



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍAS *LEAN* EN DESARROLLO MINERO

GUSTAVO ANDRÉS CASTILLO RUEDLINGER

Tesis para optar al grado de
Magíster en Ciencias de Ingeniería

Profesor Supervisor:
LUIS FERNANDO ALARCÓN CÁRDENAS

Santiago de Chile, Diciembre, 2013

© 2013, Gustavo Castillo Ruedlinger



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍAS *LEAN* EN DESARROLLO MINERO

GUSTAVO ANDRÉS CASTILLO RUEDLINGER

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

LUIS FERNANDO ALARCÓN CÁRDENAS

SERGIO MATURANA

VICENTE GONZÁLEZ

GUSTAVO LAGOS CRUZ-COKE

Para completar las exigencias del grado de
Magíster en Ciencias de Ingeniería

Santiago de Chile, Diciembre, 2013

A mis padres y abuelos. A mi hermana, mi polola y amigos, los cuales permitieron que este trabajo fuera posible.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas que han colaborado de manera activa y pasivamente a la realización de este trabajo. En primer lugar, agradecer al profesor Luis Fernando Alarcón por su constante ayuda durante toda la permanencia en el programa, por su tiempo empleado en la investigación y por brindarme el apoyo necesario para la materialización del trabajo.

Por otra parte, quiero agradecer al Centro de Excelencia de la Producción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (GEPUC), por confiar en mí y permitir que participe como un integrante imprescindible en su equipo de trabajo. Bajo este aspecto, agradecer principalmente a Jaime Muro, Iván Rubio e Isabel Alarcón, responsables directos de mi colaboración. Además, quiero agradecer con especial atención a Ricardo Alarcón, Alfonso González, Manuel Morales y Mariano Sánchez, integrantes del equipo que estuvieron disponibles cada vez que necesité apoyo técnico y emocional. Más aún, quiero agradecer a José Pablo Errázuriz y Mauricio Tapia, los cuales no tan sólo me brindaron apoyo técnico y emocional, sino que me guiaron continuamente y me ayudaron más de lo que ellos se imaginan.

También quiero agradecer a mis compañeros de universidad y magister que cooperaron conmigo. A Cristian Osorio que me motivó en los primeros pasos, a José Luis Contreras que siempre me ha apoyado y a Omar Zegarra por su contribución y asistencia en los momentos finales. Además, quiero agradecer a Lidia Soto y Edith Garrido, por mostrar una sonrisa incondicional y por su generosa voluntad. Y a Felipe Sánchez, un gran amigo y compañero, el cual me motivó constantemente y me brindó su ayuda desinteresadamente.

Finalmente, quiero agradecer con especial interés a mi familia, padres y hermana, los cuales siempre me apoyaron. A mi polola Valentina, la cual fue el pilar fundamental de mi estabilidad emocional y me escuchó cada vez que lo necesité. Y a mis amigos en general, los cuales me ayudaron a disfrutar de este proceso. Sin el apoyo incondicional de mis seres queridos, nada de esto podría ser posible.

INDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Importancia de la minería en Chile	1
1.2 Características de la minería en Chile	5
1.2.1 Principales proyecciones de la minería.....	5
1.2.2 Desafíos futuros	8
1.3 Investigaciones de implementación <i>lean</i> en minería.....	10
1.3.1 Aplicabilidad de la filosofía <i>lean</i> en la minería.....	11
1.3.2 Principales resultados directos de aplicaciones <i>lean</i> en minería	12
1.3.3 Principales resultados indirectos de aplicaciones <i>lean</i> en minería	13
1.3.4 Principales desafíos de implementar <i>lean</i> en desarrollo minero.....	14
1.4 Oportunidad y pregunta de investigación.....	16
1.5 Hipótesis de trabajo	16
1.6 Objetivos de la investigación	17
1.7 Alcances y limitaciones de la investigación.....	18
1.8 Descripción de la tesis.....	19
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1 Pensamiento <i>lean</i>	21
2.1.1 Principios del pensamiento <i>lean</i>	24
2.1.2 Pérdidas o desperdicios.....	26
2.2 Construcción <i>lean</i>	29
2.3 Pensamiento <i>lean</i> en la minería.....	33

2.4	Modelos de implementación	35
3.	METODOLOGÍA Y CASOS DE ESTUDIO.....	39
3.1	Metodología	39
3.1.1	Selección de la metodología	39
3.1.2	Fuentes de evidencia	40
3.1.3	Técnicas de triangulación de los resultados.....	44
3.2	Descripción de los casos de estudio	45
3.2.1	Caso N°1	47
3.2.2	Caso N°2	48
3.2.3	Caso N°3	48
3.3	Diagnóstico inicial de los casos de estudio	49
3.3.1	Principales problemas	49
3.3.2	Principales oportunidades	56
3.4	Plan de implementación	58
3.4.1	Acciones.....	59
3.4.2	Herramientas y metodologías a implementar	60
3.4.3	Línea de tiempo de la implementación	63
3.5	Diseño de la investigación.....	64
3.5.1	Estructuración del trabajo	65
3.5.2	Diseño operacional	69
3.5.3	Descripción de las variables	70
3.6	Consideraciones metodológicas	72
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	76
4.1	Impactos de la implementación <i>lean</i> en el desempeño de los proyectos	76
4.3.1	Interferencias	77
4.3.2	Avance físico	80
4.3.3	Confiabilidad de programa	82
4.3.4	Productividad	85
4.3.5	Eficiencia del tiempo	88
4.3.6	Análisis estadístico	91
4.3.7	Resumen.....	93
4.4	Impactos de la implementación <i>lean</i> en el desempeño de las organizaciones.....	95

4.4.1 Encuestas	96
4.4.2 Entrevistas.....	103
4.4.3 Resumen.....	107
4.5 Modelo de implementación <i>lean</i>	109
4.5.1 Modelo propuesto de implementación <i>lean</i>	111
4.5.2 Evaluación del modelo propuesto de implementación <i>lean</i>	112
5. CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES	114
BIBLIOGRAFIA.....	116
A N E X O S.....	123
Anexo A: Detalles del indicador Eficiencia del tiempo.....	124
Anexo B: Salidas del análisis estadístico en SPSS	127
Anexo C: Encuesta de la implementación.....	131
Anexo D: Modelo propuesto de implementación <i>lean</i>	136

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2-1: Tabla comparativa entre la industria minera y la industria manufacturera. (Dunstan et al., 2006).....	34
Tabla 2-2: Resumen de metodologías de mejoramiento. (Nave, 2002).....	36
Tabla 3-1: Fuentes de evidencia y características	41
Tabla 3-2: Bases de datos de la investigación.....	43
Tabla 3-3: Objetivos generales del programa. (GEPUC, 2012b).....	46
Tabla 3-4: Descripción de las variables asociadas a la investigación.	71
Tabla 3-5: Parámetros relevantes de la encuesta.....	74
Tabla 4-1: Resumen de la significancia exacta en el análisis estadístico.....	92
Tabla 4-2: Resumen del análisis de impacto de la implementación <i>lean</i> en el desempeño de los proyectos.....	94
Tabla 4-3: Definición de las variables a evaluar en las organizaciones a través de <i>LCPP</i>	104
Tabla 4-4: Resumen de los resultados del impacto de la implementación <i>lean</i> en el desempeño de las organizaciones.....	108
Tabla 4-5: Ventajas y desventajas de los modelos tradicionalmente utilizados.	110
Tabla 4-6: Variables propuestas a evaluar en los modelos de implementación.....	112

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1: Producto Interno Bruto por clase de actividad económica para el año 2012. (Elaborado a partir de Banco Central de Chile, 2013b)	2
Figura 1-2: Exportaciones nacionales. (Mac-Lean, 2013)	3
Figura 1-3: Empleo en Chile. (Mac-Lean, 2013)	3
Figura 1-4: Inversiones Chilenas. (Mac-Lean, 2013)	4
Figura 1-5: Evolución cartera de proyectos mineros en Chile al 2020. (Mac-Lean, 2013).....	5
Figura 1-6: Proyección de consumo de energía eléctrica en producción de cobre. (Mac-Lean, 2012).....	6
Figura 1-7: Proyección de consumo de agua para la producción de cobre. (De Solminihaç, 2012)	7
Figura 1-8: Proyección de cantidad de trabajadores para la minería. (De Solminihaç, 2012; SERNAGEOMIN, 2013)	7
Figura 2-1: Visión tradicional del proceso productivo. Producción como transformación. (Koskela, 1992).....	30
Figura 2-2: Nueva visión del proceso productivo. Producción como flujo. (Koskela, 1992)	31
Figura 2-3: Concepto de mejoras y costos a través de la visión tradicional, de calidad y <i>lean</i> . (Koskela, 1992).....	31
Figura 2-4: Mejora continua del costo de producción mediante la visión <i>lean</i> . (Elaborado a partir de Koskela, 1992)	33
Figura 2-5: Metodología de mejoramiento. (Freire & Alarcón, 2002)	37
Figura 3-1: Triangulación de evidencia. (Yin, 2009).....	42
Figura 3-2: Lógica de la cadena de evidencia. (Yin, 2009)	44
Figura 3-3: Programa de transformación <i>lean</i> . (GEPUC, 2012b).....	46
Figura 3-4: Esquema general y línea de tiempo de la implementación.	64
Figura 3-5: Estructuración del trabajo de investigación.....	66

Figura 3-6: Diseño operacional de la investigación	70
Figura 4-1: Impacto en las horas de interferencias reportadas en el Proyecto N°1.	78
Figura 4-2: Impacto en las horas de interferencias reportadas en el Proyecto N°2.	78
Figura 4-3: Impacto en las horas de interferencias reportadas en el Proyecto N°3.	79
Figura 4-4: Diagrama <i>box-plot</i> para el indicador Interferencias en los casos de estudio.	79
Figura 4-5: Impacto en el avance físico mensual en el Proyecto N°1.....	80
Figura 4-6: Impacto en el avance físico mensual en el Proyecto N°2.....	81
Figura 4-7: Impacto en el avance físico mensual en el Proyecto N°3.....	81
Figura 4-8: Diagrama <i>box-plot</i> para el indicador Avance físico en los casos de estudio.	82
Figura 4-9: Impacto en la confiabilidad de programa en el proyecto N°1.....	83
Figura 4-10: Impacto en la confiabilidad de programa en el proyecto N°2.....	83
Figura 4-11: Impacto en la confiabilidad de programa en el proyecto N°3.....	84
Figura 4-12: Diagrama <i>box-plot</i> para el indicador Confiabilidad de programa en los casos de estudio.	85
Figura 4-13: Impacto en la productividad (\$/HM) en el proyecto N°1.....	86
Figura 4-14: Impacto en la productividad (\$/HM) en la empresa N°2.	87
Figura 4-15: Impacto en la productividad (\$/HM) en el proyecto N°2, considerando la dotación de toda la empresa N°2.	87
Figura 4-16: Impacto en la productividad (\$/HM) en el proyecto N°3.....	88
Figura 4-17: Diagrama <i>box-plot</i> para el indicador Productividad en los casos de estudio.	88
Figura 4-18: Impacto en la eficiencia del tiempo (%TVA) en el proyecto N°1.	89
Figura 4-19: Impacto en la eficiencia del tiempo (%TVA) en el proyecto N°2.	90
Figura 4-20: Impacto en la eficiencia del tiempo (%TVA) en el proyecto N°3.	91
Figura 4-21: Diagrama <i>box-plot</i> para el indicador Eficiencia del tiempo en los casos de estudio.....	91
Figura 4-22: Impacto en trabajo en equipo y comunicación en la empresa N°1.	96
Figura 4-23: Impacto en participación y compromiso en la empresa N°1.....	97

