, el caso de estudio tuvo un mejor ILR acumulado, promedio y menor desviación. El ILR acumulado del proyecto fue un 2% mayor y su promedio, un 6%. Además, la desviación estándar fue un 12% menor.

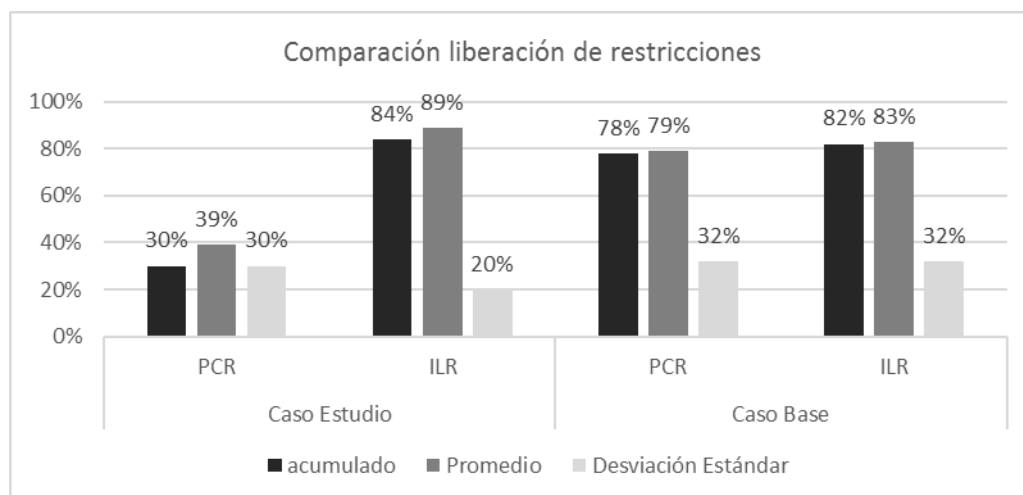


Figura 6.8. Comparativo liberación de restricciones caso estudio y caso base

6.2.3. Tiempos de gestión de restricciones

Los plazos asociados a la gestión de restricciones se calcularon utilizando los campos: fecha requerida, fecha comprometida, fecha de liberación y fecha de creación, que corresponde a la fecha en la cual se ingresó la restricción al sistema. A continuación, la tabla 6.4 presenta el método de obtención de los tiempos de gestión de restricciones.

Tabla 6.4. Cálculo de los tiempos de gestión de restricciones

Campo	Obtención
Fecha creación	Fecha en la que se ingresa una restricción al sistema
Fecha requerida	Última fecha en que se puede liberar la restricción sin atrasar el programa
Fecha comprometida	Fecha planificada de liberación
Fecha liberación	Fecha efectiva de liberación de la restricción
Tiempo identificación	$\frac{\sum_{Restricciones} \text{Fecha requerida} - \text{Fecha creación}}{n}$ <i>n = número de restricciones</i>
Tiempo planificación	$\frac{\sum_{Restricciones} \text{Fecha comprometida} - \text{Fecha creación}}{n}$ <i>n = número de restricciones</i>
Tiempo liberación	$\frac{\sum_{Restricciones} \text{Fecha liberación} - \text{Fecha creación}}{n}$ <i>n = número de restricciones</i>

A continuación, la tabla 6.5 presenta los resultados del cálculo de los tiempos de gestión de restricciones del caso de estudio. En ésta puede apreciarse que el tiempo de liberación disminuyó en la segunda mitad del período de seguimiento, con respecto a la primera. Sin embargo, también disminuyó el tiempo de planificación y el tiempo de identificación. Además, el tiempo de planificación de restricciones fue menor al tiempo de liberación de restricciones en ambos períodos. Por ende, puede observarse que en promedio hubo un atraso de 2,3 días en la liberación de restricciones con respecto a la fecha comprometida, lo que es consecuente con el bajo PCR observado en el caso de estudio.

No obstante, la liberación tomó menos de un cuarto del tiempo de identificación, lo que implica que si bien el cumplimiento de compromisos de liberación fue bajo, en promedio la liberación de restricciones se efectuó mucho antes de que afectaran el programa, lo cual es consecuente con el ILR medido. Además, cabe mencionar que el tiempo de identificación excede el plazo de 6 semanas del *Lookahead*, lo cual puede deberse a la duración de las tareas que al ser larga por las características del proyecto, causó que las restricciones se identificaran mucho antes de su fecha requerida.

Tabla 6.5. Tiempos de gestión de restricciones caso de estudio

Tiempo gestión de restricciones caso de estudio			
Período	Tiempo liberación	Tiempo planificación	Tiempo identificación
S01-S13	18,2	17,0	79,94
S14-S27	13,9	10,5	46,23
Global	16,7	14,4	66,51

Al compararse los tiempos de gestión de restricciones del caso estudio con el caso base, cuya información se encuentra en la tabla 6.6, es posible observar que todos los tiempos de gestión fueron mayores en el caso de estudio. Además, si bien el tiempo de liberación del caso base también fue mayor al tiempo de planificación, la diferencia fue menor en el caso base.

Tabla 6.6. Tiempos de gestión de restricciones del caso base

Tiempo gestión de restricciones caso base			
Período	Tiempo liberación	Tiempo planificación	Tiempo identificación
S1-S13	12,0	9,5	60,3
S14-S16	10,2	9,6	50,8
Global	11,1	9,6	55,6

Por ende, no es posible concluir que la implementación de las herramientas haya causado una mejora sustancial en los tiempos de planificación y liberación de restricciones con respecto a otros proyectos. No obstante, en el caso de estudio las restricciones se liberaron en promedio 50 días antes que su fecha requerida, mientras que en el caso base, aproximadamente 45 días antes. Por ende, sí puede inferirse que la utilización de las herramientas permitió una identificación más temprana.

Al compararse la diferencia entre los tiempos de identificación de ambos casos y la diferencia de los tiempos de liberación, puede observarse que el caso de estudio identificó las restricciones 11 días antes y las liberó aproximadamente 6 días después que el caso base. En consecuencia, pese a un mayor tiempo de liberación, la liberación se realizó 5 días antes de la fecha requerida que en el caso base, lo que implica que puede inferirse una mejora en la gestión de restricciones. Por ende, si bien no se detectó una mejora en el cumplimiento de restricciones, sí se puede inferir que hubo una mejora en el proceso de identificación de restricciones y preparación del trabajo de mediano plazo.

6.2.4. Porcentaje de participación de tareas en el plan de corto plazo

Este indicador se obtiene de dividir el número de tareas comprometidas en el plan de corto plazo por el número de tareas planificadas en la semana según el plan maestro. En consecuencia, un valor de 100% representa que todas las tareas planificadas de la semana, han sido comprometidas en el corto plazo. Un valor menor a 100% representa que no todas las tareas planificadas en la semana según el plan maestro fueron comprometidas en el corto plazo debido a falta de recursos o restricciones no

liberadas. Por ende, el análisis del porcentaje de participación de las tareas permite medir la gestión de los recursos y restricciones para la preparación del corto plazo.

La figura 6.9 presenta la evolución del porcentaje de participación a lo largo del proyecto. En esta, puede observarse que el porcentaje de participación fue cercano a 100% a lo largo de casi todo el período de seguimiento, con excepción del mes de marzo y que en la segunda mitad este fue menos variable y más cercano a 100%. Esto representa que hubo una mejora en la preparación del trabajo para los planes semanales dado que un alto porcentaje de las tareas planificadas para la semana pudieron comprometerse en el corto plazo.

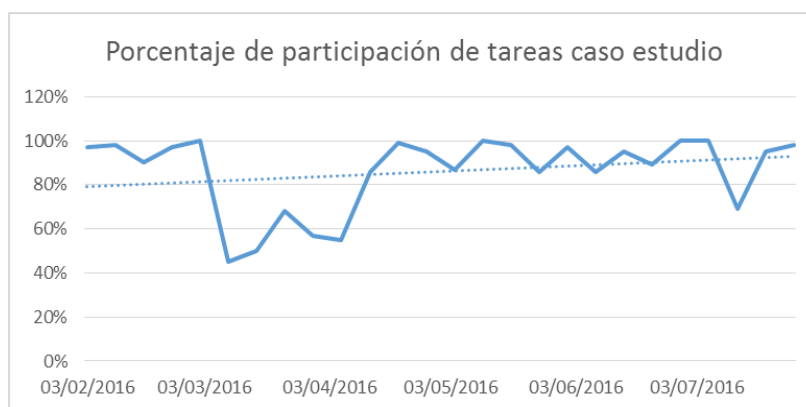


Figura 6.9. Porcentaje de participación de tareas caso de estudio

De hecho, un porcentaje más alto en la segunda mitad permite inferir que hubo una mejor gestión de recursos y menos tareas con restricciones no liberadas. La tabla 6.7 muestra el comparativo de la primera y segunda mitad, en el cual puede apreciarse el aumento del promedio y la disminución de la desviación.

Tabla 6.7. Porcentaje de participación de tareas del caso de estudio

Porcentaje de participación de tareas caso estudio		
Período	Promedio	Desviación
S2-S13	78,5%	21,7%
S14-S26	92,1%	8,7%
Global	86%	17,4%

6.3. Indicadores de desempeño

6.3.1. Evolución del porcentaje de cumplimiento de compromisos

En primer lugar, cabe destacar que los datos de la semana 1 y semana 27 del PPC fueron eliminados de la muestra, dado que en la semana 1 no se realizó una medición del cumplimiento de compromisos y en la semana 27, sólo se obtuvo el porcentaje de cumplimiento parcial, un día antes del término de la semana. En consecuencia, el análisis de datos se realizó sobre un universo de 25 semanas. La tabla 6.8 expuesta a continuación muestra los resultados medidos del PPC en el caso de estudio.

Tabla 6.8. PPC del caso estudio

Porcentaje de cumplimiento de compromisos caso estudio		
Período	Promedio	Desviación
S2-S13	64,3%	9,3%
S14-S26	72,4%	9,8%
Global	68%	10,2%

En la tabla 6.8, puede apreciarse que el promedio del PPC aumentó un 8% entre la primera y segunda mitad del período de medición. Por otra parte, la desviación estándar aumentó un 0,5%. Esto implica que hubo un aumento en el cumplimiento promedio del cumplimiento de compromisos y una mantención casi constante de la variabilidad. Además, cabe destacar que la segunda mitad incluye un período de fuertes lluvias en el cual se registró una baja del PPC a un mínimo de 48%. Por ende,

de no considerarse dicho período, la desviación estándar de la segunda mitad sería menor a la de la primera mitad y equivalente a 6,7%.

El gráfico de la figura 6.10 muestra la evolución del PPC a lo largo del período de seguimiento. En este es posible observar que durante el período de implementación de las primeras 4 semanas se obtuvo un alza constante del PPC, desde un 41% al inicio de Febrero a un 66% al inicio de Marzo. Además, la aproximación lineal de la curva muestra una tendencia al alza y su coeficiente de determinación de la curva es de $R^2=0,4761$, equivalente a un valor de R similar a 0,7. Por ende, la recta con una pendiente de un aumento de aproximadamente 0,9% semanal es representativa de la curva. Entonces, es posible concluir que el PPC tuvo una tendencia a la mejora a lo largo del período de seguimiento en el cual se realizó la implementación de la herramienta.

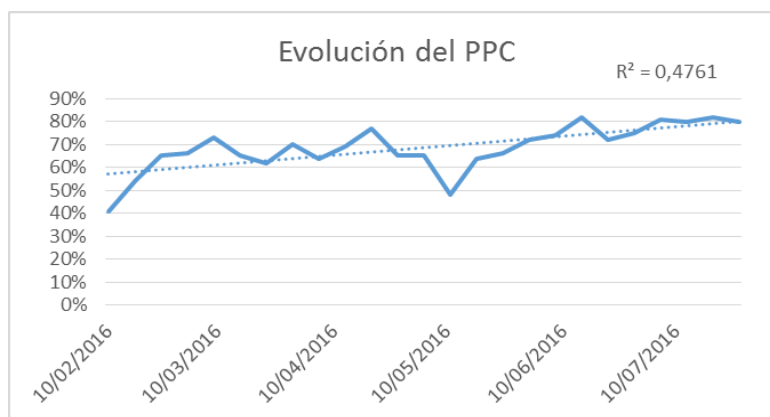


Figura 6.10. Evolución del PPC del caso estudio

6.3.2. Evolución del cumplimiento de programa

El SPI mide la relación entre el avance real acumulado y el avance presupuestado del proyecto, medido en forma porcentual. Por ende, un SPI mayor a 100% indica un adelanto del proyecto y un valor bajo 100% un retraso. La figura 6.11 expuesta a continuación muestra la evolución del SPI a lo largo del período de seguimiento del caso de estudio. En esta puede apreciarse que el indicador tuvo una tendencia al alza, alcanzando un valor final de 89%, lo que implicó un aumento de 12,3% con respecto

al SPI inicial. Además, puede observarse que la línea de tendencia, correspondiente a la aproximación lineal de la curva, tuvo una pendiente de aproximadamente 0,5% semanal a lo largo del proyecto y que su valor de R^2 es de casi 0,7, por lo cual es posible concluir que la tendencia al alza es representativa.