Figura 4-24: Impacto en aprendizaje en la empresa N°1.	98
Figura 4-25: Impacto en trabajo en equipo y comunicación en la empresa N°2.	98
Figura 4-26: Impacto en participación y compromiso en la empresa N°2.....	99
Figura 4-27: Impacto en aprendizaje en la empresa N°2.	100
Figura 4-28: Impacto en trabajo en equipo y comunicación en la empresa N°3.	100
Figura 4-29: Impacto en participación y compromiso en la empresa N°3.....	101
Figura 4-30: Impacto en aprendizaje en la empresa N°3.	102
Figura 4-31: Impacto de la implementación <i>lean</i> en la organización y gestión de los proyectos para los casos de estudio.	103
Figura 4-32: Impactos en la organización según <i>LCPP</i> para el caso de estudio N°1.	105
Figura 4-33: Impactos en la organización según <i>LCPP</i> para el caso de estudio N°2.	106
Figura 4-34: Impactos en la organización según <i>LCPP</i> para el caso de estudio N°3.	107
Figura 4-35: Diagrama general y cuestionamientos claves del modelo propuesto de implementación <i>lean</i>	111
Figura 4-36: Resultado de la evaluación del modelo propuesto respecto el tradicional.....	113

RESUMEN

El desarrollo minero cumple un rol fundamental en el ciclo del negocio de la industria minera, representando una alta proporción del costo total. Éste es un factor clave en la competitividad del yacimiento y desarrollar la construcción de manera óptima puede ser una determinante esencial en el éxito de un proyecto. Actualmente, la minería no se ha adaptado a la producción en tiempos de escasez, situación que se aproxima por el alto coste de la energía y agua, el incremento de proyectos en condiciones extremas y la ausencia de yacimientos con alta ley. Bajo este aspecto, el pensamiento *lean* permite la producción en economías de crecimiento lento, generando una ventaja competitiva y siendo una fuente potencial de ahorro para empresas y organizaciones. Sin embargo, son pocas las empresas que han iniciado una transformación sistemática al pensamiento *lean*. Esta investigación pretende disminuir la brecha entre la aplicabilidad teórica del pensamiento *lean* con su aplicación efectiva. Para esto, estudia el impacto generado por la implementación de metodologías *lean* en proyectos de desarrollo minero, brindando conocimiento que permita incentivar el uso de este pensamiento en futuros proyectos. En todos los casos de estudio analizados, la implementación de metodologías *lean* genera mejoras tanto en el desempeño de los proyectos como en el desempeño de las organizaciones involucradas. En definitiva, la utilización de metodologías *lean* en el desarrollo minero es una opción que las empresas deberían adoptar para enfrentar los desafíos que se avecinan. No obstante, queda en deuda conocer cómo afecta económicamente la adopción de estas metodologías y cuánto ahorro permite generar.

Palabras Claves: metodologías *lean*, minería, desarrollo minero, construcción, impacto, implementación.

ABSTRACT

Mining development is a fundamental role in the business cycle of the mining industry, representing a high proportion of total costs. This is a key factor in the competitiveness of the ore body and building optimally can be a determining factor in the success of a project. Currently, the mining industry has not adapted to production in times of scarcity, a situation that is nearly by the high cost of energy and water, the increase of projects in extreme conditions and the absence of high grade deposits. In this respect, lean thinking allows the production in slow-growing economies, creating a competitive advantage and being a potential source of savings for companies and organizations. However, there are just a few companies that have started a systematic transformation to lean thinking. This research aims to decrease the gap between the theoretical applicability of lean thinking to their effective implementation. For this, this research studied the impact generated by the implementation of lean methodologies in mining development projects, providing knowledge which encourage the use of this philosophy in future projects.

In all case studies analyzed, the implementation of lean methodologies generates improvements in both the performance of the projects and the performance of the organizations involved. In conclusion, the use of lean methodologies for mining development is an option that companies should take to deal with the challenges ahead. However, it is in debt to know how it economically affects the adoption of these methodologies and how much savings allows it to generate.

Keywords: lean methodologies, mining, mining development, construction, impact, implementation.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una gran cantidad de metodologías de gestión que apoyan a los proyectos de construcción, incluyéndose desde fases tempranas e incorporándose en todo el ciclo de vida de éstos (Alarcón & Mesa, 2012; Buyle et al., 2013). Así mismo, se han desarrollado diversas estrategias para enfrentar el contexto actual de desarrollo de proyectos, en donde la competencia es cada vez más agresiva y se necesita gestionar la producción de la mejor manera posible (Howell et al., 2011). En este contexto, los proyectos se han visto en la necesidad de disminuir sus costos, presentar mayor productividad, disminuir los desperdicios, satisfacer al cliente, ser más seguros y ajustar la utilidad (Do Amaral et al., 2012; Howell et al., 2011). Para resolver esto, una de las metodologías de gestión y producción que se encuentran en mayor aumento es la propuesta por la filosofía *lean*, utilizándose de manera particular en las industrias manufactureras (Ballard, 2005). No obstante, esta filosofía se ha expandido a diversas industrias, siendo la industria minera y la industria de la construcción unas de las cuales el cambio se produce más lento y tardíamente (Ballard, 2005; De Valence, 2005).

Debido a lo expuesto anteriormente, este capítulo tiene como propósito establecer una propuesta de investigación que relaciona la filosofía *lean* con la industria minera en Chile. Para esto, se destaca la importancia que tiene la industria minera en Chile, las características que posee y las investigaciones de implementación *lean* que se han realizado internacionalmente en esta industria. De este modo, se resumen los principales antecedentes que justifican la investigación y que dan pie para establecer los objetivos e hipótesis que se buscan desarrollar.

1.1 Importancia de la minería en Chile

Para poder establecer la propuesta de investigación es necesario entender la importancia que tiene la industria minera en Chile, su influencia en el desarrollo del país y el contexto en el cual se encuentra inserta.

Chile basa su economía en la producción y exportación de cobre, determinando que la industria minera represente uno de los mayores sectores productivos del país. De este modo, existen ciertos factores relevantes que le dan la importancia actual que tiene la

minería dentro del país, y que destacan su incidencia en la economía. Entre ellos se encuentran:

a) Producto Interno Bruto

La minería Chilena representa uno de los mayores sectores productivos del país, alcanzando aproximadamente el 13% del PIB nominal total. Esta cifra representa aproximadamente 34.800 millones de dólares nominales (Banco Central de Chile, 2013b). De este modo, en la Figura 1-1 se observa la incidencia que tiene la minería respecto al PIB total, considerando el año 2012 y volumen a precios del año anterior encadenado.

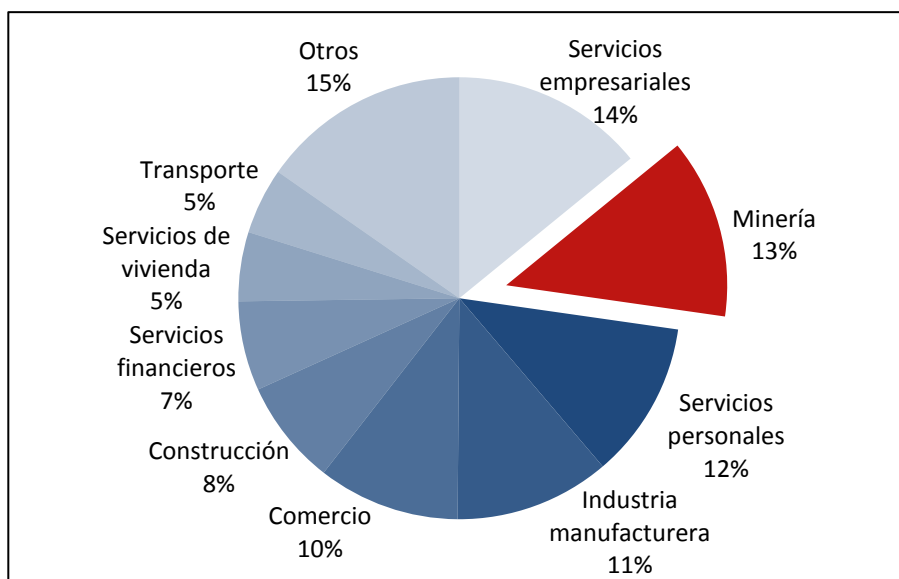


Figura 1-1: Producto Interno Bruto por clase de actividad económica para el año 2012.
(Elaborado a partir de Banco Central de Chile, 2013b)

b) Exportaciones nacionales

En cuanto a exportaciones nacionales se refiere, la minería representa el 63% del total anual del año 2012 (Mac-Lean, 2013), siendo el 91% de éstas provenientes del cobre (Banco Central de Chile, 2013a). En la Figura 1-2 se muestran las exportaciones nacionales de Chile en los últimos años y la incidencia que tiene la minería en éstas.

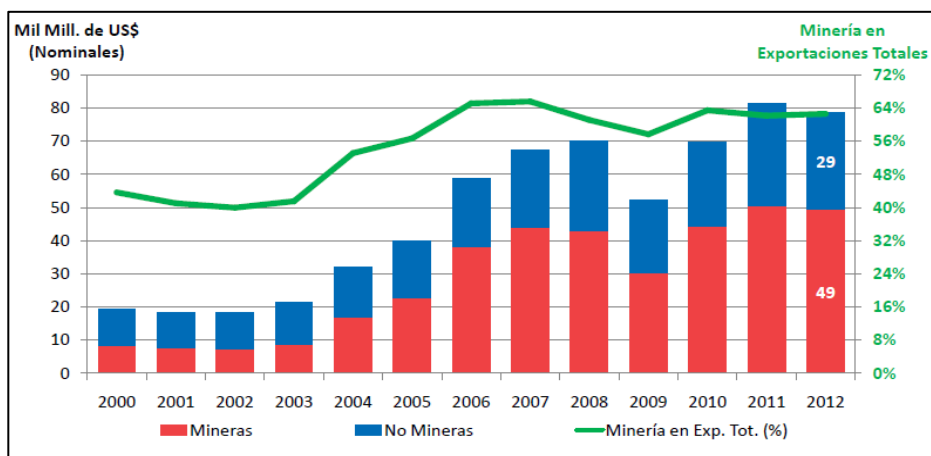


Figura 1-2: Exportaciones nacionales. (Mac-Lean, 2013)

c) Empleo

Considerando el año 2012, la minería (directa e indirectamente) representa el 11% del total de empleos para el país (Mac-Lean, 2013), aportando con 200 mil empleos directos y 600 mil empleos indirectos (SERNAGEOMIN, 2013). Además, los empleos asociados a la minería poseen un crecimiento promedio anual de 6%, cifra significativa si se compara con el crecimiento de 3% del resto del país (Mac-Lean, 2013). En la Figura 1-3 se muestran la cantidad de empleos en Chile en los últimos años y el aporte que produce la minería al total de éstos.

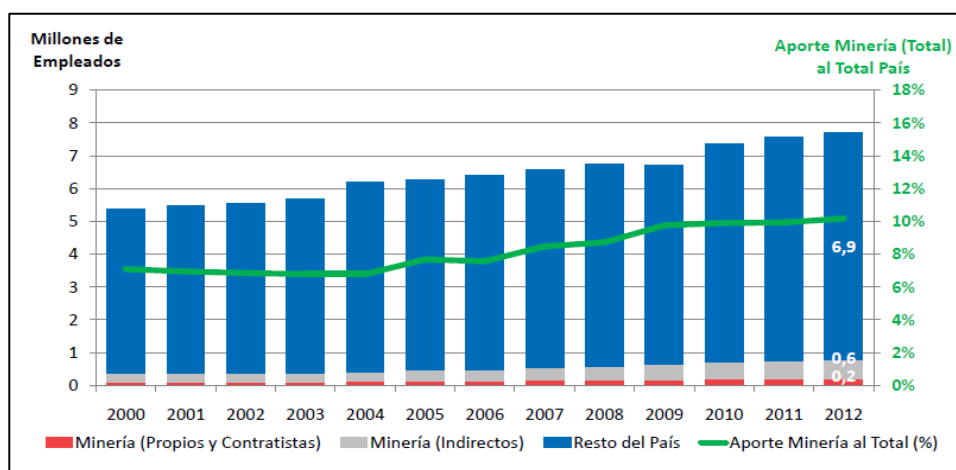


Figura 1-3: Empleo en Chile. (Mac-Lean, 2013)

d) Inversiones Chilenas

Según las inversiones Chilenas totales dentro del país para el año 2012, se reconoce a la minería como uno de los principales actores, recibiendo el 17% de la inversión total. Dicha cifra alcanza aproximadamente 11,3 mil millones de dólares nominales (Mac-Lean, 2013). En la Figura 1-4 se aprecian las inversiones Chilenas en los últimos años y la importancia que tiene la minería en el total de estas inversiones.

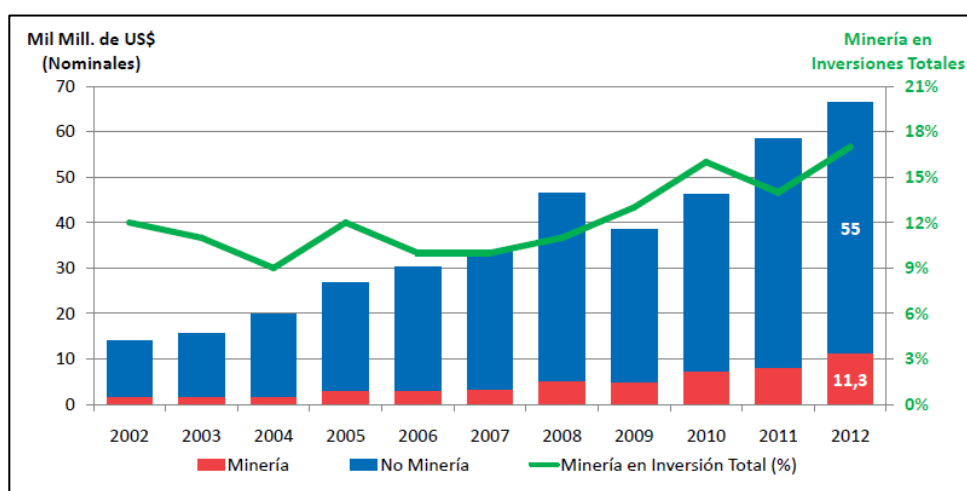


Figura 1-4: Inversiones Chilenas. (Mac-Lean, 2013)

e) Cartera de proyectos

La cartera de proyectos mineros en Chile al 2020 ha mostrado un continuo aumento los últimos años, destacando que desde el año 2005 hasta el 2012 ha aumentado cercano al 450%. Dicha cifra representa para el año 2012 aproximadamente 103 mil millones de dólares nominales (Mac-Lean, 2013). En la Figura 1-5 se muestra la evolución que ha tenido la cartera de proyectos mineros en Chile al 2020 en los últimos años.

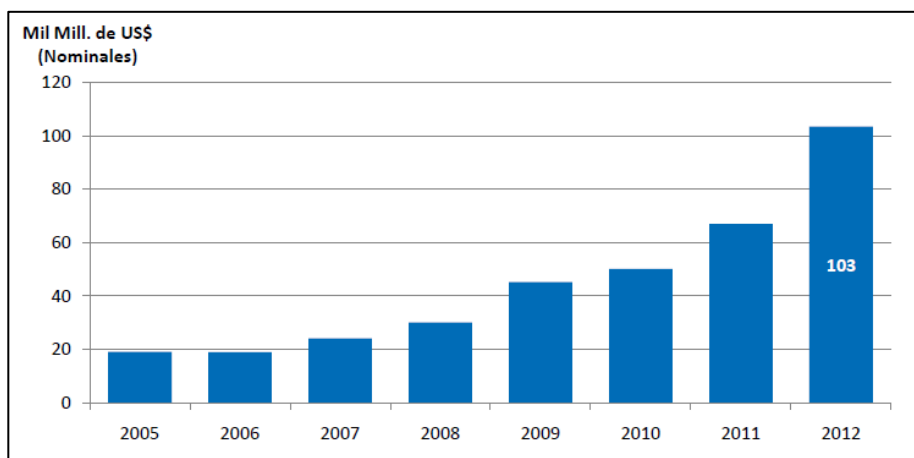


Figura 1-5: Evolución cartera de proyectos mineros en Chile al 2020. (Mac-Lean, 2013)

Todo lo anteriormente expuesto destaca que Chile basa su economía en la minería y que se reconoce a Chile como un país minero. De hecho, es reconocido desde inicios del siglo XX como el principal productor de cobre en el mundo (De Solminihac, 2012). De esta forma, se posiciona a la minería como una de las industrias con mayor importancia dentro del país. Así, se puede concluir la significancia y el impacto que tendría realizar investigaciones científicas en esta industria, considerando que los cambios en ésta tendrán una fuerte repercusión en el país.

1.2 Características de la minería en Chile

Existen algunas predicciones en la minería Chilena que pronostican ciertas necesidades futuras para poder satisfacer las demandas que se avecinan. Por lo tanto, es necesario destacar y reconocer las predicciones más relevantes que contextualizan el escenario en el cual se encuentra la minería Chilena. Y, de esta forma, es posible relacionar las necesidades futuras que posee el país y que caracterizan la industria de forma particular.

1.2.1 Principales proyecciones de la minería

Dentro de las principales proyecciones que se enmarcan en la minería y que producen ciertas características particulares para esta industria son:

a) Consumo de energía eléctrica

Debido a la cartera de proyectos que posee el país y el constante aumento de necesidades de recursos, se pronostica que para el año 2017 exista un aumento de 44% respecto del año 2011 del consumo de energía eléctrica para la producción de cobre (De Solminihac, 2012). Además, se espera que para el año 2020 aumente a un 97% respecto al mismo año (Cochilco, 2013). En la Figura 1-6 se observa la proyección de consumo de energía eléctrica para la producción de cobre.

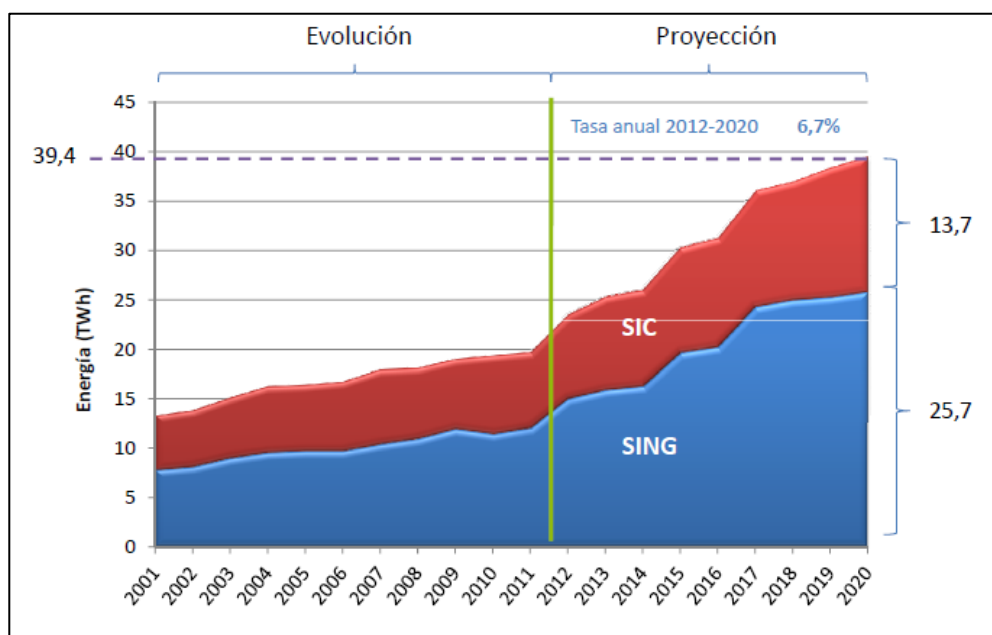


Figura 1-6: Proyección de consumo de energía eléctrica en producción de cobre. (MacLean, 2012)

b) Consumo de agua

Considerando la cartera de proyectos que posee el país y la condición de dichos proyectos, se pronostica que para el año 2017 exista un aumento de 40% respecto del año 2011 del consumo de agua para la producción de cobre (De Solminihac, 2012). En la Figura 1-7 se observa la proyección del consumo de agua para la producción de cobre.

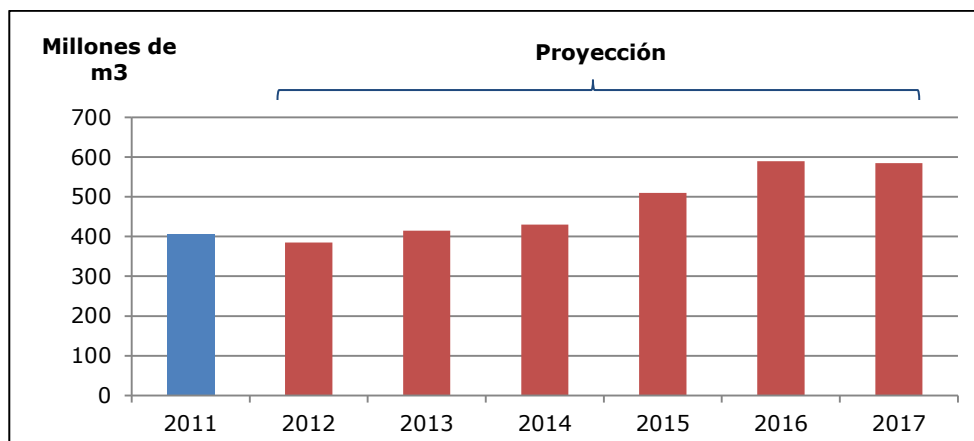


Figura 1-7: Proyección de consumo de agua para la producción de cobre. (De Solminihac, 2012)

c) Capital humano

Se pronostica que el requerimiento de capital humano vaya en aumento debido a la cartera de proyectos esperada. Específicamente, se estima que para el año 2015 exista un aumento de 35% de requerimiento de capital humano respecto la cifra registrada en el 2011, valor que asciende a 69.000 trabajadores (De Solminihac, 2012). En la Figura 1-8 se muestra la proyección de cantidad de trabajadores para la minería.

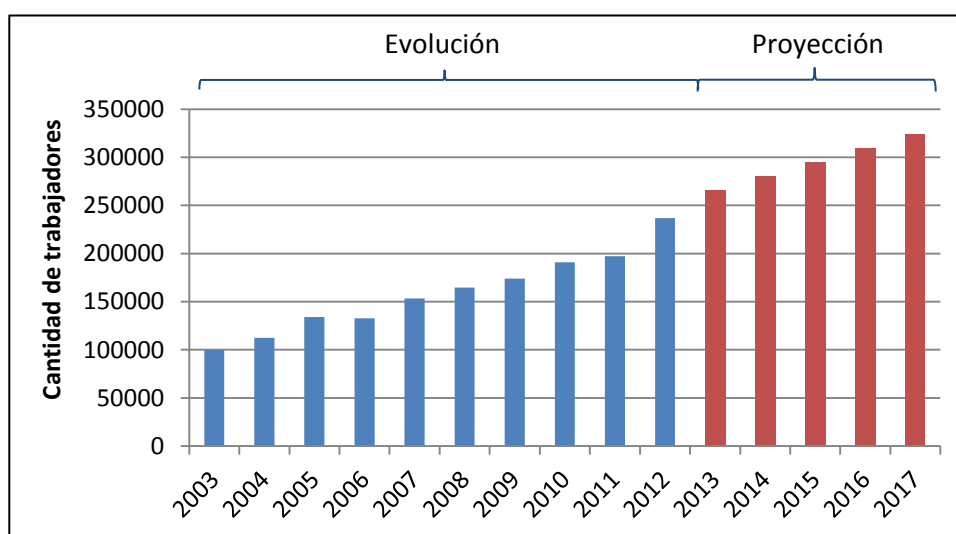


Figura 1-8: Proyección de cantidad de trabajadores para la minería. (De Solminihac, 2012; SERNAGEOMIN, 2013)

Debido a lo anterior, queda expuesto el escenario que se pronostica para el país en la industria minera. En éste, se aprecian las proyecciones más relevantes que se avecinan, las cuales el país tiene que ser capaz de resolver y afrontar para dar abasto con su cartera de proyectos programada.