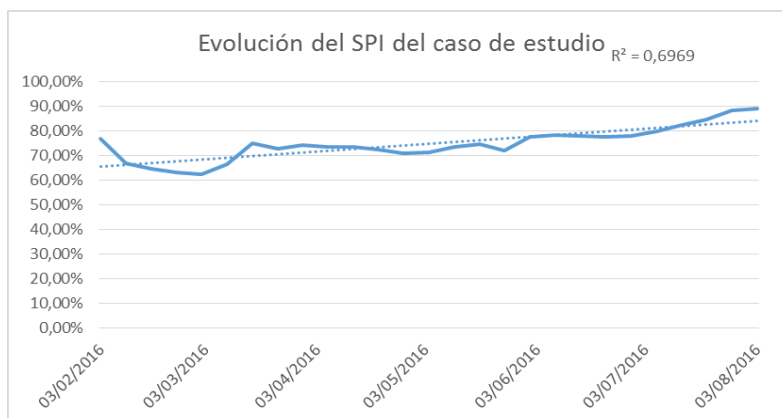


Figura 6.11. Evolución del SPI del caso estudio

Por otra parte, al analizarse la correlación entre el PPC y el SPI, se pudo concluir a través del estadístico R, el cual tuvo un valor de 0,64, que existe una correlación positiva entre la evolución del PPC y el SPI. Por ende, el aumento del PPC estuvo relacionado con un mejor cumplimiento del programa. La figura 6.12 presenta la correlación del PPC con el SPI.

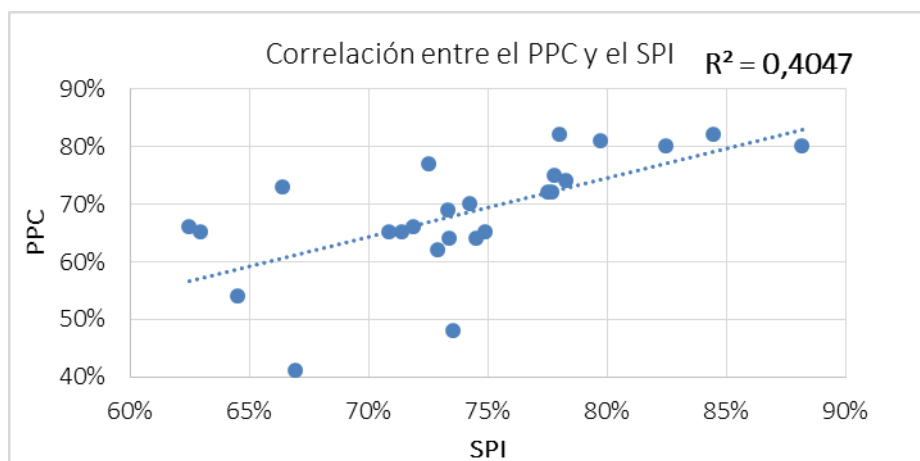


Figura 6.12. Correlación entre el PPC y SPI del caso estudio

6.3.3. Evolución de la desviación de programa

La desviación de programa se mide como la diferencia entre el avance presupuestado y real, dividida por el avance presupuestado del proyecto. En consecuencia, un proyecto que mantenga una desviación igual a cero se mantendrá acorde al programa mientras que una desviación ascendente representará un atraso continuo. Dado que este indicador utiliza los mismos parámetros que el SPI, es evidente que se comportará de forma similar. Por ende, en la figura 6.13 se observa una baja continua a lo largo del proyecto y una disminución de la desviación desde un 23,3% a un 11%. Además, en la figura 6.14 se observa una correlación negativa entre el PPC y la desviación, la cual es consecuente con la correlación entre el PPC y el SPI.

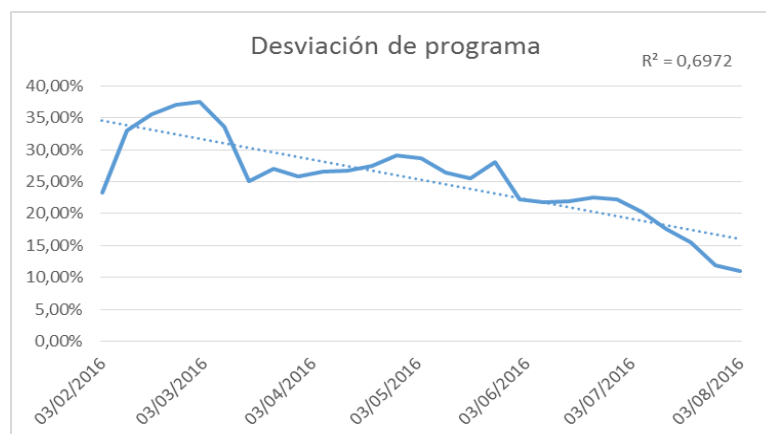


Figura 6.13. Evolución de la desviación de programa del caso estudio

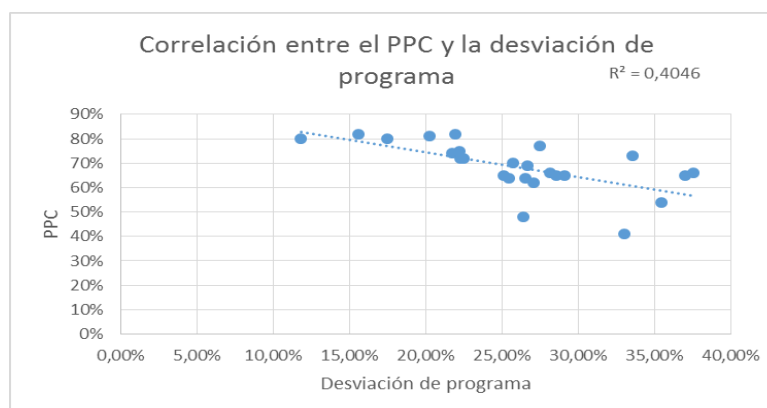


Figura 6.14. Correlación del PPC y Desviación de Programa del caso estudio

6.3.4. Causas de no cumplimiento

En primer lugar, el proyecto definieron 11 tipos de causas de no cumplimiento, de las cuales 5 se definieron como internas y controlables por el proyecto y 6 como externas o incontrolables. A continuación, en la tabla 6.9, se presentan los tipos de causas del proyecto y el grupo al cual pertenecen.

Tabla 6.9. Clasificación de las causas de no cumplimiento caso estudio

Causas de no Cumplimiento	Grupo
Suministro	Controlable
Prioridad	Controlable
Cambio Secuencia Constructiva	Controlable
Mano de Obra	Controlable
Mala estimación de recursos	Controlable
Diseño e Ingeniería	Externa / Incontrolable
Interferencia con tercero	Externa / Incontrolable
Procedimiento, Protocolo e Instructivo	Externa / Incontrolable
Equipo y Maquinaria	Externa / Incontrolable
Subcontrato	Externa / Incontrolable
Contingencia	Externa / Incontrolable

A continuación, en la figura 6.15, se presenta un gráfico de Pareto con el total de la aparición de causas de no cumplimiento a lo largo de las semanas de seguimiento del proyecto. En dicho gráfico se han diferenciado con color verde las causas controlables y en azul las externas o incontrolables. Como puede apreciarse, la mayoría de los incumplimientos del proyecto se debió a causas internas, de hecho, en la figura 6.16 puede observarse que el 66% de las causas de no cumplimiento correspondieron a causas controlables.

No obstante lo anterior, las causas de no cumplimiento controlables disminuyeron su porcentaje de relevancia en la segunda mitad del proyecto con respecto a la primera. Aquello es visible en la figura 6.17, en la cual se muestra un comparativo de la composición de las causas de la primera y segunda mitad. En esta se aprecia que el porcentaje disminuyó de un 75% a un 57%.

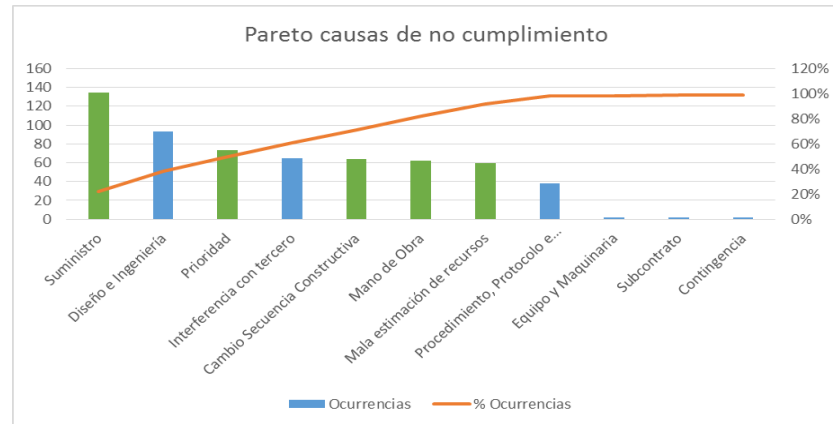


Figura 6.15. Gráfico de Pareto causas de no cumplimiento caso estudio

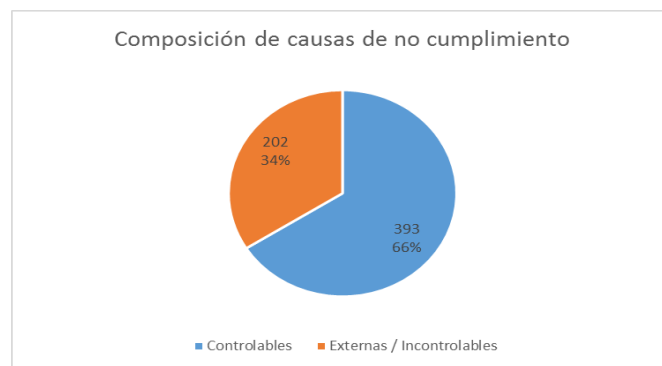


Figura 6.16. Composición de causas de no cumplimiento de caso estudio

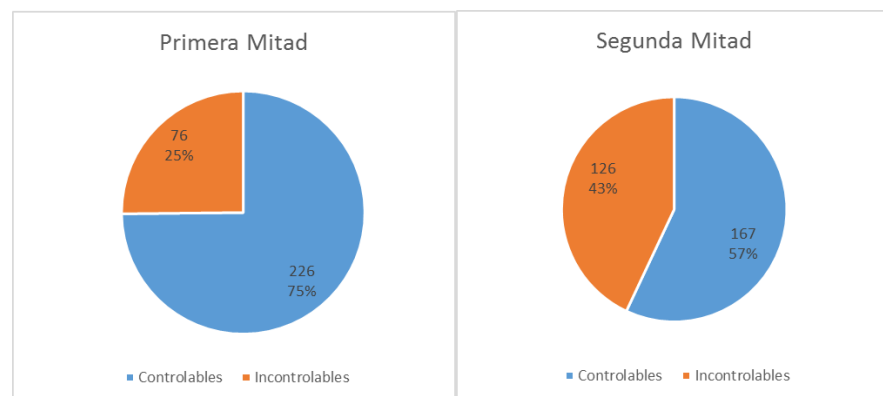


Figura 6.17. Comparativo composición causas de no cumplimiento del caso estudio

Adicionalmente se midió el impacto promedio de las causas de no cumplimiento, el cual se calculó como el promedio de la diferencia entre el porcentaje de avance comprometido y real alcanzado de los compromisos que tuvieron cada tipo de CNC. La figura 6.18 muestra el impacto promedio y la cantidad de causas de cada tipo.