1.2.2 Desafíos futuros

Ya con las predicciones y el contexto en el que se enmarca la industria minera en Chile expuestos, es necesario identificar cuáles son los desafíos futuros a los que se enfrenta la industria producto de las demandas predichas. Entonces, los principales desafíos que plantean los expertos son (Betancour, 2013; De Solminihac, 2012; Pérez, 2013; Sanda et al., 2011a):

a) Condiciones geológicas

Las minas se están volviendo cada vez más viejas y, las que en algún momento eran un negocio muy rentable, ya no siguen siendo lo mismo. Específicamente, tanto las minas actuales como las futuras contienen menores leyes de mineral que las explotadas en la antigüedad. Además, generalmente que se encuentran yacimientos con mayor ley es en zonas que es más complicado el proyecto, ya sea por la profundidad de la mina o por condiciones extremas. Por otro lado, se han visto en aumento las distancias en las cuales se debe transportar el mineral, por lo que aumenta los costos de producción. Todo este escenario es un agravante más que demuestra que la minería ha aumentado su costo y bajado sus beneficios producto de las condiciones geológicas. Por lo tanto, se infiere la necesidad de hacer procesos más productivos a fin de hacer rentable los proyectos.

b) Capital humano

Desde lo registrado en los últimos años y según la cartera de proyectos que posee el país para el año 2020, se ha detectado una gran falta de capital humano. Específicamente, el continuo aumento de nuevos proyectos y la expansión de algunos proyectos existentes han significado un elevado requerimiento de capital humano tanto en toda la cadena de valor de la minería como en los servicios de gestión para la minería. Se observa entonces, la necesidad de incorporar mayor

capital humano a la minería o rediseñar los procesos para que permitan satisfacer las necesidades futuras con recurso humano limitado.

c) Comunidades

Las comunidades internacionales y nacionales han tomado conciencia de la importancia que es proteger el planeta y velar por las futuras generaciones. Por lo mismo, se han manifestado de forma activa en la protección de los recursos naturales. Sin embargo, muchas veces dichos recursos naturales deben ser explotados para poder satisfacer las demandas de los proyectos mineros. Todo este escenario pone en contradicción al crecimiento económico nacional y la protección de los recursos naturales. Entonces, se observa la necesidad de cuidar los recursos naturales, manteniendo el crecimiento económico. Para esto, es vital aumentar la productividad manteniendo los niveles de consumo.

d) Gestión del recurso hídrico

Según la cartera de proyectos que posee el país y lo expuesto anteriormente en la proyección de consumo de agua para la producción de cobre (capítulo 1.2.1), se deduce la necesidad de gestionar de mejor forma el recurso hídrico asociado a la minería. Por lo mismo, existen actualmente soluciones asociadas a la utilización de agua de mar como recurso hídrico. Sin embargo presenta grandes desafíos debido a la salinidad del agua, el costo de la infraestructura que requiere, equipamiento especial, depende de las características del mineral, largas distancias de transporte, etc. Entonces, considerando la cartera de proyectos actuales y las soluciones que se manejan, se deriva la necesidad de gestionar de mejor forma el recurso hídrico de modo de poder responder a las demandas proyectadas con el nivel de recurso actual que se posee.

e) Gestión de la energía

Según lo expuesto anteriormente en las proyecciones de necesidades energéticas, existe un aumento sostenido en el gasto en energía eléctrica para la minería y se ha previsto un aumento aún más elevado para los próximos años. En este contexto, se

han tomado medidas de prevención y mitigación de los efectos del aumento de necesidades energéticas. Sin embargo, en los últimos años se han cancelado variados proyectos que se consideraban para suplir la necesidad energética, por lo tanto, se desprende la necesidad que tiene el país en mejorar sus sistemas productivos a fin de lograr los mismo resultados utilizando menor cantidad de energía.

1.3 Investigaciones de implementación *lean* en minería

Considerando el contexto en el cual se encuentra la minería en Chile y las proyecciones que se han realizado, se deduce la necesidad de generar cambios en la forma de ejecutar los proyectos mineros a fin de responder a las necesidades futuras. En este sentido, se pueden hacer variadas suposiciones en cómo solucionar este problema, en el que se encuentran:

- Mejorar la eficiencia en la maquinaria utilizada a través de innovación tecnológica.
- Utilización de nuevos materiales que permitan reducir costos.
- Mano de obra más calificada y eficiente para obtener mejores resultados.
- Mejorar sistemas de gestión y producción que permitan hacer más trabajo con menor utilización de recursos.

Entonces, basándose en el último enfoque planteado (mejorar sistemas de gestión y producción que permitan hacer más trabajo con menor utilización de recursos) es que la filosofía *lean* toma mayor importancia. La filosofía o el pensamiento *lean* es el nombre que se le da al sistema de producción de automóviles en las fábricas de *Toyota*. Este sistema de producción posee ciertos principios que buscan una forma de hacer más con menos; menos esfuerzo humano, menos equipos, menos tiempo, menos espacio. Y así, entregar al cliente exactamente lo que quiere en el momento que lo necesita (Womack & Jones, 1996).

En los últimos años existen variados estudios que muestran la aplicabilidad y posibilidad de utilizar metodologías *lean* en proyectos mineros y, en algunos casos, han presentados resultados significativos en la realización de proyectos. Sin embargo, estos

estudios manifiestan limitaciones que poseen las implementaciones realizadas e invitan a resolver los desafíos futuros que se avecinan (Dunstan et al., 2006; Hattingh & Keys, 2010; Klippel et al., 2008a; Shukla & Trivedi, 2012; Wijaya et al., 2009; Yingling et al., 2000).

1.3.1 Aplicabilidad de la filosofía *lean* en la minería

Dentro de las conclusiones más relevantes de los estudios que hacen referencia a la aplicabilidad y posibilidad de implementar la filosofía *lean* en la minería se destaca:

- Los principios que promueve la filosofía *lean* poseen un gran potencial para ser satisfactoriamente aplicados a la industria minera. De hecho, puede ser usado para eliminar los desperdicios e incrementar la confiabilidad de la operación (Wijaya et al., 2009).
- Los valores centrales que promueve la filosofía *lean* son aplicables tanto a proyectos en un contexto minero como lo es en la industria manufacturera (Dunstan et al., 2006).
- La producción *lean* parece ser altamente aplicable a la minería al igual que a otros sistemas productivos. De hecho, existen ciertos enfoques (valor, mapeo del flujo de valor, estandarización, calidad desde la fuente, mantenimiento productivo total, trabajadores multifuncional y mejoramiento continuo) que pueden ser implementados directamente en la industria minera (Yingling et al., 2000).
- Es posible implementar una nueva forma de gestión en la industria minera a través del uso integrado de conceptos de producción *lean*. Es decir, son compatibles los conceptos de producción *lean* con los conceptos y técnicas tradicionales de la minería (Klippel et al., 2008b).

De este modo, se pueden apreciar las principales conclusiones que se obtienen de la literatura que demuestran la capacidad de aplicación que posee la filosofía *lean* en la industria minera.

1.3.2 Principales resultados directos de aplicaciones *lean* en minería

Algunos estudios han dado a conocer mejoras cuantificables y directas en el desempeño y resultados de los proyectos, siendo los resultados más relevantes los que se mencionan a continuación:

- En proyectos en donde se implementó metodologías *lean* con el objetivo de modificar los procesos, identificando las actividades que agregan valor y aquellas que no, se logró obtener mejoras significativas en productividad. De hecho, se logró disminuir en un 32,9% los costes de producción y se aumentó en un 43,6% en la productividad (Klippel et al., 2008a).
- Al incluir metodologías *lean* en el desarrollo minero se redujo en 95% la generación de polvo al interior de la mina, permitiendo mejorar la calidad de vida del trabajador dentro de la mina. Además, se redujo simultáneamente las pérdidas por esperas en 37%. Así, se logró aumentar en un 17% al tiempo en actividades que agregan valor a los procesos (Klippel et al., 2008a).
- Al aplicar la filosofía *lean* para aumentar la productividad en una mina de carbón, se aumentó en un 13% la disponibilidad de las instalaciones y se aumentó en 26% la eficiencia de la mano de obra. Todo esto contribuyó a un aumento general del 17% de la producción (Ade & Deshpande, 2012).
- Existe documentación de mejoras considerable en el desempeño de proyectos que resultan luego de haber aplicado *lean*, lo que ha motivado a empresas a adoptar esta filosofía (Yingling et al., 2000).
- Los resultados obtenidos en el uso práctico de gestión *lean* en la minería han demostrado el potencial que tiene adoptar esta integración de minería con *lean* (Klippel et al., 2008b).
- El uso del Sistema del Último Planificador (metodología de construcción *lean*) en proyectos de montaje industrial para la industria minera, ha demostrado impactos significativos en el desempeño de indicadores de producción, comparándolos con proyectos similares, de la misma compañía y valores históricos. Sus beneficios no sólo se aplican a la relación con los contratistas,

sino que se extiende a los clientes y en la satisfacción de éstos. Además, se han obtenido resultados de cero accidentes, situación que no se registraba antes en la literatura (Leal, 2010).

- Se han encontrado relaciones directas entre la confiabilidad de programa y los indicadores de plazos y costos. De este modo, los proyectos que han demostrado mayor confiabilidad en sus programas (por ejemplo, gracias a la ayuda del Sistema del Último Planificador), han demostrado reducción en los plazos y costos (Leal & Alarcón, 2010).

De esta forma, se puede concluir que existen investigaciones que han desarrollado e implementado la filosofía *lean* en la minería y que han obtenido resultados concretos y positivos. Sin embargo, parte de estos resultados han sido luego de implementaciones de metodologías aisladas y no corresponden a una transformación *lean* integral. Por lo tanto, se vislumbra que queda un largo camino que recorrer en implementaciones *lean* en la industria minera.

1.3.3 Principales resultados indirectos de aplicaciones *lean* en minería

Existen estudios en que se han aplicado ciertas herramientas y metodologías *lean* en proyectos de la industria minera, en donde se destaca las siguientes conclusiones, las cuales son principalmente de carácter indirectas:

- La filosofía *lean* entrega una herramienta de gestión que permite mejorar y reaprender más rápidamente la forma en que se ejecutan las operaciones, siendo un aprendizaje más estructurado y sostenible. De esta forma, permite a toda la organización aportar al mejoramiento del negocio y asegurar el mejoramiento continuo (Dunstan et al., 2006).
- Se demostró que al incluir metodologías *lean* en el desarrollo minero se lograba aumentar la satisfacción del cliente y la calidad de vida del trabajador dentro de la mina (Klippel et al., 2008a).
- La filosofía *lean* es una de las únicas vías para reducir las pérdidas y mejorar la efectividad de los recursos para competir en el mundo actual. Además, con la

aplicación e implementación de filosofía *lean*, es posible que la minería produzca a altos niveles de calidad con bajos niveles de costos (Ade & Deshpande, 2012).

- El uso de metodologías *lean* ha empoderado a los trabajadores para resolver problemas en el mismo lugar de trabajo lo que les promueve un fuerte sentido de pertenencia (Dunstan et al., 2006).
- Los trabajadores de la minería se sienten empoderados cuando sus opiniones son escuchadas y cuando les dan la oportunidad de identificar y explicar las mejores prácticas derivadas de la antigua minería. Además, piensan que de esta forma puede ser consolidada las antiguas prácticas dentro de la filosofía *lean* (Sanda et al., 2011b).

Con lo expuesto anteriormente, se puede concluir que la filosofía *lean* no solamente demuestra tener una alta capacidad de aplicación a la industria minera y muestra impactos directos en la operación, sino que también se ha demostrado que impacta a la organización, la satisfacción del cliente y la forma en que los trabajadores desarrollan el trabajo.

1.3.4 Principales desafíos de implementar *lean* en desarrollo minero

Si bien existen impactos positivos en la utilización de principios *lean* aplicados en la minería, también existen limitaciones importantes que reflejan grandes desafíos para el futuro. Dentro de los principales desafíos se destacan:

- Existe un aspecto cultural altamente arraigado en la industria, por lo que no es fácil implementar cambios en las empresas. De hecho, muchas personas se sienten controladas cuando se realizan diagnósticos y evaluaciones. Sin embargo, una forma efectiva de romper las barreras culturales es dándoles a conocer los posibles mejoramientos y mostrándoles cuándo éstos comienzan a aparecer. De esta forma, se permite beneficiar a los propios trabajadores con los nuevos métodos de trabajo (Freire & Alarcón, 2002).

- Si bien los principios *lean* presentan un gran potencial de aplicación en un ambiente minero, muchos hechos se tienen que tomar en consideración para la implementación de éstos que generan grandes desafíos para la administración. Específicamente, la aplicación de metodologías *lean* no es sólo aplicar una herramienta, sino que implica un cambio cultural en la empresa e industria. Es decir, es un proceso lento que debe llevar el correcto seguimiento y control. Entonces, existe un amplio potencial de aplicación que debe ser cuidadosamente implementado para lograr resultados positivos (Wijaya et al., 2009).
- La aplicación de metodologías *lean* es un proceso iterativo, el cual debe ser aplicado continuamente. No basta con introducir estas metodologías aplicándolas una sola vez con el fin de obtener mejores indicadores respecto a la situación anterior. Ésta se debe hacer de forma sostenible en el tiempo. Es decir, la implementación de metodologías *lean*, y el mejoramiento de la producción y la calidad son un viaje continuo que no puede ser tomado como un resultado particular (Ade & Deshpande, 2012).
- Es necesario acompañar de trabajo organizacional al trabajo técnico que se realiza en mejorar los procesos. Las barreras más grandes que se presencian son las impuestas por los operarios, debido a sus capacidad, formación y cultura. De hecho, el factor humano puede ser tomado como variable clave en la mejora continua, por lo que involucrar al personal, entrenarlo e incentivarlo, es indispensable para lograr verdaderos cambios (Ortiz, 2010).
- Los principios *lean* que se pueden aplicar a la industria minera son altamente interdependientes. Las implementaciones *lean* nunca son fáciles. Éstas toman un tiempo considerable, requieren un fuerte liderazgo por parte de la alta dirección, agentes de cambios y alta inversión entrenamiento del personal (Yingling et al., 2000).

Por lo mencionado anteriormente, se pueden asimilar las limitaciones que poseen actualmente las implementaciones *lean* en la minería, las cuales representan un largo camino por recorrer. De hecho, si bien existe evidencia en que se han aplicado ciertas

metodologías *lean* en un ambiente minero, los casos en que se han aplicado son limitados y no representan una transformación *lean* de carácter integral.

1.4 Oportunidad y pregunta de investigación

Dentro de la investigación se establece la importancia que tiene la industria minera en Chile y su incidencia en el sector económico del país. De hechos se destaca la minería como pilar fundamental en el desarrollo de éste. Del mismo modo, se reconoce las características desafiantes que posee el contexto en el cual se inserta la minería debido a las necesidades futuras y a las demandas que se pronostican. Además, se evidencia la oportunidad de implementar ciertas herramientas que permitan una producción ajustada, respondiendo a las características futuras, generando beneficios para el país y permitiendo la sostenibilidad requerida del negocio. Por lo mismo, la investigación tiene como propósito general contribuir con un mayor conocimiento de implementaciones y transformaciones *lean* en minería, destacando que existe una escasa evidencia de estudios y material científico en este aspecto. Además, los modelos convencionales de implementación que existen son poco detallados, por lo tanto, se asume una gran oportunidad de levantar el proceso de implementar *lean*, generando un modelo óptimo y más eficiente. Entonces, en función de lo mencionado anteriormente surge la pregunta de investigación:

- ¿Cómo se desarrolla e impacta la implementación de metodologías *lean* en la ejecución de proyectos de desarrollo minero en Chile?

1.5 Hipótesis de trabajo

Teniendo identificada la oportunidad de investigar las implementaciones de filosofía *lean* en minería y habiendo definido la pregunta de investigación a la cual se desea dar respuesta, es que se define la hipótesis de trabajo que se quiere desarrollar. Para esto se define la siguiente hipótesis:

- La implementación de metodologías *lean*, aplicadas durante la ejecución de proyectos de desarrollo minero, presentan mejoras estadísticamente

significativas en el desempeño de proyectos medidos según indicadores de procesos.

- La implementación de metodologías *lean*, aplicadas durante la ejecución de proyectos de desarrollo minero, generan mejoras en el comportamiento de la organización.

1.6 Objetivos de la investigación

Para dar una respuesta concreta a la pregunta de investigación planteada y en concordancia con la hipótesis de trabajo desarrollada, el objetivo general y los objetivos específicos son los que se presentan a continuación:

Objetivo general:

Implementar metodologías *lean* en un proyecto minero en Chile y analizar cómo impacta en la ejecución del proyecto.

Objetivos específicos:

1. Identificar metodologías *lean* que sean aplicables a proyectos de desarrollo minero.
2. Implementar dichas metodologías *lean* durante la ejecución de un proyecto de desarrollo minero.
3. Evaluar estadísticamente el impacto que genera la implementación de éstas metodologías en el desempeño de los proyectos, medidos según indicadores de procesos.
4. Evaluar el impacto que genera la implementación de éstas metodologías en el desempeño de la organización, medidos a través de la caracterización de sus organizaciones y mediante encuestas posteriores a la implementación.
5. Generar un modelo de la implementación que contenga mejoras metodológicas respecto a los modelos actuales.

1.7 Alcances y limitaciones de la investigación

Debido que para la realización de la investigación se ha determinado usar la metodología de estudio de casos, ésta presenta limitaciones propias al contexto en el cual se desarrollan los casos de estudio. Entonces, las limitaciones a la que está asociada el alcance de esta investigación son las siguientes:

a) Número de casos

Para el desarrollo de la investigación se consideran tres casos de estudios, por lo que tienen características particulares propias de cada proyecto y los diferencian entre sí y de otros proyectos.

b) Empresas

Los casos de estudios involucran a cuatro empresas diferentes, condición que se manifiesta en características particulares de cada empresa. Por lo tanto, están asociados en diferencias de tamaño, tipo de organización, cultura interna, estrategia del negocio, metodologías de operación, etc.

c) Relación contractual

Debido que los casos de estudios analizados son desarrollados por empresas distintas relacionadas a un solo mandante, éstos presentan características particulares en la forma de relación entre ellos. Es decir, existen diferencias en los contratos que poseen, su duración, su costo y la forma en que coexisten.

d) Frentes de trabajo

Los casos de estudios que se utilizan representan frentes de trabajo distintos, por lo tanto, poseen condiciones particulares y características propias de cada frente que los diferencian entre sí.

e) **Plazo**

La implementación realizada considera un plazo fijo de duración que consiste en 8 meses de trabajo. Esto hace que el tiempo necesario para realizar la implementación sea limitado y que el impacto registrado sea cuantificado dentro de este plazo fijo, sin considerar cómo perdura en el tiempo.

Sin embargo, considerando las limitaciones expuestas anteriormente, los fenómenos que se desean estudiar en la investigación representan el contexto del desarrollo minero en Chile. Por lo mismo, es posible extender una generalización teórica respecto a las implementaciones de metodologías *lean* en proyectos de desarrollo minero, teniendo en cuenta los casos de estudio a analizar.

1.8 Descripción de la tesis

Con el objetivo de presentar de mejor forma la investigación realizada, la estructura de la tesis se compondrá como se plantea a continuación:

- **Capítulo 1: Introducción**

Este capítulo tiene como objetivo dar a conocer al lector de lo que se tratará la tesis. Para esto, se presenta el contexto en el cual se desarrolla la investigación, argumentando porqué es necesaria en el ámbito científico y los antecedentes que la sustentan. Además, se establece la pregunta de investigación que se desea resolver, estableciendo una hipótesis de trabajo que se busca comprobar y los objetivos que guiarán el trabajo.

- **Capítulo 2: Marco teórico**

Esta sección tiene como propósito proveer al lector de la base teórica en que se enmarca la investigación, a fin de aportar en el entendimiento del desarrollo de la misma. Además, profundiza en teorías relevantes que deben ser entendidas para realizar la investigación, estableciendo los avances en las materias y limitaciones existentes.

- **Capítulo 3: Metodología y casos de estudio**

En este apartado se establece y detalla la metodología de estudio para desarrollar la investigación, definiendo las variables a medir, el tipo de análisis a realizar y la estructura de trabajo. Además, este capítulo contempla una breve descripción de los casos de estudio seleccionados y el diseño operacional que se utiliza en la investigación.

- **Capítulo 4: Resultados y discusión**

Este inciso tiene como objetivo exponer los datos obtenidos durante el desarrollo de la investigación y el análisis necesario para dar respuesta a la hipótesis y objetivos. Del mismo modo, presenta los resultados más relevantes para profundizar el entendimiento de implementaciones *lean* en proyectos de desarrollo minero, y cómo impactan en el desempeño de dichos proyectos.

- **Capítulo 5: Conclusiones**

Esta sección representa el capítulo final de la tesis, estableciendo los principales aportes de la investigación, y concluyendo sobre la ejecución y el impacto de la implementación de metodologías *lean* en proyectos de desarrollo minero. Además, se establecen los lineamientos a próximas investigaciones, con el fin de guiar los avances en el pensamiento *lean* aplicado a la industria minera.

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describe brevemente la literatura revisada para la realización de la investigación, destacando la información relevante y necesaria que se atañe al problema de investigación. Específicamente se describe lo que es la filosofía *lean*, sus orígenes y principios fundamentales. De este modo, se desencadena lo que es la construcción *lean* e identificando sus aspectos más importantes. Finalmente, se dan a conocer los principios *lean* que son aplicables a la minería y los modelos de implementación más comunes en esta área.

2.1 Pensamiento *lean*

En el siglo XX, la industria automotriz se ha visto afectada conforme al cambio que ha sufrido la industria manufacturera, experimentando un proceso de transformación progresivo en la forma en que se realiza la producción. A finales del siglo XIX y hasta principios del siglo XX dominaba la producción artesanal, sistema de producción que se caracterizaba por utilizar una fuerza de trabajo con grandes habilidades en el diseño, operación de maquinaria y montaje. En definitiva, se destacaban principalmente por desempeñarse como artesanos, teniendo organizaciones descentralizadas y bajo niveles de producción (Womack et al., 1990).