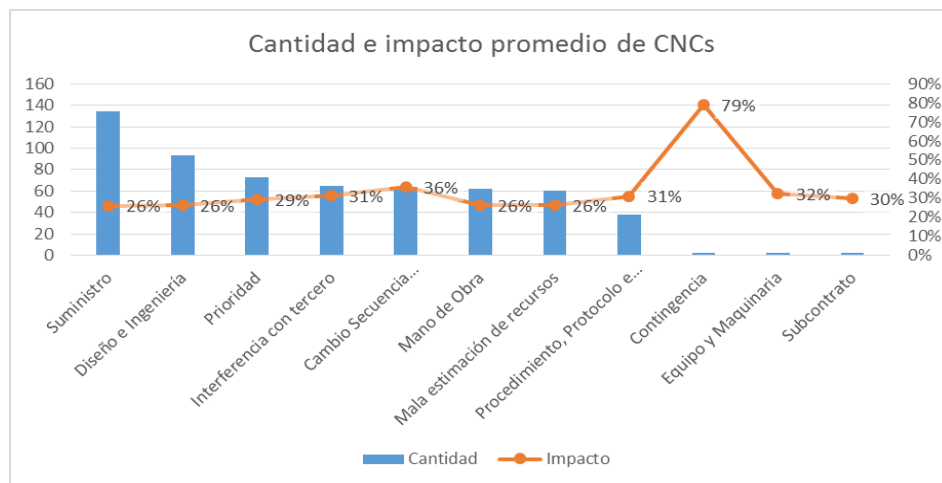


Figura 6.18. Cantidad e impacto de causas de no cumplimiento del caso estudio

Al multiplicarse la cantidad de causas de un tipo específico por su impacto promedio, es posible obtener un ponderador de la relevancia de las CNCs. La figura 6.19 muestra un gráfico de los ponderadores de relevancia estimados de cada CNC. Nuevamente se aprecia que las causas controlables fueron más relevantes en el proyecto que las causas externas o incontrolables.

Para analizar si existió un cambio en la relevancia de las causas de no cumplimiento controlables entre la primera y segunda mitad, se procedió a calcular un ponderador comparable entre ambas mitades. Para ello, en primer lugar se obtuvo un ponderador de la cantidad de causas de no cumplimiento por tipo, el cual se calculó como el porcentaje correspondiente al total de CNCs del tipo dividido por el total de CNCs de cada mitad. Luego, el ponderador de impacto se obtuvo como el impacto promedio del tipo de CNC en cada mitad. La tabla 6.10 muestra el ponderador de cantidad e impacto de las causas controlables en cada mitad.

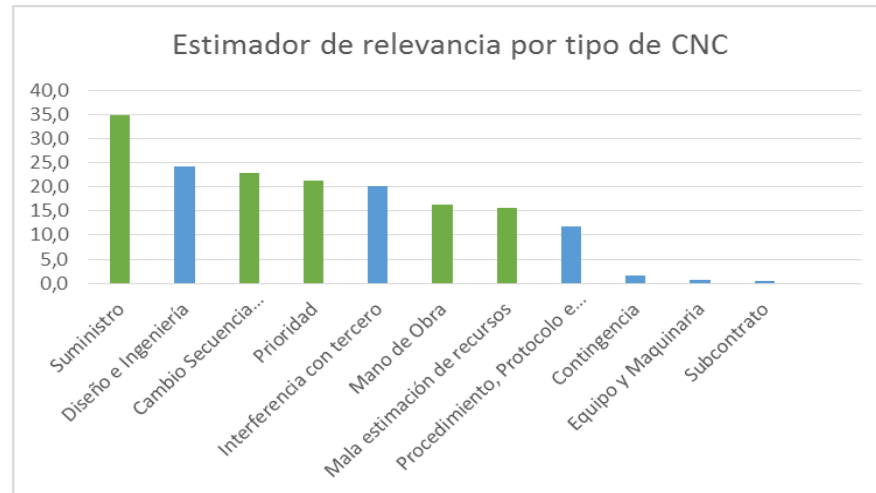


Figura 6.19. Relevancia de causas de no cumplimiento caso estudio

Tabla 6.10. Comparativo cantidad e impacto causas de no cumplimiento caso estudio

Tipo de CNC	Primera Mitad		Segunda Mitad	
	Ponderador Cantidad	Ponderador Impacto	Ponderador Cantidad	Ponderador Impacto
Cambio Secuencia Constructiva	14%	38%	7%	31%
Mala estimación de recursos	16%	27%	4%	23%
Mano de Obra	8%	26%	13%	26%
Prioridad	12%	36%	13%	23%
Suministro	25%	27%	19%	24%

Posteriormente, se calculó un ponderador de relevancia, obtenido como la multiplicación del ponderador de cantidad por el ponderador de impacto, multiplicado por 1000 para evitar números decimales muy pequeños. Además, se calculó el porcentaje de variación del ponderador como la diferencia entre el valor inicial y final, dividida por el ponderador inicial. El resultado se muestra en la tabla 6.11. En dicha tabla puede apreciarse que 4 de las 5 causas controlables disminuyeron su relevancia en un promedio de 50%, mientras que mano de obra aumentó su relevancia en un 74%. Por consiguiente, puede concluirse que hubo una mejora en la aparición de las causas de no cumplimiento controlables, dado que la mayoría de estas disminuyeron su relevancia y que pese a que aumentó

significativamente la relevancia de las causas asociadas a la mano de obra, el impacto de la disminución de la relevancia de las causas restantes fue mayor.

Tabla 6.11. Comparativo evolución relevancia CNCs caso estudio

Tipo de CNC	Primera Mitad	Segunda Mitad	% Variación
Cambio Secuencia Constructiva	54,2	22,5	-59%
Mala estimación de recursos	42,3	10,0	-76%
Mano de Obra	20,0	34,9	75%
Prioridad	42,9	28,6	-33%
Suministro	69,5	47,4	-32%

Finalmente, se analizó la correlación entre el PPC y la cantidad de causas de no cumplimiento controlables, cuyo resultado puede apreciarse en la figura 6.20. Se obtuvo un coeficiente de determinación $R^2=0,594$ y una correlación negativa con un $R= -0,77$ lo que implica una correlación negativa fuerte. Por ende, se puede concluir que el aumento del PPC estuvo correlacionado con una disminución en la aparición de las causas de no cumplimiento controlables. Además, es interesante señalar que la correlación medida entre el PPC y la cantidad de causas de no cumplimiento controlables fue mayor a la correlación entre la cantidad total de CNCs por período y el PPC, la cual se muestra en la figura 6.21 y obtuvo un coeficiente de determinación $R^2=0,267$ y una correlación negativo con un valor de $R= -0,516$.

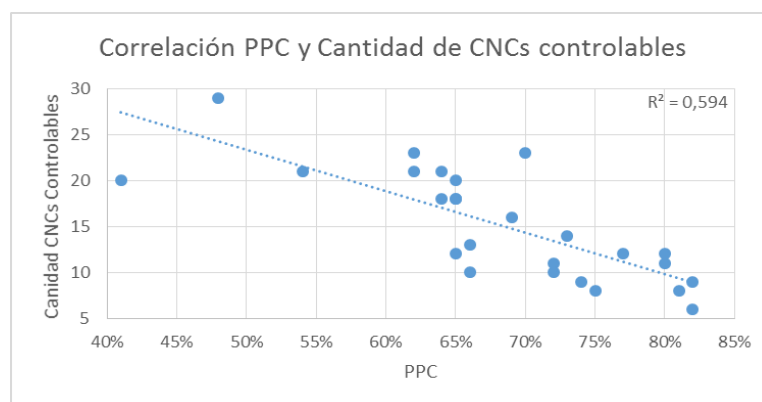


Figura 6.20. Correlación entre PPC y cantidad de CNCs controlables caso estudio

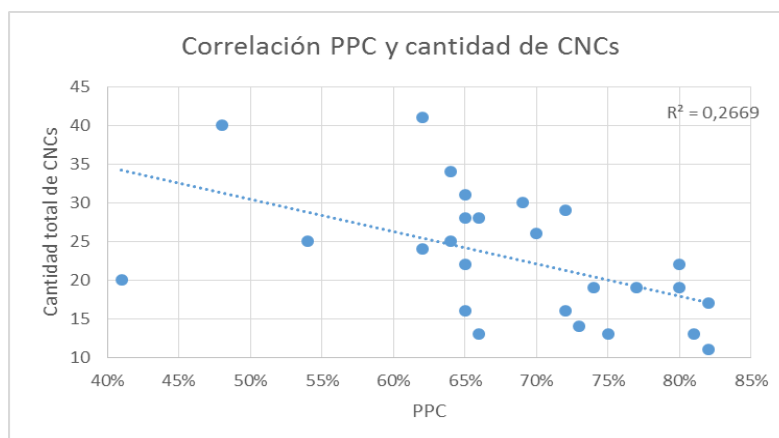


Figura 6.21. Correlación entre PPC y cantidad total de CNCs caso estudio

Lo anterior implica que efectivamente el aumento del PPC se debió a una disminución en la aparición de causas de no cumplimiento controlables. Esto implica que el proyecto realizó una mejor preparación de sus compromisos, por lo cual obtuvieron un mejor cumplimiento. Si el aumento del PPC se hubiera debido a un comportamiento más predecible del entorno, hubiera estado altamente correlacionado con las causas de no cumplimiento no controlables y con el total de causas de no cumplimiento. En consecuencia, es posible afirmar que el aumento del PPC no se debió a factores externos sino efectivamente a un mejoramiento en la gestión interna del proyecto.

6.4. Conclusiones en base al análisis de resultados

En primer lugar, cabe mencionar que se logró implementar las herramientas desarrolladas en el proyecto y utilizarlas a lo largo de todo el proceso de seguimiento, por lo que el segundo objetivo específico de la investigación se cumplió. Además, las herramientas fueron integradas a las instancias de planificación y control semanal del proyecto, lográndose una mejora medible en el análisis crítico de la información, estandarización de la planificación y control y la gestión visual, por lo cual, se puede concluir que éstas lograron mejorar la gestión de la información en el caso de estudio.

Por otra parte, se identificaron mejoras tanto en el grado de implementación de la metodología, como en los indicadores de gestión y desempeño del proyecto. Además, se identifica una correlación entre los resultados de las mejoras del grado de implementación y los indicadores de gestión y desempeño analizados.

La principal mejora en el grado de implementación de la metodología se identificó en los componentes asociados a la planificación intermedia y preparación del trabajo. El análisis y remoción sistemática de restricciones aumentó un 47%, mientras que la estandarización de la planificación intermedia aumentó un 28% y el uso exclusivo del ITE en la planificación de corto plazo aumentó un 25%. Estas mejoras se condicen con las mejoras identificadas en los indicadores de gestión.

La identificación de restricciones mejoró considerablemente entre la primera y segunda mitad del proyecto y fue considerablemente mayor al caso base utilizado como comparativo. Así mismo, mejoraron también los tiempos de gestión de restricciones, dado que en la segunda mitad del período de seguimiento se logró identificar con mayor anticipación y liberar en menor tiempo. Cabe mencionar que en ambos períodos el tiempo de liberación medio fue mayor al tiempo de planificación, aunque la brecha entre ambos disminuyó en la segunda mitad. También es importante señalar que los tiempos de planificación y liberación de restricciones fueron mayores a los medidos en el caso base, sin embargo como la identificación de restricciones y el tiempo de identificación fue mayor, existen mejoras en el caso de estudio con respecto al caso base.

Por otra parte, la liberación semanal de restricciones del proyecto no se benefició y el PCR fue menor al caso base. Se identificó una tendencia a la baja en la segunda mitad y una alta desviación estándar que aumentó en la segunda mitad. Por ende, es posible inferir que el uso de las herramientas de gestión no mejoró la precisión de los compromisos de liberación.

No obstante, se logró un alto ILR promedio y acumulado, el cual fue mayor al medido en el caso base, por lo cual se infiere un impacto positivo en liberación de restricciones previa a su fecha requerida, adicional a la mejora identificada en la identificación y tiempos de gestión de restricciones. Esto es consecuente con la

mejora en el grado de implementación de la gestión de restricciones y estandarización de la planificación intermedia.

Además, la mejora en el uso exclusivo del ITE en la planificación de corto plazo, es consecuente con la mejora en el indicador del porcentaje de participación semanal de las tareas. Dicho indicador aumentó y se estabilizó en un porcentaje similar a 100%, disminuyendo su variabilidad, lo que implica que se gestionó de mejor forma el ITE, cumpliéndose la programación maestra de la semana de forma más completa y estable.

Lo anterior se condice también con el aumento sostenido del PPC y la disminución de la variabilidad, el cual tuvo una alta correlación con el aumento del cumplimiento de programa (SPI) y la disminución de la desviación de programa. Por ende, puede inferirse que un mejor uso del ITE y la mejora en la planificación de corto plazo, significaron una mejora en el cumplimiento de compromisos y por ende una mejora en el cumplimiento del programa.

De la misma forma, la mejora en la gestión de causas de no cumplimiento y acciones correctivas se condice con la disminución en el porcentaje de aparición de causas controlables entre la primera y segunda mitad y la disminución de su impacto promedio. En consecuencia, es posible inferir que se logró una mejor gestión de las causas de no cumplimiento y acciones correctivas que causó una mejora en la composición, cantidad, impacto y relevancia de las causas de no cumplimiento del proyecto.