Sin embargo, a principios del siglo XX, el exceso de demanda existente y el aumento de tecnología hicieron que fuera imposible a la producción artesanal responder a las necesidades del mercado. Por lo tanto, el sistema de producción se vio en la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías y la realización de investigaciones que las respaldaran. De esta forma, la producción artesanal no tenía los recursos para ir en búsqueda de la innovación, por lo que surge un nuevo sistema de producción que resuelve los problemas inherentes de la producción artesanal, éste se denominó producción en masa. La producción en masa usaba nuevas técnicas que reducían dramáticamente los costos mientras que elevaban la calidad del producto, lo que demostró la superioridad de este sistema por sobre la producción artesanal para responder a las necesidades de ese entonces (Womack et al., 1990).

La característica clave de la producción en masa era su capacidad completa y consistente de intercambiar partes y la simplicidad de unirlos unas a otras. Esto fue la gran innovación que hizo posible la línea de ensamblaje continua. Para lograr esto, el sistema se destacaba por tener una fuerza de trabajo que era específica, centrándose sólo en una actividad. Esto le permitía responder a una velocidad acelerada y que cada actividad individual se hiciera de forma más eficiente, situación que antes no se lograba. Además, la producción en masa tuvo que organizar la producción de manera distinta. Sus proveedores no lograban satisfacer la demanda de ese entonces, por lo que cada empresa fabricaba la totalidad de sus componentes en un solo lugar. Sin embargo, el ensamblaje se efectuaba en lugares remotos con el fin de distribuir los productos por todo el mundo. Asimismo, las herramientas utilizadas ocupaban un rol fundamental, ya que, en la producción artesanal, una máquina podía realizar muchas actividades pero necesitaba muchos ajustes. Sin embargo, la producción en masa logró utilizar herramientas y maquinaria que producían a gran volumen con un bajo costo de configuración entre piezas, logrando piezas mucho más precisas y especiales. Finalmente, los productos que se desarrollaban en la producción en masa poseían una base común, con una cantidad elevada de similitudes, lo que permitió tener una producción estandarizada. Todo esto logró que la producción en masa fuera el sistema que reinara ese entonces, satisfaciendo el exceso de demanda que existía por los productos, a bajos costos de producción y a una velocidad de producción conforme a la demanda (Womack et al., 1990).

A pesar de los beneficios que conllevaba la producción en masa, éstos dependían fuertemente del exceso de demanda de los productos y de la economía de crecimiento acelerado. Por lo tanto, pasado la mitad del siglo XX, la producción en masa comenzó a presentar sus primeros problemas producto de la situación financiera mundial y de las nuevas necesidades del consumidor. Así, para finales del siglo XX, este sistema presentaba muchas deficiencias que se vislumbraban en toda Europa y Estados Unidos, situación por la cual nuevas empresas comenzaron a sonar más fuerte y tener más peso en la producción mundial. Es en ese momento que se estudian las industrias de automóviles de todo el mundo, encontrándose diferencias significativas y radicales de

las industrias Japonesas con el resto de los competidores. Entonces, se deduce que en Japón se estuvo desarrollando un sistema integral totalmente nuevo de fabricación de productos, lo que se denominó “producción *lean*” (Womack et al., 1990).

La producción *lean* es un término que se le acuñó al sistema de producción de la empresa *Toyota*, en el cual se fabricaban automóviles con distintos principios que los utilizados en el resto del mundo. Entonces, el sistema de producción *lean* cambia radicalmente los paradigmas que se tenían sobre los sistemas de producción, y rompe ciertos mitos que se habían establecido provocados por la producción en masa (Womack et al., 1990).

El sistema de producción *lean* cambia la forma en que las empresas entienden el rol organizacional de las compañías, fomentando que actúe como una comunidad. Además, establece una nueva forma de entender una planta de ensamblaje, potenciando la multifuncionalidad, el trabajo en equipo, la opinión de los trabajadores, la mejora continua y la eliminación de desperdicios. Por otra parte, incorpora de manera activa el rol de las cadenas de suministros, permitiendo el flujo continuo y la ausencia de detenciones en la línea de producción. Asimismo, cambia la manera en que se desarrollan los productos, formando personal especializado pero que trabaja en equipo con el resto de sus compañeros. Finalmente, ponen especial atención en el consumidor, conformando procesos flexibles que respondan a la variación de la demanda, y diseñando procesos que se orienten en la creación de valor para el cliente. Todo esto permite que *lean* sea una alternativa de trabajo (y en ocasiones la única) en economías de crecimiento lento, posibilitando la producción de pequeñas cantidades de productos, de muchas variedades, y en condiciones de baja demanda (Womack et al., 1990).

Luego de los estudios realizados en las fábricas de la *Toyota* y el esfuerzo de los investigadores en desentrañar las características que diferenciaban a la producción *lean* del resto de los sistemas de producción, la filosofía *lean* puede ser resumida en 5 principios fundamentales: especificar precisamente el valor para un producto específico; identificar la cadena de valor para cada producto; permitir el flujo de valor sin interrupciones; permitir que el consumidor tire el valor (la producción) del productor; y

perseguir la perfección (Womack & Jones, 1996). En definitiva, estos principios entregan una forma de hacer más con menos; menos esfuerzo humano, menos equipos, menos tiempo, menos espacio. Y así, entregar al cliente exactamente lo que quiere en el momento que lo necesita. No obstante, para lograr esto se debe lidiar con las pérdidas y desperdicios, específicamente cualquier actividad humana que absorbe recursos pero no crea valor (Womack & Jones, 1996).

2.1.1 Principios del pensamiento *lean*

El pensamiento *lean* establece 5 principios que pretenden disminuir al máximo posible las pérdidas y desperdicios. Estos principios se resumen a continuación (Womack & Jones, 1996):

a) Valor

El valor es el punto de partida del pensamiento *lean*. El valor es creado por el productor pero definido por el cliente, porque gracias al cliente es que nace una necesidad. Por lo tanto, el valor sólo puede ser definido por el cliente final. Además, el valor para el cliente sólo es expresado en términos del producto, el cual resuelve las necesidades del cliente a un costo y momento específico. Entonces, en la filosofía *lean* se debe comenzar precisando de manera detallada el valor para el cliente, centrando la atención en el producto específico con sus respectivas capacidades, ofrecido en el momento adecuado y a un precio específico.

En definitiva, la correcta especificación del valor para el cliente es el primer paso crítico del pensamiento *lean*. Con una incorrecta definición del valor, el producto desarrollado tendría pérdidas y desperdicios.

b) Cadena de valor

La cadena de valor es el conjunto de actividades requeridas para realizar un producto específico, a través de tres tareas críticas: la resolución del problema, la gestión de información, y la transformación física. La resolución del problema se basa en la conceptualización de la idea a través del diseño y la ingeniería de detalle. La gestión de la información es el manejo de datos que ocurre desde la necesidad hasta la entrega del

producto. Y, finalmente, la transformación física se refiere al proceso de transformación que ocurre desde las materias primas hasta entregar un producto específico en las manos del cliente.

En conclusión, el segundo paso crítico es definir y potenciar las actividades que agregan valor en la cadena de valor del producto, eliminar las que no lo hacen y pueden ser descartadas directamente, y modificar las que no agregan valor pero que no pueden ser descartas debido a la forma de realizar los procesos actuales.

c) Flujo

Luego de tener la correcta definición del valor para el cliente y haber identificado la cadena de valor que elimina las pérdidas, es fundamental permitir que la creación de valor se realice fluidamente, es decir, a través de un flujo continuo. Específicamente, las cosas funcionan mejor cuando se pone el foco de atención en el producto y sus necesidades, por sobre los equipos y la organización, por lo que todas las actividades necesarias para diseñar, fabricar y proveer un producto se generan en un flujo continuo. Además, el gran desafío es alcanzar el flujo continuo cuando se dispone de pequeños niveles de producción, situación que puede demandar que se modifique el funcionamiento convencional de las empresas.

De este modo, el tercer paso crítico radica en generar y permitir el flujo continuo de la cadena de valor, a través de pequeños lotes de producción (o sin lotes). Por lo tanto, es posible la necesidad de modificar el funcionamiento normal de la empresas mediante una estrategia de transformación *lean*, incentivando la creación de valor en toda la cadena por sobre la especialización por departamentos.

d) Tirar

Luego de realizar los 3 primeros principios del pensamiento *lean*, los cambios deberían ser visibles de forma radical. La transformación de los departamentos independientes de las empresas en equipos de trabajo multidisciplinarios, y el cambio de producción a través de lotes por flujo continuo, deberían disminuir drásticamente los tiempos de resolución de problemas, de gestión de información, y de materialización física de los productos. Sin embargo, si bien estos principios acercan a las empresas a entregar al

cliente lo que ellos quieren en el momento que lo quieren, todavía existen predicciones de demanda y especulaciones sobre los intereses del cliente. Entonces, el desafío está en permitir que el cliente “tire” la producción por sobre que la empresa “empuje” la producción hacia el cliente.

En conclusión, el cuarto paso crítico es generar que el cliente “tire” la producción y que la empresa responda exactamente con las necesidades del cliente, disminuyendo las predicciones y estimaciones ambiguas sobre los intereses de éste.

e) Perfección

La perfección ocurre cuando se realiza un proceso iterativo de los 4 pasos anteriormente señalados. Las empresas definen con precisión el valor para el cliente, luego identifican la cadena de valor completa del producto, permiten que la creación de valor ocurra mediante un flujo continuo y potencian a que el cliente sea quién tire la producción. Entonces, se aprecia que el proceso se puede ir ajustando continuamente, entregándole al cliente lo que desea con mayor precisión. Específicamente, al entregarle valor al cliente mediante un flujo continuo, se exponen pérdidas en la cadena de valor. Además, mientras más tire la producción el cliente, mayor serán las restricciones que obstaculizan el flujo continuo, lo que revela pérdidas para ser removidas.

Por lo tanto, el último paso crítico sería realizar un proceso iterativo de los pasos anteriores en busca de la perfección. Al efectuar esto, comienzan a florecer ciertas pérdidas y desperdicios que antes no se identificaban, permitiendo una mejora continua por parte de la empresa que no tiene límites.

2.1.2 Pérdidas o desperdicios

Los precursores del pensamiento *lean* establecen las pérdidas como cualquier actividad humana que utiliza recursos pero que no crea valor (Womack & Jones, 1996). Por lo tanto, se considera como pérdidas los errores que requieren rectificación; la fabricación de productos no demandados por el cliente lo que genera exceso de inventario; procesos en la cadena de producción que son innecesarios; movimiento de empleados y transporte de materiales sin ningún propósito; esperas producto de cuellos de botellas en

actividades previas; y productos y servicios que no cumplen con las necesidades del cliente (Womack & Jones, 1996).

Bajo el enfoque de pérdidas determinado por el pensamiento *lean*, se puede generar la siguiente clasificación de pérdidas considerando las más estudiadas ((Ohno, 1988; Rashid & Heravi, 2012; Womack & Jones, 1996):

a) Defectos

Este tipo de pérdidas se refiere a los defectos en los productos, la corrección de éstos y el retrabajo. Específicamente, se destacan los errores en la ejecución de los procesos de producción, los que generan pérdidas de tiempo, materiales, mano de obra, etc., y las fallas en la maquinaria y equipos producto de una incorrecta utilización de éstos. Además, se destacan las actividades correctivas a tareas mal ejecutadas y procesos innecesarios. Finalmente, se encuentra el retrabajo producido por interferencias en los procesos.

b) Sobreproducción

La sobreproducción se refiere a realizar más de lo que se necesita realmente. En este tipo de pérdida se considera la producción en mayor cantidad que la solicitada por el cliente y la que debe sufrir cambios por las necesidades de las próximas unidades a desarrollar. Además, se considera como pérdida la producción prematura de productos, es decir, producir antes de que realmente se necesite.

c) Inventarios

Las pérdidas por inventario se refieren a mantener en posesión materiales y productos que son innecesarios. Es decir, en inventario se encuentran los productos que no están terminados pero están siendo procesados para lograr el producto final y aquellos que han sido terminados pero que todavía no son entregados. Además, se considera pérdidas por inventario a la posesión de cantidades innecesaria de materiales y materia prima que disminuyen la liquidez de la empresa o proyecto.

d) Procesos

Las pérdidas en los procesos son todas aquellas que incluyen un reproceso innecesario para la producción. Específicamente, se encuentran las actividades adicionales a la producción que no agregan valor, y las actividades de inspección que no son estrictamente necesarias. También se considera pérdidas en los procesos para aquellos productos que entregan mayores prestaciones y calidad que la requerida por el cliente.

e) Traslados

Las pérdidas por traslados se refieren a cualquier movimiento físico de los trabajadores que deben realizar en su lugar de trabajo. Específicamente, la mayor pérdida se da en los traslados innecesarios que realiza el personal para cambiar de actividad que desempeña o frente de trabajo.

f) Transporte

Las pérdidas por transporte hacen referencia al transporte innecesario de materiales y bienes. Es decir, se considera pérdida por transporte cualquier movimiento de material que no agrega valor al producto, y a las múltiples transferencias de datos e información que espera aprobación para finalmente ser utilizada.

g) Esperas

Se considera pérdidas por esperas al tiempo que los trabajadores despilfarran al no poder realizar actividades que agregan valor. Entonces, se entiende por pérdidas a las esperas de los trabajadores por la utilización de una máquina, a falta de cancha para poder trabajar, a falta de materiales, y a pérdidas de capacidad por cuellos de botella en actividades previas en la cadena de valor. Además, se encuentran las esperas por información, necesidades del cliente y aprobaciones finales.

h) Satisfacción del cliente

Se considera pérdidas a toda la producción que no cumple con las necesidades específicas del cliente. Es decir, este tipo de pérdida va orientada principalmente a la

fase de diseño, en el cual se desarrollan productos que desde un principio no agregan el valor que el cliente está buscando.

i) Subutilización del personal

Este tipo de pérdida no está relacionada directamente a la producción física del producto, sino que hace referencia a la incorrecta utilización del personal. Es decir, se considera pérdida cuando no se utiliza la total capacidad del personal, sino que se subestima el aporte que éste puede generar. En este aspecto se incluye la subordinación del personal a la capacidad de las máquinas, las ideas no tomadas en cuenta, etc.

2.2 Construcción *lean*

Conforme al desarrollo continuado del pensamiento *lean* en las industrias manufactureras, y el afán de las distintas industrias de entenderlo y aplicarlo a su propia realidad, a fines del siglo XX surge la llamada construcción *lean*. Este concepto hace referencia a la gestión de la construcción mediante el pensamiento *lean* (Howell & Ballard, 1998).

Anteriormente, la forma tradicional de estudiar y analizar la producción era como un proceso de transformación. Bajo esta visión, la producción se realizaba a través de un proceso de conversión, en el cual se transforman las entradas en salidas. En la Figura 2-1 se muestra la mirada convencional de la producción. Cabe destacar que, bajo esta mirada, es posible tener medidas de control simples relacionando las entradas y las salidas. Sin embargo, muchas veces el proceso de conversión o transformación debe ser dividido en subprocesos, que a su vez son otros procesos de conversión (como lo muestra la Figura 2-1). De este modo, las corrientes de gestión más comunes y tradicionales proponen que el valor del producto (o salidas) de un proceso está directamente asociado con el valor de los materiales (o entradas) en esos procesos. Y, además, se puede minimizar el costo total del proceso mediante la minimización del costo de cada subproceso por separado (Koskela, 1992).

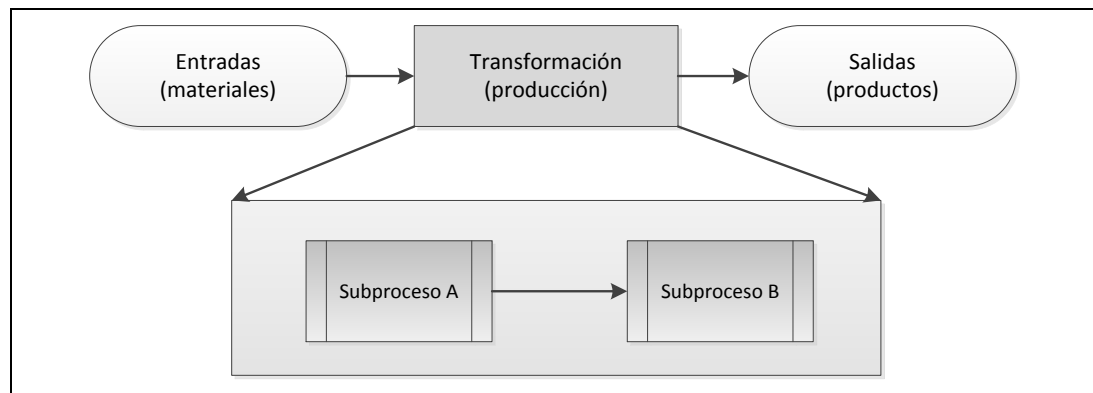


Figura 2-1: Visión tradicional del proceso productivo. Producción como transformación.
(Koskela, 1992)

La visión tradicional del proceso de producción se mantenía hasta entonces porque los procesos eran simples, los flujos eran cortos y escasos, y las organizaciones pequeñas. Sin embargo, a medida que se fue desarrollando la industria en general, se intentó aplicar la misma visión a procesos más complejos, con mayor cantidad de flujos, y en organizaciones más grandes. Debido a esto, la gestión se complicó bastante y surgieron problemas inherentes debido a la utilización de la visión tradicional (Koskela, 1992). Específicamente surgen fuertes críticas a los flujos dentro de la producción, refiriéndose a aquellas actividades que no provocan transformación pero que son necesarias para la producción. En ellas se encuentran las esperas, inspecciones y movimientos; actividades que no eran consideradas en la visión tradicional de transformación (Campero & Alarcón, 1999).

Sin embargo, el pensamiento *lean* propone una nueva visión para el proceso productivo. Esta visión se basa en dos tipos de procesos fundamentales: transformaciones y flujos. De esta forma, la nueva visión de la producción propone una nueva definición. La producción es un flujo de materiales e información que permite obtener el producto final. En este proceso productivo ocurre transformación de materiales, inspecciones, movimientos y esperas. El procesamiento representa la transformación del material; en cambio, inspecciones, movimientos y esperas representan a los flujos (Koskela, 1992). En la Figura 2-2 se muestra la nueva visión del proceso productivo, la producción como flujo.

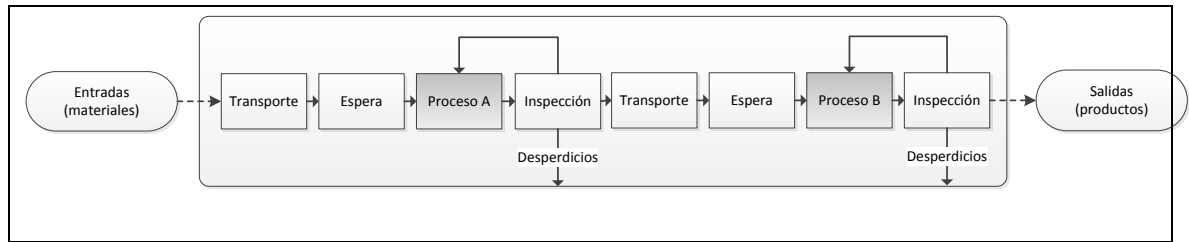


Figura 2-2: Nueva visión del proceso productivo. Producción como flujo. (Koskela, 1992)

Bajo la nueva definición del proceso productivo, se agrega al tiempo como un recurso fundamental para ser analizado, en donde puede ser utilizado tanto para actividades de transformación como de flujo. Conforme a esta visión, los procesos de transformación son los que agregan valor y los procesos de flujo no lo hacen. Entonces, la forma óptima de mejorar el proceso productivo es eliminando las actividades de flujo y optimizando las actividades de transformación (Koskela, 1992). Esta idea se ilustra en la Figura 2-3. En ésta se comparan las visiones de los procesos productivos más importantes.

	Visión tradicional	Visión de calidad	Visión <i>lean</i>
Costo total del proceso productivo		Costo de la no calidad	Costo de las actividades que no agregan valor
Concepto de mejora	Busca mejorar la eficiencia de los procesos	Busca mejorar la eficiencia de los procesos y reducir el costo de la no calidad	Busca reducir o eliminar las actividades que no agregan valor y mejorar la eficiencia de las que agregan valor

Figura 2-3: Concepto de mejoras y costos a través de la visión tradicional, de calidad y *lean*. (Koskela, 1992)

Por otra parte, se han formulado una serie de principios que buscan dar las directrices en el diseño, mejoramiento y control de los procesos de los procesos productivos (Koskela, 1992). Éstos son:

- Reducir la participación de las actividades que no agregan valor
- Aumentar el valor del producto a través de la consideración sistemática de los requerimientos del cliente
- Reducir la variabilidad de los procesos
- Reducir los tiempos de ciclo
- Simplificar mediante la minimización del número de etapas, partes y relaciones
- Aumentar la flexibilidad de los resultados
- Aumentar la transparencia de los procesos
- Focalizar el control en el proceso de flujo completo
- Incorporar el mejoramiento continuo en el proceso
- Balancear el mejoramiento de los flujos con el mejoramiento de la transformación
- Usar *benchmarking*.

De esta forma, se produce un mejoramiento continuo del proceso productivo tal como se muestra en la Figura 2-4. En ésta se detalla la importancia de producir continuamente una reducción las actividades que no agregan valor y un mejoramiento de la eficiencia de las actividades que sí lo hacen.

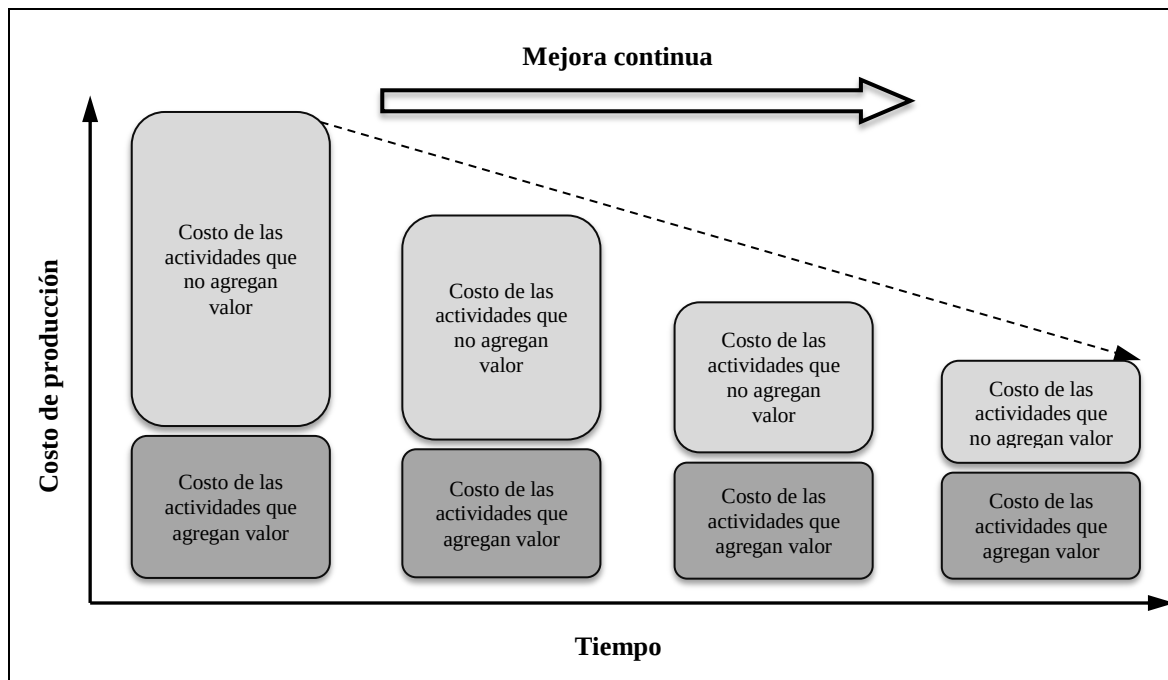


Figura 2-4: Mejora continua del costo de producción mediante la visión *lean*.