También es importante recalcar que la medición del grado de implementación también detectó mejoras significativas en el análisis crítico de la información, la gestión visual de la información, el involucramiento de los últimos planificadores, la comunicación y trabajo en equipo, la estandarización de las reuniones de planificación y la estandarización general del proceso de planificación y control. Dichas mejoras son consecuentes con el alcance y objetivos de las herramientas implementadas, por lo cual es posible afirmar que la implementación de estas tuvo un impacto positivo en el proyecto, el cual fue medible no solo en la implementación de la metodología sino también en los indicadores del proyecto y su desempeño.

Finalmente, dado el análisis presentado anteriormente, es posible concluir que se cumplió con el tercer objetivo de la investigación y se logró dar respuesta a la tercera pregunta de la investigación. Considerándose las mejoras medidas en el grado de implementación de la metodología, los indicadores de gestión y el desempeño del proyecto, también es posible concluir que se validó empíricamente la segunda hipótesis. Por lo cual, considerándose las limitaciones del caso de estudio y el alcance de la investigación, puede concluirse que la implementación de las herramientas mejoró la gestión y el desempeño del proyecto.

7. CONCLUSIONES

7.1. Resumen del problema abordado

La literatura muestra que el uso de la metodología *Last Planner* provoca resultados positivos en proyectos, mejoras en los procesos de gestión y desempeño, incluso en proyectos donde ésta ha sido implementada de forma parcial. Además, existe evidencia que un aumento del grado de implementación metodológica, aumenta el desempeño y beneficios en los proyectos. Sin embargo, numerosas fuentes bibliográficas e investigaciones han reportado que existen componentes de la metodología con un bajo grado de implementación.

Algunas de las principales razones reportadas continuamente son el desconocimiento, falta de tiempo de los encargados y el equipo de los proyectos y la falla en identificar el valor que dichos componentes agregan. Además, otro de los aspectos faltantes que resultan fundamentales para alcanzar un mayor grado de implementación y mayores beneficios es la gestión de la información para el aprendizaje y la mejora continua.

Algunas de las fuentes revisadas en esta investigación muestran que poca de la información que se genera a través del uso del sistema *Last Planner* es utilizada y analizada en profundidad para la mejora. En los últimos años, sistemas computacionales como Impera, Simplean, Workplan y Visilean, entre otros, han sido desarrollados e implementados en proyectos de Chile y el mundo. Estos sistemas han mostrado impactos positivos en la estandarización metodológica, gestión de la información y desempeño de los proyectos. Sin embargo, se han detectado desafíos para el aprovechamiento de su completo potencial como la dificultad para recopilar la información en terreno, el tiempo asociado a su uso y la entrega de la información de forma ágil y simple.

Aun así, investigaciones como las asociadas al uso de Impera en proyectos chilenos, han demostrado que la implementación de estos sistemas produce mejoras significativas en el uso de la metodología, indicadores de gestión y desempeño. Además, el constante desarrollo de las herramientas móviles, conectividad y

tecnologías de la información presenta una oportunidad para hacer frente a los desafíos para la implementación de sistemas computacionales de soporte de *Last Planner*. Por dicha razón, el desarrollo de herramientas que faciliten la recopilación de información, la comunicación sistemática de ésta y su uso en el análisis para la mejora continua fue detectado como la principal oportunidad a abordarse en esta investigación.

El objetivo general de esta investigación consistió en desarrollar herramientas de tecnologías de la información para mejorar la gestión de la información y el desempeño de proyectos de *Last Planner*. Para ello, se plantearon tres preguntas guía de la investigación, asociadas a tres objetivos específicos. Cada uno de los objetivos fue abordado en un capítulo de esta tesis, correspondientes a las etapas II, III y IV de la investigación. Al término de cada etapa se logró dar respuesta a las preguntas de la investigación y el cumplimiento de los objetivos específicos. La figura 7.1 presenta un resumen de las preguntas de investigación, objetivos, hipótesis y métodos de validación utilizados.

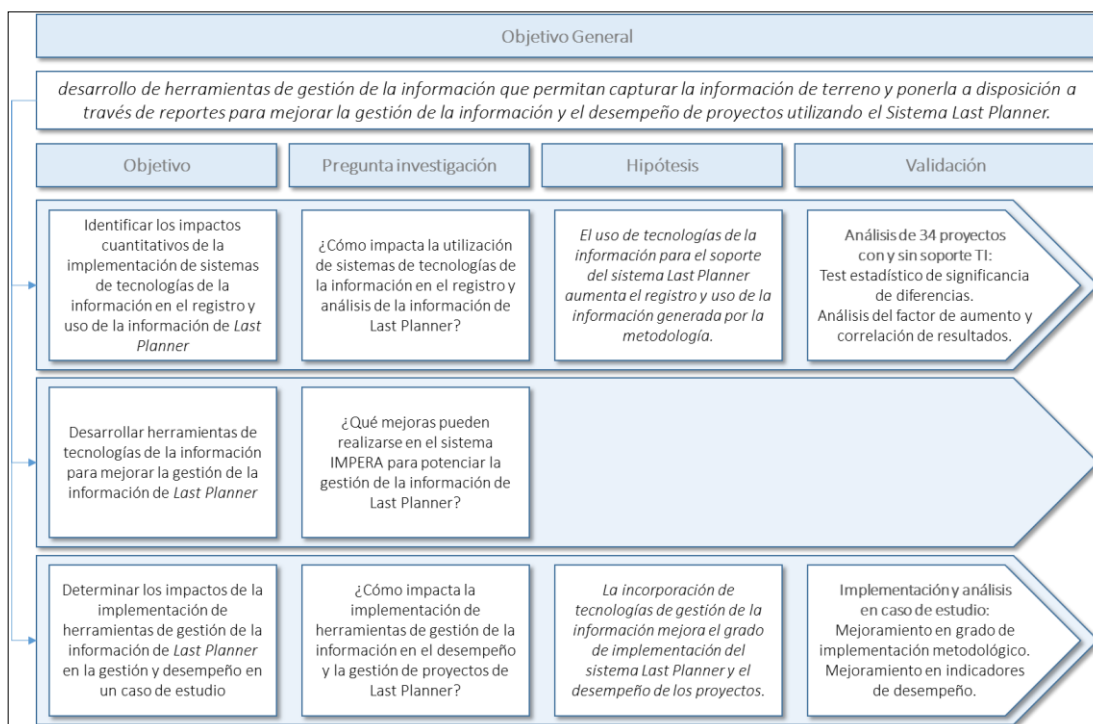


Figura 7.1. Resumen del diseño de investigación

7.2. Conclusiones respecto al análisis del impacto del uso de sistemas TI en la gestión de la información en proyectos de Last Planner

La primera pregunta consistió en determinar cómo impacta la utilización de sistemas de tecnologías de la información en el registro y análisis de la información de *Last Planner*. Para responderla, se realizó un análisis comparativo del registro y uso de la información entre proyectos con soporte TI y con herramientas tradicionales de soporte de la metodología, en 34 proyectos de construcción chilenos, 17 de los cuales utilizaban el sistema computacional Impera como herramienta de soporte de la metodología y 17 utilizaban herramientas de soporte tradicional como Microsoft Excel.

El análisis se realizó sobre los resultados de la aplicación de una métrica de medición del registro de información de restricciones, causas de no cumplimiento y acciones correctivas, y una métrica de medición de la utilización de dicha información en el análisis de dichos componentes de la metodología. Ambas métricas fueron elaboradas en conjunto con usuarios y validadas con criterio de los usuarios y expertos de la metodología. Además, los resultados fueron validados estadísticamente a través de la prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney para muestras independientes.

Se encontró una diferencia significativa entre los grupos tanto en el registro como en el uso de la información, identificándose los beneficios de la utilización de Impera para el soporte metodológico. Los resultados mostraron que el registro de la información mejoró un 22% con el uso de sistemas TI y que tanto el registro de restricciones como de causas de no cumplimiento alcanzaron niveles por sobre el 80% en el grupo con soporte TI. Además, pudo identificarse que el registro de acciones correctivas fue mucho menor en ambos grupos de estudio alcanzando un grado de implementación de 26% en el grupo tradicional y 47% en el grupo de IMPERA.

La principal razón encontrada para la diferencia entre el registro de acciones correctivas y los otros dos componentes es la falla en entender el valor que agrega el registro de la información del componente. Además, se encontró que en dicha razón

influyó el tipo de reportes accesibles para el uso de la información, el tiempo asociado a su registro, la rigurosidad de la exigencia del registro de datos y el uso que se le da a la información registrada. El uso de Impera resultó ser beneficioso para el registro de las acciones correctivas dado que el software sugería la toma de acciones correctivas cada vez que se ingresaba una causa de no cumplimiento y la información de éstas era accesible en una planilla de detalle histórica. Además, una vez tomadas las acciones, Impera exigía su control en el plazo estipulado.

No obstante, el porcentaje de registro medido en Impera fue menor a 50% dado que los reportes existentes no promovían ni facilitaban la gestión de la información y el análisis de las acciones históricas. Además, se encontró que el registro de la evaluación de acciones correctivas requería de información previa y análisis, los cuales no eran capturados de forma sistemática, por lo cual se realizaba una evaluación meramente cualitativa. Esto también contribuyó a que los proyectos disminuyeran el registro de acciones. Aun así, el resultado fue mayor ya que en los proyectos con soporte tradicional no se encontraron reportes ni prácticas asociadas al análisis de las acciones correctivas por lo cual estas se registraban de forma poco rigurosa o no se registraban.

Por ende, se encontró una oportunidad a aprovecharse, consistente en la elaboración de reportes para implementarse en las herramientas complementarias al software y la inclusión de nuevos parámetros en el registro para facilitar y mejorar la evaluación y gestión de la información. Adicionalmente, también se identificaron parámetros que no son capturados por el software, cuya inclusión permite la elaboración de nuevos reportes asociados a las restricciones y causas de no cumplimiento.

En cuanto al uso de la información, se encontró que la implementación de Impera también resultó beneficiosa dado que se encontró una diferencia promedio de 29% entre los grupos. Sin embargo, al igual que en el caso anterior, las acciones correctivas fueron el componente con menor grado de implementación, alcanzándose sólo un 18% en el grupo con soporte TI y un 2% en el grupo tradicional. Esto corrobora el bajo uso de la información de las acciones, factor que influye en el registro. En consecuencia, se identificó la importancia de la inclusión de reportes que fomenten la gestión de la información de dicho componente.

Además, se encontró una diferencia significativa en el uso de información de restricciones y causas de no cumplimiento, pese a que ambos mejoraron aproximadamente un 35% con respecto al grupo con soporte tradicional y que el registro de ambos componentes fue similar. La razón identificada fue la forma en que se presenta la información y el tipo de reportes que se incluyen. Las causas de no cumplimiento contaban con reportes visuales de composición, estado, evolución e indicadores asociados, además de tablas de detalle, mientras que las restricciones sólo contaban con indicadores asociados y tablas. A través del análisis y entrevistas, fue posible identificar que los factores que más propician el uso de la información para la elaboración de análisis específicos, son la existencia de variedad de reportes visuales y simples, de carácter complementario.

Por dicha razón, se corroboró la importancia de la elaboración de una herramienta de gestión de la información que propicie su uso, a través de la puesta a disposición de reportes complementarios de gestión visual y de fácil acceso. También fue posible determinar qué análisis, necesarios para la gestión de los tres componentes tenían un bajo nivel de utilización o no fueron observados, lo cual permitió determinar qué reportes debían incluirse en las herramientas. Entonces, puede concluirse que se cumplió con el primer objetivo, consistente en analizar cuantitativamente el impacto de la implementación de sistemas de tecnologías de la información en el registro y uso de la información de *Last Planner*, para la identificación de aspectos beneficiosos, necesidades y oportunidades para la elaboración de las herramientas. Esto implica, que se identificó evidencia estadística de las mejoras en la gestión de la información que permite validar la primera hipótesis de la investigación.

7.3. Conclusiones obtenidas del desarrollo de herramientas para el mejoramiento de la gestión de la información en proyectos de Last Planner

La segunda pregunta consistió en identificar qué mejoras pueden realizarse en el sistema IMPERA para potenciar la gestión de la información de *Last Planner*. A través de entrevistas y pruebas de prototipos con usuarios, fue posible identificar como principales necesidades a satisfacerse, la gestión y comunicación de la

información desde terreno, la disponibilidad de la información en las instancias de gestión, la accesibilidad a reportes consolidados de la información histórica y actual del proyecto y facilitar el proceso de recopilación y consolidación de ésta en el sistema. Para ello, se desarrolló una herramienta complementaria e integrada a la plataforma Impera, compuesta de un módulo de gestión en terreno y un módulo de reportes, ambos accesibles en dispositivos móviles y navegadores web.

El módulo de gestión en terreno fue desarrollado pensando en la información que requieren los últimos planificadores para su gestión diaria y la información que éstos necesitan reportar para la actualización sistemática del sistema. En consiguiente, el módulo incluyó una sección de compromisos en que los últimos planificadores podían ver y reportar el estado de sus tareas y restricciones, notificar el cumplimiento, causas de no cumplimiento, avance, reprogramaciones, liberación e identificación de restricciones. Se incluyó también un módulo de interconexión entre las herramientas y la plataforma, para facilitar la gestión de la información y notificaciones.

Adicionalmente, el módulo de reportes desarrollado consiste en un dashboard compuesto por 20 indicadores del cumplimiento de programa, compromisos, restricciones, causas de no cumplimiento y acciones correctivas. Este módulo se actualiza automáticamente al realizarse cambios en la plataforma y permite un filtrado, ordenamiento y exportación simple de la información. Además, los reportes son accesibles tanto desde navegadores web como desde el aplicativo, para facilitar la gestión en terreno. El dashboard, o panel de reportes, incluye gráficos de gestión visual y tablas de detalle con la información relevante para la elaboración de análisis complejos. Dado que ambos módulos fueron probados exitosamente en la etapa de prototipo y en su versión final, fue posible concluir que se cumplió con el segundo objetivo, fijado como el desarrollo de herramientas de tecnologías de la información para mejorar la gestión de la información de *Last Planner*.

7.4. Conclusiones obtenidas del análisis del caso de estudio

La tercera pregunta tuvo la finalidad de corroborar la utilidad de las herramientas creadas e identificar cómo impacta la implementación de herramientas de gestión de

la información en el desempeño y la gestión de proyectos de *Last Planner*. Para ello, los módulos fueron implementados en un caso de estudio, correspondiente a un proyecto de montaje industrial en el cual ya se contaba con la utilización de *Last Planner* y de la plataforma Impera. Se llevó a cabo una implementación y capacitación de un mes en el proyecto, un período de marcha blanca de 2 meses y un período de utilización sistematizada de las herramientas durante tres meses. El proyecto fue monitoreado de forma constante durante los 6 meses para recopilar información del grado de implementación de la metodología y el comportamiento de sus indicadores de gestión y de desempeño.

La implementación, seguimiento al caso estudio y análisis de resultados fueron realizados de forma exitosa, por lo cual, se concluyó que el tercer objetivo, analizar los resultados de la implementación de las herramientas para determinar su impacto en la gestión y desempeño en un caso de estudio, fue cumplido con éxito. Además, los resultados del proyecto resultaron ser positivos tanto en el grado de implementación de la metodología, los indicadores de gestión y de desempeño.

Al separarse el período de seguimiento en los primeros tres meses de implementación y puesta en marcha y los tres meses restantes de uso sistematizado, pudo realizarse un análisis comparativo que permitió identificar diversas mejoras. En primer lugar, el grado de implementación de la metodología mejoró en promedio un 16%, además que si no se consideran los dos aspectos que no se vieron afectados por la implementación de las herramientas, la mejora promedio fue de un 19%. Los principales aspectos que mejoraron fueron los asociados a la planificación intermedia y preparación del trabajo, junto a la gestión visual y análisis crítico de la información. Cabe mencionar que también la gestión de las causas de no cumplimiento y acciones correctivas aumentó un 28%.

Dichos resultados son consistentes con el foco de las herramientas y también con los resultados medidos en los indicadores. En cuanto a la planificación intermedia y preparación del trabajo, se identificó una mejora en la segunda mitad en la identificación de restricciones, tiempos de gestión de restricciones y porcentaje de participación de tareas planificadas según el plan maestro en los planes de corto plazo. Cabe mencionar, que el indicador de cumplimiento de restricciones (PCR) no

mejoró y aumentó su variabilidad en el segundo período, sin embargo se identificó un alto porcentaje de cumplimiento de la liberación antes de la fecha requerida (ILR) y una baja variabilidad de aquel indicador. Por lo cual, si bien la precisión del cumplimiento de compromisos de liberación de restricciones fue baja y no mejoró con la inclusión de las herramientas, sí mejoró la gestión general de restricciones e identificación. Esto causó un mejor manejo del inventario de trabajo ejecutable (ITE) que se vio reflejado en la mejora del porcentaje de participación de las tareas de corto plazo.

Por otra parte, también se identificaron mejoras en el cumplimiento de compromisos (PPC) y el cumplimiento general del programa (SPI). De hecho, se encontró una correlación alta entre el PPC y los indicadores de cumplimiento del programa, como el SPI y la desviación de programa. Por ende, puede afirmarse que la mejora en el cumplimiento de los compromisos estuvo asociada a una mejora en el cumplimiento de los plazos y metas de avance del proyecto. Así mismo, se identificó una disminución en la aparición de causas de no cumplimiento controlables y una disminución de su impacto promedio. Por dicha razón, el indicador de relevancia de 4 de los 5 tipos de causas de no cumplimiento objeto de la implementación disminuyó en más de 50%. Dichos resultados son consistentes con las mejoras en el grado de implementación de la planificación y control estandarizada, la estandarización de la planificación de corto plazo y la gestión de causas de no cumplimiento y acciones correctivas.

Por ende, puede concluirse a manera general que las herramientas causaron impactos positivos en el caso estudio en los aspectos relacionados a su alcance. En concreto, hubo una mejor gestión de la información, una mejor gestión general de los compromisos y programa, un mayor grado de implementación de la metodología y un mejor desempeño del proyecto. Dado esto, es posible afirmar que se validó empíricamente la segunda hipótesis, considerándose los alcances y limitaciones de la investigación y el caso de estudio.

7.5. Oportunidades de investigación futura

Por las características de ésta investigación, se realizan diversos aportes al conocimiento y surgen múltiples oportunidades para su continuidad. En primer lugar, las métricas para el análisis del registro y uso de información en los componentes tratados, presentan una herramienta validada por usuarios y expertos para el análisis y benchmarking. Dado que el universo de datos estuvo acotado exclusivamente a 34 proyectos de construcción chilenos, existe la oportunidad de extender dicho análisis a múltiples proyectos con el fin de obtener un universo representativo de la realidad chilena, de empresas específicas o de proyectos de otros países y rubros. Así mismo, los resultados de la gestión de la información presentan una herramienta en sí misma para la elaboración de benchmarking y análisis comparativo por parte de empresas e investigadores.

Se recomienda poder replicar el proceso para la elaboración de métricas similares que capturen la gestión de información de otros componentes de la metodología, como la gestión y uso del ITE, la gestión de compromisos y del cumplimiento de programa. La utilización de aquellas métricas en nuevos universos de proyectos puede contribuir a un mayor entendimiento de la realidad de la gestión de información y necesidades. Así mismo, también sería interesante replicar el análisis comparativo utilizando otros softwares de planificación con el fin de validar los beneficios encontrados de la incorporación de herramientas de tecnologías de la información y para identificar otros aspectos clave que beneficien dicha gestión y que puedan ser replicables a otras herramientas.

Por otra parte, en el proceso de desarrollo de las herramientas de gestión se identificaron aspectos relevantes que facilitan la gestión, necesidades específicas de los proyectos y oportunidades para el desarrollo. Los indicadores y gráficos propuestos pueden ser replicados en nuevas herramientas o complementados a través de la investigación y el desarrollo, para contribuir a la gestión de la información para la mejora continua. Además, las nuevas herramientas fueron integradas a la plataforma Impera, por lo cual su adopción e implementación en nuevos proyectos

permitirá el análisis de más información, nuevos indicadores y una forma simple de acceder a la información de la gestión y el desempeño de los proyectos.

Por consiguiente, es recomendable que una vez que las herramientas sean adoptadas en nuevos proyectos, pueda replicarse el proceso de análisis de casos de estudio, para contribuir a la identificación de beneficios y nuevas necesidades u oportunidades para el desarrollo continuo. Finalmente, la integración de las herramientas con Impera presenta una oportunidad relevante, dado que dicha plataforma es utilizada por más de 70 proyectos anualmente, en Chile y el extranjero, por lo cual, éstas permitirán capturar y analizar información valiosa para nuevos estudios y el análisis de nuevos casos de estudio en los cuales se implementen permitirá detectar nuevas mejoras a los aplicativos, las cuales podrán impactar a un número significativo de empresas y proyectos.

BIBLIOGRAFIA

- Alarcón, L. F., & Calderón, R. (2003a). A production planning support system for construction projects. *11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Virginia, USA.
- Alarcón, L. F., & Calderón, R. (2003b). Implementing Lean Production Strategies in Construction Companies. *Construction Research Congress*.
- Alarcón, L. F., Diethelm, S., Rojo, Ó., & Calderon, R. (2005). Assessing the impacts of implementing lean construction. *13th International Group for Lean Construction Conference, IGLC 13, July 19, 2005 - July 21, 2005*, 387–393.
- Alarcón, L. F., Salvatierra, J. L., & Letelier, J. A. (2014). Using Last Planner Indicators To Identify Early Signs Of Project Performance. *Proceedings for the 22th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 547–558.
- Ballard, G. (1994). The Last Planner. *Northern California Construction Institute, Monterey, California*, 1–8.
- Ballard, G. (1997). Lookahead planning: the missing link in production control. *Proc. 5 Th Annl. Conf. Intl. Group for Lean Constr*, (97), 1–14.
- Ballard, G. (2000a). Phase Scheduling. *LCI White Paper*, 7, 7–9.
- Ballard, G. (2000b). *The Last Planner System of Production Control*. University of Birmingham.
- Ballard, G., & Howell, G. (1998). Shielding Production: Essential Step in Production Control. *Journal of Construction Engineering and Management*, 124(1), 11–17.
- Ballard, G., & Howell, G. (2003). An update on last planner. *11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 1–10.
- Bernardes, M., & Formoso, C. (2002). Contributions To the Evaluation of Production Planning and Control Systems in Building Companies. *10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Gramado, Brazil, 1–11.
- Bortolazza, R., Costa, D., & Formoso, C. (2005). A quantitative analysis of the implementation of the Last Planner System in Brazil. *In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 13, 2005, Sydney*, 413–420.
- Castillo, T., Alarcón, L. F., Salvatierra, J. L., & Alarcón, D. (2015). Analyzing the Interrelation Between Management Practices , Organizational Characteristics and Performance Indicator for Construction Companies. *Proceedings for the 23rd Annual*

Conference of the International Group for Lean Construction, Perth, Australia, (May 2016), 691–700.

Choo, H. J., & Tommelein, I. D. (2001). Requirements and Barriers To Adoption of Last Planner Computer Tools. *Ninth Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 6–8.

Choo, H. J., Tommelein, I. D., Ballard, G., & Zabelle, T. (1998). WorkPlan: Database for Work Package Production Scheduling. *Proc. Sixth Annl. Conf. of the Intl. Group for Lean Construction*, 13–15.

Chua, D., Jun, S., & Hwee, B. (1999). Integrated production scheduler for construction look-ahead planning. *Proc. 7th Ann. Conf. Intl. Group for ...*, 287–298.

Cisterna, D. (2013). *Desarrollo y evaluación de indicadores de control para implementación en software de planificación y control de proyectos basado en metodología Last Planner*. Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Dalkey, N. (1969). The Delphi Method: An Experimental Study of Group Opinion. *The RAND Corporation*.

Daniel, E. I., Pasquire, C., & Ameh, O. J. (2014). The Magic of the Last Planner System for Nigerian Construction. *Proceedings for the 22th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 605–616.

Daniel, E. I., Pasquire, C., & Dickens, G. (2015). Exploring the Implementation of the Last Planner® System Through Iglc Community: Twenty One Years of Experience, (February 2016), 153–162.

Dave, B., Boddy, S., & Koskela, L. (2010). Improving information flow within the production management system with web services. *18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 445–455.

Dave, B., Boddy, S., & Koskela, L. (2011). Visilean: designing a production management system with lean and BIM. *19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 514–524.

Dave, B., Hämäläinen, J.-P., & Koskela, L. (2015). Exploring the Recurrent Problems in the Last Planner Implementation on Construction Projects. *Proceedings of the Indian Lean Construction Conference (ILCC 2015)*, 1–9.

Dave, B., Kubler, S., Främling, K., & Koskela, L. (2014). Addressing Information Flow in Lean Production Management and Control in Construction. *Proceedings IGLC-22*, 1–12.

Díaz, D. (2007). *Aplicación del sistema de planificación “Last Planner” a la construcción de un edificio habitacional de mediana altura*. Universidad de Chile.

- Emdanat, S., & Azambuja, M. (2016). Aligning Near and Long Term Planning for Lps Implementations: A Review of Existing and New Metrics. *Proceedings for the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Boston, USA*, 103–112.
- España, F., Tsao, C., & Hauser, M. (2012). Driving Continuous Improvement By Developing and Leveraging Lean Key Performance Indicators. *20th Conference of the International Group for Lean Construction*.
- Faloughi, M., Bechara, W., Chamoun, J., & Hamzeh, F. (2014). SimpLean: An Effective Tool for Optimizing Construction Workflow. *Proceedings for the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 281–292.
- Feliz, T., Reed, D., Draper, J., & Macomber, H. (2014). Leveraging software for learning-in-action using commitment-based planning. *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production, IGLC 2014*, 1307–1318.
- Formoso, C. T., & Moura, C. B. (2009). Evaluation of the impact of the Last Planner system on the performance of construction projects. *Proceedings of IGLC17: 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 153–164.
- González, A. M. (2012). *Propuesta de implementación del sistema Last Planner con el apoyo de modelación 4D para la obra gruesa de edificaciones*. Universidad de Chile.
- González, M. Á. (2012). *Análisis del impacto en la productividad de diferentes proyectos de construcción a través de la implementación del sistema Last Planner evaluado mediante un sistema basado en indicadores*. Universidad de Chile.
- Hamzeh, F., & Aridi, O. (2013). Modeling the last planner system metrics: a case study of an aec company. *Proceedings for the 21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Fortaleza, Brazil*, 599–608.
- Hamzeh, F., Ballard, G., & Tommelein, I. D. (2012). Rethinking Lookahead Planning to Optimize Construction Workflow. *Lean Construction Journal*, 15–34.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana. México D.F.
- Howell, G., & Ballard, G. (1996). Can project controls do its job? *4th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Birmingham, UK*.
- Howell, G., & Koskela, L. (2000). Reforming project management: the role of lean construction. *Proceedings of the 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.

- Howell, G., Laufer, A., & Ballard, G. (1993). Uncertainty and project objectives. *Project Appraisal*, 8(1), 37–43.
- Howell, G., & Macomber, H. (2002). A guide for new users of the Last Planner TM System nine steps for success (second draft). *Construction*, 21.
- Jang, J. W., & Kim, Y.-W. (2007). Use of Percent of Constraints Removal to Measure the Make-Ready Process, (July), 529–538.
- Jang, J. W., & Kim, Y. W. (1998). the Relationship Between the Make- Ready Process and Project Schedule. *Architecture*, 647–656.
- Johansen, E., & Porter, G. (2003). An Experience of Introducing Last Planner into a UK Construction Project. *Proceedings for the 10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 23–35.
- Knapp, S., Charron, R., & Howell, G. (2007). Phase planning today Planificaci{ó}n por fases ahora. *Main*, 22, 157–162.
- Koskela, L. (1992). Application of the new production philosophy to construction. *Center for Integrated Facility Engineering*, 1–81.
- Koskela, L. (1994). Lean production in construction. *National Construction and Management Conference*, 47–54.
- Koskela, L. (1999). Management of production in construction: a theoretical view. *Proceedings IGLC-7*, 241–252.
- Koskela, L. (2000). An Exploration towards a Production Theory and its Application to Construction. *Construction*, 298.
- Koskela, L., Ballard, G., Howell, G., & Tommelein, I. (2002). The foundations of lean construction. *Design and Construction: Building in Value*, (December 2015), 211–226.
- Lagos, C., Alarcón, L. F., & Salvatierra, J. L. (2016). Improving the Use of Information Management for Continuous Improvement With the Last Planner System. *Memorias Del VII Elagec, Bogotá, Colombia.*, 737–745.
- Lagos, C., Herrera, R., & Alarcón, L. F. (2017). Contributions of Information Technologies to Last Planner System implementation. *Proc. Lean & Computing in Construction Congress (LC3)*, Vol. 1 (CIB W78), Heraklion, Greece.
- Letelier, J. A. (2013). *Análisis en el tiempo de indicadores de control de avance utilizados en el software computacional “Impera” para pronosticar efectos futuros en proyectos de construcción*. Universidad de Chile.
- López, Á. (2013). Análisis del uso de las diferentes etapas de la metodología de Last

Planner en proyectos de construcción en minería, edificación en altura y en extensión.

Marín, J. A. (2015). Recomendaciones Para Extender Y Sostener Prácticas Lean a Través Del Tiempo En La Industria De La Construcción.

Mossman, A. (2013). Last Planner, (September 2012), 1–26.

Navon, R., & Sacks, R. (2007). Assessing research issues in Automated Project Performance Control (APPC). *Automation in Construction*, 16(4), 474–484.

Patel, A. (2013). The last planner system for reliable project delivery. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

Priven, V., & Sacks, R. (2013). Social network development in Last Planner System implementations. *21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013*, 474–485.

Sabbatino, D. (2011). *Directrices y recomendaciones para una buena implementación del sistema Last Planner en proyectos de edificación en Chile*. Universidad de Chile.

Sabbatino, D., Alarcón, L. F., & Toledo, M. (2011). Análisis de indicadores claves para la implementación del sistema Last Planner en proyectos de edificación. *UCursos*, 10.

Salvatierra, J. L., Alarcón, L. F., López, Á., & Velásquez, X. (2015). Lean diagnosis for chilean construction industry: Towards more sustainable Lean practices and tools. *Proceedings for the 23th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 642–651.

Soares, A., Bernardes, M., & Formoso, C. (2002). Improving the production planning and control system in a building company: Contributions after stabilization. *Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 10, 1–12.

Sriprasert, E., & Dawood, N. (2002). Next generation of construction planning and control system: the LEWIS approach. *EWork and EBusiness in Architecture, Engineering and Construction: Proceedings of the Fourth European Conference on Product and Process Modelling in the Building and Related Industries, Portorož, Slovenia, 9-11 September 2002*, 175.

Sterzi, M. P. ., Isatto, E. L. ., & Formoso, C. T. . (2007). Integrating strategic project supply chain members in production planning and control. *Lean Construction: A New Paradigm for Managing Capital Projects - 15th IGLC Conference*, (July), 159–169.

Tavistock Institute. (1966). Interdependence and uncertainty.

Viana, D., Mota, B., Formoso, C., Echeveste, M., Peixoto, M., & Rodrigues, C. (2010). A survey on the last planner system: Impacts and difficulties for implementation in Brazilian

companies. *Proceedings for the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 497–507.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation* (First Edit). New York: Free Press.

Yin, R. K. (2009). *Case study research : design and methods. Applied social research methods series ;* (Vol. 5.).

ANEXOS

ANEXO A: CARACTERÍSTICAS PANELES DE EXPERTOS, USUARIOS AVANZADOS E INTERMEDIOS

Perfil del panel de expertos:

Experto E1	Ingeniero Civil, PhD, profesor titular de la Pontificia Universidad Católica de Chile, director de la empresa consultora en <i>Lean</i> GEPRO y el Centro de Excelencia en Gestión de la Producción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (GEPUC), profesional con más de 30 años de experiencia en implementación, consultoría, investigación y academia en metodologías <i>Lean</i> y el sistema <i>Last Planner</i> .
Experto E2	Ingeniero Civil, PhD, gerente general de GEPUC, consultor senior de GEPRO, profesional con más de 15 años de experiencia en investigación y academia en metodología <i>Lean</i> y el sistema <i>Last Planner</i> .
Experto E3	Ingeniero Civil, Magíster en Administración de la Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Director de Proyectos de GEPRO, profesional con más de 10 años de experiencia en implementación, consultoría, investigación y academia en metodologías <i>Lean</i> y el sistema <i>Last Planner</i> .
Experto E4	Ingeniero Civil, Magíster en Administración de la Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Director de Proyectos de GEPRO, profesional con más de 12 años de experiencia en implementación, consultoría, investigación y academia en metodologías <i>Lean</i> y el sistema <i>Last Planner</i> .
Experto E5	Ingeniero Civil, Director de Proyectos de GEPRO, profesional con más de 15 años de experiencia en implementación, consultoría, investigación y academia en metodologías <i>Lean</i> y el sistema <i>Last Planner</i> .

Perfil del panel de usuarios avanzados:

Usuario A1	Ingeniero Civil, Magíster en Administración de la Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile, consultor de proyectos senior de GEPRO, profesional con más de 6 años de experiencia en implementación, consultoría, investigación y academia en metodologías <i>Lean</i> y el sistema <i>Last Planner</i> , en más de 20 proyectos, de 8 empresas del rubro minero, construcción e industrial de Chile y Perú.
Usuario A2	Ingeniero Civil, consultor de proyectos de GEPRO, profesional con más de 5 años de experiencia en implementación y consultoría en metodologías <i>Lean</i> y el sistema <i>Last Planner</i> , en más de 20 proyectos, de 6 empresas constructoras chilenas.
Usuario A3	Ingeniero Civil, consultor de proyectos de GEPRO, profesional con más de 4 años de experiencia en implementación y consultoría en metodologías <i>Lean</i> y el sistema <i>Last Planner</i> , en más de 15 proyectos, de 4 empresas constructoras chilenas.

Usuario A4	Ingeniero Civil, consultor de proyectos de GEPRO, profesional con más de 3 años de experiencia en implementación y consultoría en metodologías <i>Lean</i> y el sistema <i>Last Planner</i> , en más de 15 proyectos, de 6 empresas chilenas del rubro de la construcción, minería, industrial y vitivinícola.
Usuario A5	Ingeniero Civil, consultor de proyectos de GEPRO, profesional con más de 2 años de experiencia en implementación y consultoría en metodologías <i>Lean</i> y el sistema <i>Last Planner</i> , en más de 15 proyectos, de 3 empresas chilenas del rubro de la construcción, minería e industrial.

Perfil del panel de usuarios intermedios:

Usuario I1	Administrador de obra con más de 10 años de experiencia, dos años de experiencia en el uso de la metodología <i>Last Planner</i> y 1 año de experiencia en el uso de IMPERA.
Usuario I2	Profesional encargado de planificación y control, con más de 10 años de experiencia, 4 años de experiencia en el uso de la metodología <i>Last Planner</i> y 1 año de experiencia en el uso de IMPERA.
Usuario I3	Profesional de terreno con más de 9 años de experiencia, dos años de experiencia en el uso de la metodología <i>Last Planner</i> y 1 año de experiencia en el uso de IMPERA.
Usuario I4	Encargado de planificación y control, con más de 8 años de experiencia, 4 años de experiencia en el uso de IMPERA y 2 años de experiencia en el uso de la metodología <i>Last Planner</i> .
Usuario I5	Profesional de Oficina Técnica, con más de 5 años de experiencia y 2 años de experiencia en el uso de la metodología <i>Last Planner</i> , a través del uso de IMPERA.

ANEXO B: MÉTRICA DE EVALUACIÓN DEL REGISTRO DE INFORMACIÓN

Componente	Parámetro	Descripción	Evaluación
Restricciones	Tipo	Identifica si la restricción afecta el inicio o la continuidad de la ejecución de una tarea	
	Familia	Grupo con características similares, al cual pertenece la restricción	
	Detalle	Información de la acción requerida para la liberación de la restricción	
	Tareas afectadas	Vínculo que permite asociar una restricción específica a una o múltiples tareas	
	Responsable	Persona u agente a cargo de la liberación de la restricción	
	Fecha de identificación	Fecha en la cual la restricción fue detectada y asignado un compromiso de liberación	
	Fecha requerida de liberación	Última fecha factible en la cual la restricción puede ser liberada sin que ésta afecte la ejecución del programa	
	Fecha comprometida	Fecha en la cual el responsable ha planificado la liberación de la restricción comprometida	
	Fecha original de compromiso	Fecha original en la cual se planteó originalmente la liberación de la restricción	
	Fecha de liberación	Fecha real en la cual se liberó la restricción	
Causas de no cumplimiento	Tipo	Grupo con características similares, al cual pertenece la causa de no cumplimiento	
	Función de origen	Función específica del proyecto en la cual se manifestó la causa de no cumplimiento, pudiendo ser áreas relevantes del proyecto o bien agentes como la constructora, subcontratos, mandantes, proveedores, etc.	
	Fuente	Las fuentes pueden ser internas o externas. Se considera como fuente interna, aquella que es controlable por el proyecto y externa, a aquella que es incontrolable o controlable por agentes ajenos al proyecto	
	Detalle	Información del problema específico que afectó el cumplimiento de ejecución de la tarea asociada	
	Período de corto plazo	Período en el cual la causa de no cumplimiento causó efecto	
	Tarea afectada	Vincula la causa de no cumplimiento a una tarea específica	
	Impacto	Evaluación cualitativa o cuantitativa del impacto que tuvo la causa de no cumplimiento	
	Causa raíz	Problema o condición inicial que originó la aparición de la causa de no cumplimiento	
Acciones correctivas	Detalle del problema	Tipo de causa de no cumplimiento que se plantea eliminar, corregir o minimizar a través de la acción	
	Descripción	Descripción del plan de implementación de la acción	
	Responsable	Responsable de la implementación y control de la acción correctiva	
	Fecha de implementación	Fecha en la cual se planea implementar y/o se implementó la acción correctiva	

	Fecha de evaluación	Fecha en la cual se evaluará el efecto o impacto que tuvo la acción correctiva	
	Efecto o impacto deseado	Detalle del efecto que se busca y/o impacto esperado de la acción correctiva	
	Tipo de acción	Clasifica como acciones del tipo preventivo a aquellas que evitan la aparición de una causa raíz y como acciones reactivas a las que busquen evitar o minimizar el efecto de un problema puntual o CNC	
	Efectividad o impacto	Evaluación de la efectividad, como por ejemplo altamente efectiva, medianamente, levemente o nula; o bien del impacto de ésta como alto, medio, bajo o inexistente	

ANEXO C: MÉTRICA DE EVALUACIÓN DEL USO DE INFORMACIÓN PARA EL ANÁLISIS

Componente	Análisis	Descripción	Evaluación
Restricciones	Estado actual restricciones	Estado de la liberación de restricciones y cantidad por familia o tipo, incluyendo el número de restricciones liberadas a tiempo o con atraso, pendientes en plazo y/o atrasadas	
	Identificación de restricciones	Cantidad de restricciones identificadas en el tiempo, ya sea por período o una evolución del total de restricciones identificadas	
	Evolución del estado de restricciones	Evolución de la liberación de restricciones, por período o global, consolidadas o filtradas por tipo, familia o responsable	
	Indicador de liberación semanal	Evolución de un indicador de liberación semanal o de cumplimiento de compromisos semanales como el PCR o similar	
Causas de no cumplimiento	Composición CNCs históricas	Análisis de la cantidad y tipo de CNCs que han afectado al proyecto, las que pueden ser analizadas por tipo, origen o fuente	
	Composición CNCs del período actual	Análisis de la cantidad y tipo de CNCs que afectaron el último período, las que pueden ser analizadas por tipo, origen o fuente	
	Relevancia e impacto de CNCs	Análisis de las CNCs más relevantes en términos de su frecuencia, cantidad y/o impacto	
	Evolución de la aparición de CNCs	Cantidad de restricciones por período, consolidadas y/o por tipo, origen o fuente	
Acciones correctivas	Efectividad	Medición de la efectividad promedio y de acciones específicas	
	Análisis de impacto	Análisis del impacto medido a través de indicadores cuantitativos o cualitativos como la frecuencia o impacto de causas de no cumplimiento, o la resolución de problemáticas del proyecto	
	Evolución de acciones correctivas planificadas en el tiempo	Cantidad de acciones planificadas por período o acumuladas en el tiempo	

	Evolución de acciones correctivas implementadas en el tiempo	Cantidad de acciones implementadas por período, evolución del cumplimiento de los compromisos de implementación y evolución de la efectividad	
--	--	---	--

ANEXO D: DISTRIBUCIÓN DE PROYECTOS POR USUARIO Y TIPO

Proyectos con Soporte TI			Proyectos con Soporte Tradicional		
Identificador Proyecto	Tipo Proyecto	Usuario Encargado	Identificador Proyecto	Tipo Proyecto	Usuario Encargado
I1	E	A4	T1	E	A4
I2	MI	A5	T2	E	A4
I3	MI	A5	T3	E	A4
I4	MI	A3	T4	E	A3
I5	MI	A3	T5	E	A3
I6	MI	A4	T6	E	A4
I7	E	A2	T7	OC	A2
I8	OC	A2	T8	E	A1
I9	CM	A2	T9	E	A1
I10	CM	A2	T10	E	A1
I11	E	A5	T11	E	A1
I12	E	A5	T12	E	A3
I13	E	A4	T13	CM	A1
I14	E	A4	T14	CM	A5
I15	MI	A3	T15	E	A5
I16	E	A1	T16	OC	A5
I17	E	A1	T17	E	A5

ANEXO E: CUESTIONARIO EVALUACIÓN DE SUFICIENCIA DEL LISTADO DE REPORTE

- 1. ¿El listado permite hacer una evaluación profunda y suficiente de la gestión histórica de restricciones?**
 - a) 0 puntos: En desacuerdo
 - b) 1 punto: Entre a) y c)
 - c) 2 puntos: Medianamente de acuerdo
 - d) 3 puntos: Entre c) y d)
 - e) 4 puntos: Completamente de acuerdo

- 2. ¿El listado permite hacer una evaluación profunda y suficiente de la composición de restricciones?**
 - a) 0 puntos: En desacuerdo
 - b) 1 punto: Entre a) y c)
 - c) 2 puntos: Medianamente de acuerdo
 - d) 3 puntos: Entre c) y d)
 - e) 4 puntos: Completamente de acuerdo

- 3. ¿El listado permite hacer una evaluación profunda y suficiente del cumplimiento de la gestión de restricciones?**
 - a) 0 puntos: En desacuerdo
 - b) 1 punto: Entre a) y c)
 - c) 2 puntos: Medianamente de acuerdo
 - d) 3 puntos: Entre c) y d)
 - e) 4 puntos: Completamente de acuerdo

- 4. ¿El listado permite hacer una evaluación profunda y suficiente de la evolución de restricciones?**
 - a) 0 puntos: En desacuerdo
 - b) 1 punto: Entre a) y c)
 - c) 2 puntos: Medianamente de acuerdo
 - d) 3 puntos: Entre c) y d)
 - e) 4 puntos: Completamente de acuerdo

- 5. ¿El listado permite hacer una evaluación profunda y suficiente de la gestión histórica de causas de no cumplimiento?**
 - f) 0 puntos: En desacuerdo
 - g) 1 punto: Entre a) y c)
 - h) 2 puntos: Medianamente de acuerdo
 - i) 3 puntos: Entre c) y d)
 - j) 4 puntos: Completamente de acuerdo

6. ¿El listado permite hacer una evaluación profunda y suficiente de la composición de causas de no cumplimiento?

- f) 0 puntos: En desacuerdo
- g) 1 punto: Entre a) y c)
- h) 2 puntos: Medianamente de acuerdo
- i) 3 puntos: Entre c) y d)
- j) 4 puntos: Completamente de acuerdo

7. ¿El listado permite hacer una evaluación profunda y suficiente del cumplimiento de la gestión de causas de no cumplimiento?

- f) 0 puntos: En desacuerdo
- g) 1 punto: Entre a) y c)
- h) 2 puntos: Medianamente de acuerdo
- i) 3 puntos: Entre c) y d)
- j) 4 puntos: Completamente de acuerdo

8. ¿El listado permite hacer una evaluación profunda y suficiente de la evolución de causas de no cumplimiento?

- f) 0 puntos: En desacuerdo
- g) 1 punto: Entre a) y c)
- h) 2 puntos: Medianamente de acuerdo
- i) 3 puntos: Entre c) y d)
- j) 4 puntos: Completamente de acuerdo

9. ¿El listado permite hacer una evaluación profunda y suficiente de la gestión histórica de acciones correctivas?

- k) 0 puntos: En desacuerdo
- l) 1 punto: Entre a) y c)
- m) 2 puntos: Medianamente de acuerdo
- n) 3 puntos: Entre c) y d)
- o) 4 puntos: Completamente de acuerdo

10. ¿El listado permite hacer una evaluación profunda y suficiente de la composición de acciones correctivas?

- k) 0 puntos: En desacuerdo
- l) 1 punto: Entre a) y c)
- m) 2 puntos: Medianamente de acuerdo
- n) 3 puntos: Entre c) y d)
- o) 4 puntos: Completamente de acuerdo

11. ¿El listado permite hacer una evaluación profunda y suficiente del cumplimiento de la gestión de acciones correctivas?

- k) 0 puntos: En desacuerdo
- l) 1 punto: Entre a) y c)
- m) 2 puntos: Medianamente de acuerdo
- n) 3 puntos: Entre c) y d)
- o) 4 puntos: Completamente de acuerdo

12. ¿El listado permite hacer una evaluación profunda y suficiente de la evolución de acciones correctivas?

- k) 0 puntos: En desacuerdo
- l) 1 punto: Entre a) y c)
- m) 2 puntos: Medianamente de acuerdo
- n) 3 puntos: Entre c) y d)
- o) 4 puntos: Completamente de acuerdo

**ANEXO F: CUESTIONARIO EVALUACIÓN DE LA DEFINICIÓN DE
ALCANCE Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MÓDULO
DE GESTIÓN EN TERRENO**

1. ¿El alcance del módulo satisface las necesidades y oportunidades de terreno para la gestión de la información?

- p) 0 puntos: En desacuerdo
- q) 1 punto: Entre a) y c)
- r) 2 puntos: Medianamente de acuerdo
- s) 3 puntos: Entre c) y d)
- t) 4 puntos: Completamente de acuerdo

2. ¿El alcance del módulo satisface las necesidades y oportunidades para la comunicación entre terreno y programación?

- p) 0 puntos: En desacuerdo
- q) 1 punto: Entre a) y c)
- r) 2 puntos: Medianamente de acuerdo
- s) 3 puntos: Entre c) y d)
- t) 4 puntos: Completamente de acuerdo

3. ¿Las características generales del módulo facilitan su utilización para la captura, gestión y comunicación de la información?

- p) 0 puntos: En desacuerdo
- q) 1 punto: Entre a) y c)
- r) 2 puntos: Medianamente de acuerdo
- s) 3 puntos: Entre c) y d)
- t) 4 puntos: Completamente de acuerdo

ANEXO G: MÉTRICA DE EVALUACIÓN DEL GRADO DE IMPLEMENTACIÓN DE LAST PLANNER

Criterio	Subcriterio	Evaluación grado de implementación			
		Inexistente	Bajo	Mediano	Completo
		[0 Puntos]	[1 punto]	[2 puntos]	[3 puntos]
Estandarización del proceso de planificación y control	Existe un Sistema/Herramienta y procedimientos de planificación y control establecidos				
	Existe el involucramiento de la administración y mandos altos en la gestión del sistema				
	El procedimiento de planificación y control incluye una gestión semanal de compromisos de avance y mejora continua				
	Se registran los problemas generales ocurridos en el proyecto (Gestión del Conocimiento)				
	Se registran las soluciones propuestas y/o realizadas y se evalúa su cumplimiento				
Estandarización de las reuniones de planificación de corto plazo	Regularidad en la ejecución de la reunión de planificación				
	Se definen y convocan los participantes con anterioridad				
	Se conoce y sigue la agenda estándar de <i>Last Planner</i> :				
	1. Revisión del estado del proyecto e indicadores				
	2. Cumplimiento de la semana, causas de no cumplimiento y acciones correctivas				
	3. Revisión del <i>Lookahead</i> y restricciones				
	4. Compromisos de corto plazo				
	Uso de indicadores de <i>Last Planner</i>				
Participación de los últimos planificadores en reunión de planificación y toma de decisiones	Uso de gestión visual y material de apoyo				
	Se tratan en profundidad todos los temas de la agenda en un lapso menor a 2 horas				
	Asiste la totalidad de los últimos planificadores necesarios para el cumplimiento de los objetivos de la reunión				
	Los últimos planificadores directos (Jefes de Obra, capataces, supervisores y subcontratos) asumen y negocian				

	compromisos y plantean acciones de mejora				
	Los últimos planificadores de apoyo (Bodega, RRHH, adquisiciones, prevención, calidad) asumen y negocian compromisos y plantean acciones de mejora				
	Los últimos planificadores directos e indirectos son informados y llegan preparados				
	Utilizan un indicador o evaluación de la participación de los últimos planificadores en el proceso de planificación y gestión				
Uso de indicadores para evaluar el cumplimiento de la planificación	Se indica el cumplimiento de hitos y metas del programa maestro				
	Se emplean indicadores para controlar el avance de obra (curva hormigón, etc.)				
	Se compara avance con programa base (Línea de Base)				
	Se mide un indicador de cumplimiento de compromisos semanales (Ej.: PPC)				
	Se mide un indicador de liberación de restricciones (Ej.: PCR)				
	Se mide un indicador de rendimiento y/o productividad				
Análisis crítico de la información	Se realiza seguimiento y control periódico de la evolución del avance y cumplimiento de programa (Ej.: Curva S, Valor ganado o SPI)				
	Se realiza seguimiento y control periódico de la evolución del cumplimiento de compromisos (Ej.: PPC semanal, promedio o acumulado)				
	Se realiza seguimiento y control periódico de la evolución de la liberación de restricciones (Ej.: Porcentaje de restricciones liberadas o PCR)				
	Se realiza seguimiento y control periódico de la evolución de las causas de no cumplimiento (Ej.: Pareto o líneas de evolución por tipo)				
	Se realiza seguimiento y control periódico de la implementación y eficacia de acciones correctivas (Ej.: análisis del impacto)				
	Se usan técnicas y herramientas de análisis estipuladas (Simulación, Cartas de balance, muestreos, Ishikawa, Pareto, etc.)				

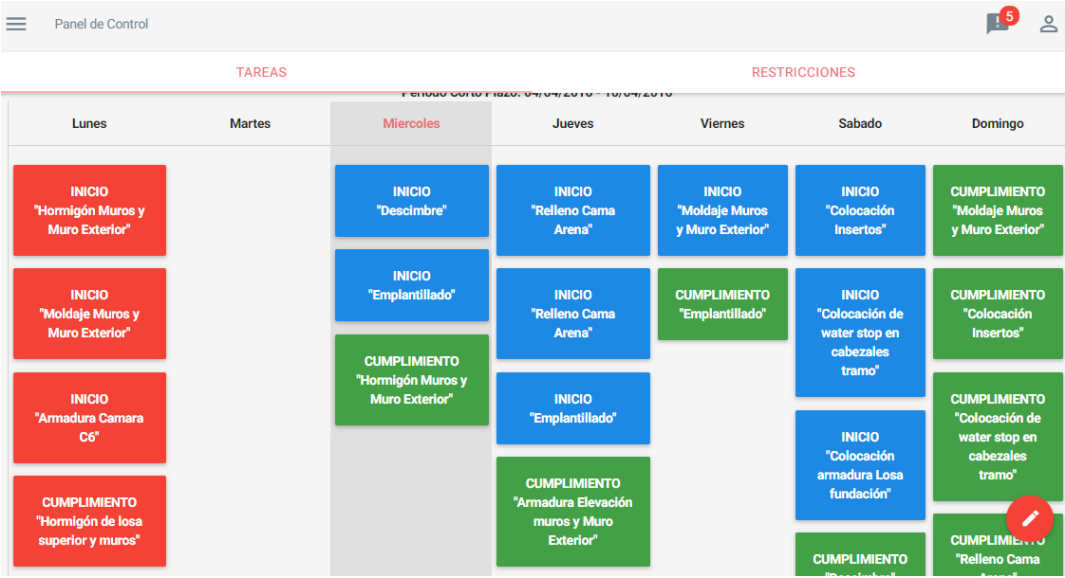
	Se realiza seguimiento y control periódico de los procesos y su efectividad (Ej.: Rigurosidad de la reunión o periodicidad de la planificación)				
	Se toman decisiones y plantean acciones a partir del análisis de datos				
Gestión visual de información	Plan de Hitos o programa maestro (Material es publicado o enviado, es conocido y utilizado)				
	Plan de Fases o panel de <i>pull planning</i> (Material es publicado o enviado, es conocido y utilizado)				
	<i>Lookahead</i> y/o programa semanal (Material es publicado o enviado, es conocido y utilizado)				
	Panel de indicadores de cumplimiento y avance (Material es publicado o enviado, es conocido y utilizado)				
	Registro visual de causas de no cumplimiento y compromisos de acciones correctivas (Material es publicado o enviado, es conocido y utilizado)				
Definición correcta de paquetes de trabajo	Se diferencia por actividades las partidas de trabajo (Ej.: Montaje sector 1, Enfierradura piso 4)				
	Se definen plazos asociados				
	Se identifican encargados asociados				
	Subdivisión permite un correcto análisis y gestión de restricciones				
Uso de un plan maestro fácil de entender y transparente	Existen, se controlan y mantienen actualizados los hitos del programa.				
	El plan maestro está temporal y físicamente acorde al avance y programación de terreno				
	Es visual y entendible				
	Está disponible y es conocido por todos los participantes de la planificación				
Planificación de Fases	Plan de fase con hitos y tareas en espectro de 2 a 4 meses				
	Existe un panel visible y actualizado de la planificación de fases				
	La planificación de fases se realiza utilizando metodología <i>pull planning</i>				
	El proceso de actualización y revisión es constante, interactivo y participativo				
Estandarización de la planificación intermedia	Se planifican actividades en plazo de 4-6 semanas				
	Programación del <i>Lookahead</i> guarda relación con el programa maestro, metas y capacidad de ejecución				

	Se revisa semanalmente y se reprograma de ser necesario				
	Se determinan las restricciones a medio plazo (4-6 semanas)				
	Se gestiona el <i>Lookahead</i> con un <i>pull</i> de actividades ITE				
	Se registran y publican resultados (RESTRICCIONES Y COMPROMISOS)				
Análisis y remoción sistemática de restricciones	Restricciones son asignadas a actividades específicas del <i>Lookahead</i>				
	Se identifican restricciones con anticipación suficiente para su liberación				
	Se asigna un compromiso de liberación y un responsable para cada restricción				
	Se registra y monitorea el estado de restricciones y compromisos				
	Se controla confiabilidad de los compromisos de liberación de restricciones				
Uso de un Inventario de Trabajo Ejecutable	Existe un ITE publicado y/o es conocido por todos los últimos planificadores				
	Las actividades que componen el ITE no tienen restricciones que afecten su ejecución dentro del corto plazo				
Uso exclusivo del ITE en planificación de corto plazo	Se generan compromisos exclusivamente sobre tareas ITE				
	Los cambios en el ITE y estado de restricciones generan cambios y ajustes en el programa				
	Se mantiene y utiliza un ITE remanente de tareas que puedan incluirse en la programación de corto plazo.				
	Compromisos son confiables y tienen requisitos de cumplimiento claros				
Planificación y control de flujos físicos de trabajo	Se estiman y/o miden empíricamente los rendimientos				
	Programación de actividades considera rendimientos				
	Se planifica correctamente la secuencia constructiva				
	Los equipos conocen claramente su secuencia de trabajo, orden y programa de actividades				
	Los equipos conocen cuáles son sus actividades y equipos predecesores y sucesores				
Acciones correctivas basadas en causas de no cumplimiento	Se Identifican semanalmente causas de no cumplimiento				
	Se registran y categorizan las causas de no cumplimiento en un inventario histórico				

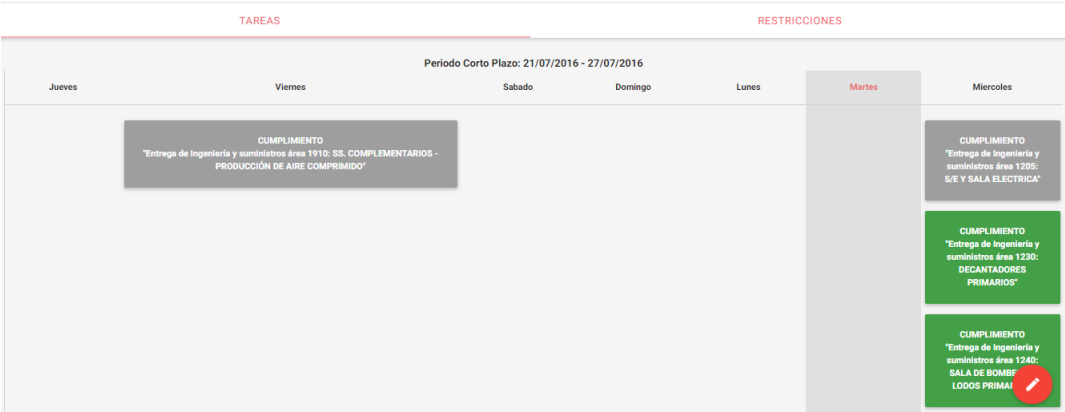
	Se buscan y registran causas raíces de las causas de no cumplimiento				
	Se plantean y registran acciones correctivas sobre la causa de no cumplimiento y/o causa raíz				
	Se plantea un responsable, fecha de implementación y de control para las acciones correctivas				
	Se controla y registra la efectividad de las acciones correctivas				
Comunicación y trabajo en equipo	Los miembros del equipo conocen y cumplen sus roles y responsabilidades				
	Existe una comunicación clara, efectiva y pertinente de la información				
	Existe buena comunicación entre el equipo				
	Existe una comunicación fluida y efectiva con los últimos planificadores				
	Las decisiones son tomadas, discutidas o revisadas en conjunto según corresponda				

ANEXO H: VISTAS DEL MÓDULO DE GESTIÓN EN TERRENO

H-1 Ventana “Compromisos de Ejecución de Tareas”:



H-2 Ventana “Visualización de compromisos notificados”:



H-3 Ventana “Detalle de Tareas”:

Termino Actividad

A1970 - Instalación de Malla Puesta a Tierra

Jerarquía

> Eléctrica / Instrumentación

> Sala de Compresores

> CONSTRUCCIÓN

> RESTAURACIÓN DE EMERGENCIA SISTEMA DE CONTROL DE POLVOS - PLANTA DE CHANCADO Terciario REV_0

> A1970 - Instalación de Malla Puesta a Tierra

Fecha Inicio

19/08/2016

Duración (días)

41

Fecha Termino

29/09/2016

Avance Último Cierre

23%

Avance Comprometido

23%

TERMINO

INCUMPLIMIENTO

H-4 Ventana “Notificación de Cumplimiento de Tareas”:

Termino Actividad

Confirmar notificación

Avance Comprometido

50%

Avance Real

-

0

%

+

Fecha Comprometida

28/09/2016

CANCELAR

CONFIRMAR

H-5 Ventana “Notificación de Incumplimiento de Tareas”:

Termino Actividad
Confirmar notificación

Avance Comprometido

23%

Avance Real

-

23

%

+

Fecha Comprometida

29/09/2016

Días Reprogramación

-

1

+

Fecha Reprogramación

30/09/2016

Tipo de CNC

Causa de no Cumplimiento

Origen de CNC

Origen de no Cumplimiento

Detalle

CANCELAR
CONFIRMAR

H-6 Ventana “Compromisos de Liberación de Restricciones”:

Carlos Rojas (Tareas: 0 , Restricciones: 12)									
Lookahead: 2017/02/05 - 2017/02/25									
Lun. 6	Mar. 7	Mie. 8	Jue. 9	Vie. 10	Sab. 11	Dom. 12	Lun. 13	Mar. 14	Mie. 15
"Verificar llega del suministro de topes puente grua"		"Emitir RFI, pintura de pozo"	"Solicitar Pintura Touch Up"			"Seguimiento devolución de pinturas y llegada de pintura verde"		"Capacitación del personal para actividad"	"Llegada de pintura Verde"
		"Emitir RFI por derrame de aceite"						"Chequeo y solicitud de piezas especiales bombas"	"Llegada de pintura Verde"
									"Llegada de pintura Verde"
									"Llegada de pintura Verde"
									"Llegada de pintura Verde"

H-7 Ventana “Identificación de Restricciones”:

Nueva Restricción

Detalle de Restricción

Familia de Restricción

Tipo de Restricción

Tarea

Fecha Requerida

Responsable

Fecha Solicitada Liberación

Familia de Restricción

Tipo de Restricción

Tarea Afectada

Responsable de liberación

29-09-2016

CANCELAR

NOTIFICAR

H-8 Ventana “Mantenedor de Notificaciones”:

Restricciones Comprometidas

Inicio de Actividad

Cristian Bocaz - Tarea no ha iniciado - 19/08/2016

Fecha Notificación

Proyecto

Tarea

Fecha Replanificación

Detalle

19/08/2016 - 09:51:19

Proyecto Mapocho ElectroMecánico

MRO.590) Montaje ventiladores de insuflamiento Estanque 2 (Área 0840)

No disponible

xxxxx

ACEPTAR ✓

RECHAZAR ✕

✓

Pablo Gonzalez - Tarea ha iniciado - 14/08/20

✓

Pablo Gonzalez - Tarea ha iniciado - 14/08/20

✓

Pablo Gonzalez - Tarea ha iniciado - 14/08/20

Compromiso de Actividad

✓

Pablo Gonzalez - Tarea ha cumplido compromiso - 14/08/20

✓

Pablo Gonzalez - Tarea ha cumplido compromiso - 14/08/20

✓

Pablo Gonzalez - Tarea ha cumplido compromiso - 14/08/20

✓

Pablo Gonzalez - Tarea ha cumplido compromiso - 14/08/20

✓

Pablo Gonzalez - Tarea ha cumplido compromiso - 14/08/20

✓

Pablo Gonzalez - Tarea ha cumplido compromiso - 14/08/20

✓

Pablo Gonzalez - Tarea ha cumplido compromiso - 14/08/20

✓

Pablo Gonzalez - Tarea ha cumplido compromiso - 14/08/20

✓

Pablo Gonzalez - Tarea ha cumplido compromiso - 14/08/20

Fin de Actividad

Cristian Bocaz - Tarea no ha terminado - 31/08/2016

Fecha Notificación

Proyecto

Tarea

Avance Real

Fecha Replanificación

Causa No Cumplimiento

Origen No Cumplimiento

Detalle

31/08/2016 - 16:09:05

Proyecto Mapocho ElectroMecánico

MRO.470) Montaje caudalímetro, junta de montaje, teclas, carros y tubos de descargas (Área 1430)

4% (Comprometido: 8%)

No disponible

Interferencia con tercero

Ingeniería

prueba