(Elaborado a partir de Koskela, 1992)

2.3 Pensamiento *lean* en la minería

En la última década se ha analizado los principios *lean* que se aplican a la manufactura y se ha demostrado la aplicabilidad que poseen en la industria minera. Además, existen estudios que han aplicado ciertas herramientas o principios *lean* de forma básica, obteniendo resultados exitosos y demostrando la flexibilidad que posee esta metodología en la industria minera.

Sin embargo, se han expuesto las diferencias que posee la industria manufacturera con la industria minera, las cuales se presentan en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1: Tabla comparativa entre la industria minera y la industria manufacturera.
(Dunstan et al., 2006)

Industria minera	Industria manufacturera
Dificultad para detener la producción	Capacidad de detener la producción
Producción en unidades continuas	Producción en unidades discretas
Generación de bastante polvo y contaminación del área de trabajo	Poco polvo y baja contaminación en el área de trabajo
Continuos cambios en las condiciones ambientales	Condiciones ambientales constantes
Ambiente variado	Ambiente estable
Locaciones de trabajo remotas	Centros de trabajo fijos y amplios
Susceptibles al clima	Ambientes cerrados y controlados
Capital humano repartido geográficamente	Plantas compactas
Variabilidad en el acopio de materiales	Acopio de materiales fijo
Corta vida de los componentes imposibilitando el manejo de inventario	Larga duración de los componentes posibilitando el manejo de inventario

No obstante la industria manufacturera tenga diferencias evidentes con la industria minera, estas diferencias no imposibilitan aplicar *lean* en la industria minera. De hecho, los principios *lean* y su propuesta de valor no es específica para alguna industria en particular, posibilitando su aplicación a cualquier industria (Dunstan et al., 2006).

En general, la industria minera es compatible con los principios *lean* pudiendo acceder a los beneficios que éstos entregan. Es decir, se pueden aplicar los conceptos de Valor, Cadena de valor, Flujo, Tirar y Perfección (Yingling et al., 2000).

Además, no sólo los principios tienen potencial de ser utilizado, también el concepto de pérdidas puede ser aplicado directamente a la industria minera (Wijaya et al., 2009).

Considerando lo anteriormente expuesto, *lean* permite (Dunstan et al., 2006):

- Generar líderes en el lugar de trabajo

- Involucrar a los trabajadores en la aceptación de estándares en el trabajo
- Empoderar a los trabajadores para formular sus propios estándares y mejorarlos
- Empoderar a los trabajadores desde el nivel más inferior para tomar decisiones operativas en base a datos, a través de la representación visual de indicadores claves de desempeño
- Formar operadores y mantenedores en el equipo de producción
- Aplicación de herramientas de mejora continua

2.4 Modelos de implementación

En las últimas décadas se han mencionado distintas metodologías de mejoramiento que buscan optimizar los procesos productivos. De las cuales, las más frecuentes son:

- *Six sigma*: proveniente del control estadístico de calidad, el cual fue propuesto y analizado principalmente por W. Edward Deming (1993).
- Pensamiento *lean*: proveniente del método de trabajo instaurado en las fábricas de la Toyota, el cual fue sintetizado y expuesto al resto del mundo por J. Womack y D. Jones (1996).
- Teoría de restricciones: proveniente del análisis y la gestión de la capacidad de un sistema, a través del estudio de los cuellos de botellas, expuesto por E. Goldratt (1994).

En la Tabla 2-2 se muestra un resumen de las metodologías de mejoramiento antes mencionadas.

Tabla 2-2: Resumen de metodologías de mejoramiento. (Nave, 2002)

Metodología	<i>Six sigma</i>	Pensamiento <i>lean</i>	Teoría de restricciones
Teoría	Reducción de variabilidad	Eliminación de pérdidas	Gestión de restricciones
Directrices de aplicación	1. Definir 2. Medir 3. Analizar 4. Mejorar 5. Controlar	1. Valor 2. Cadena de valor 3. Flujo 4. Tirar 5. Perfección	1. Identificar limitaciones 2. Explotar las limitaciones 3. Subordinar procesos 4. Elevar limitaciones 5. Repetir
Objetivo	Problemas	Flujo	Limitaciones

Del análisis de la tabla anterior se desprende que todos los modelos poseen una estructura similar, variando sólo ciertas directrices y focos de análisis. Por lo tanto, una buena metodología que resume los programas de mejoramiento es la propuesta por Freire y Alarcón (2002) para implementar *lean* en el proceso de diseño en la construcción. En la Figura 2-5 se muestra la metodología antes mencionada.

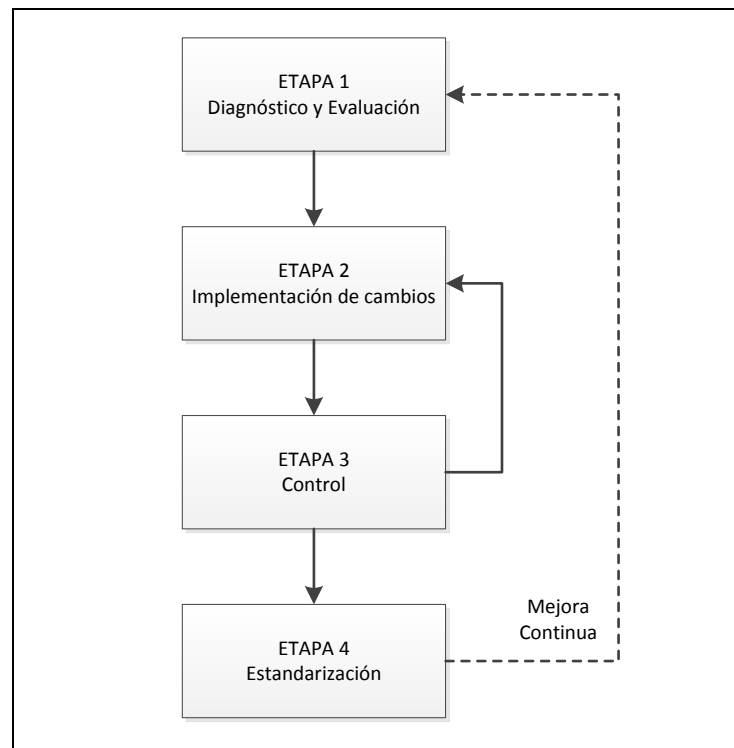


Figura 2-5: Metodología de mejoramiento. (Freire & Alarcón, 2002)

Cabe destacar que esta metodología responde a varios programas de mejoramiento y cumple con ser un ciclo repetitivo en donde se busca el mejoramiento continuo. Sin embargo, hay que tener en cuenta ciertas recomendaciones que ofrece la literatura para que las implementaciones resulten exitosas. Entonces, las principales recomendaciones se pueden resumir en (Howell & Ballard, 1998; Koskela, 1992; Kotter, 1995; Womack & Jones, 1996):

- Encontrar un agente de cambio
- Generar y conseguir el conocimiento necesario
- Establecer un sentido de urgencia
- Formar una coalición conductora poderosa
- Crear una visión
- Comunicar la visión
- Integrar a toda la organización
- Facultar a otros para que actúen de acuerdo con la visión

- Gestionar compromisos
- Comenzar en los mejores proyectos
- Enfocarse en mejoras medibles y ejecutables
- Comenzar lo antes posible con una actividad importante y visible
- Planificar y crear triunfos de corto plazo
- Consolidar los progresos y producir aún más cambios
- Encontrar puntos de apalancamiento
- Institucionalizar los nuevos enfoques
- Aprender continuamente
- Expandir el alcance cuando se logre momentum

3. METODOLOGÍA Y CASOS DE ESTUDIO

En este capítulo se establece y describe la metodología a utilizar durante la investigación, definiendo las variables a medir, el tipo de análisis a realizar y la estructura de trabajo. Además, este capítulo contempla una breve descripción de los casos de estudio seleccionados y las fuentes de información que se utilizarán. En definitiva, pretende dar a conocer al lector cómo se llevará a cabo la investigación y qué consideraciones se van a tomar.

3.1 Metodología

Para realizar esta investigación se utiliza la metodología de estudio de caso. Principalmente, se opta por utilizar esta metodología cuando se tiene un interés particular por el caso en sí mismo. De esta forma, el estudio de caso es el estudio de la particularidad y de la complejidad de un caso singular, para llegar a comprender su actividad en circunstancias importantes (Stake, 1998). Sin embargo, debido a la abundancia de los fenómenos y a la complejidad del contexto de la vida real, es necesario tomar ciertas medidas técnicas. Por ejemplo, será necesario usar múltiples fuentes de evidencia, permitiendo la posterior triangulación de los resultados (Yin, 2009). Entonces, el desafío está en determinar cómo utilizar el estudio de caso de forma correcta, utilizando las fuentes de evidencia adecuadas y la posterior triangulación de los resultados.

3.1.1 Selección de la metodología

Para explicar la necesidad de utilizar la metodología de estudio de caso en la investigación, es pertinente especificar las principales características que la justifican. Dentro de las principales características se encuentran:

- La principal finalidad al emplear un caso de estudio es investigar la particularidad, la unicidad del caso singular (Simons, 2011).

- Busca indagar sistemática y críticamente el fenómeno de estudio, además de generar conocimiento que se sumen a los que ya son públicos sobre el tema en cuestión (Simons, 2011).
- Tiene la posibilidad de generalizar a partir de lo particular, y donde el estudio exhaustivo de éste puede dar ideas de relevancia universal (Macdonald & Walker, 1975).
- Permite estudiar un fenómeno actual en su auténtico contexto, en especial cuando los límites entre el fenómeno y el contexto no son claramente evidentes (Yin, 1994).
- Permite analizar muchas variables de interés, abastecerse de múltiples fuentes de pruebas, y darle prioridad al desarrollo de proposiciones teóricas para orientar la recolección de datos (Yin, 1994).
- Permite utilizarse para distintos propósitos de la investigación, ya sea para estudios exploratorios, descriptivos o explicativos (Yin, 2009).
- Principalmente se utiliza para responder a preguntas de investigación de la forma ¿cómo? y ¿por qué? (Yin, 2009).
- No necesita tener un ambiente controlado para el comportamiento de los eventos (Yin, 2009).
- Se centra principalmente en estudios de eventos contemporáneos (Yin, 2009).

Debido a las características de la metodología mencionadas anteriormente, se opta por utilizar ésta como base para la investigación. Específicamente, esta metodología responde de manera correcta a la tres condiciones necesarias: el tipo de pregunta de investigación, el control del investigador sobre el comportamiento de los eventos y el foco de lo contemporáneo por sobre lo histórico del fenómeno.

3.1.2 Fuentes de evidencia

La evidencia a la que se accede al realizar un estudio de caso y la información disponible en ésta puede obtenerse de diferentes fuentes. Específicamente para esta investigación, los distintos tipos de información disponibles son provenientes de:

documentación, archivos de registro, entrevistas, observaciones directas, observaciones participativas y encuestas. En la Tabla 3-1 se pueden apreciar las fuentes de información y las ventajas que éstas poseen.

Tabla 3-1: Fuentes de evidencia y características

Tipo de fuente	Evidencia	Ventajas	Desventajas
Documentos	Reportes: “Novedades Diarias Coordinador”	Estables Exactas Amplia cobertura	Acceso Obtención
	Consolidación de KPI’s de empresas contratistas		
Archivos de registro	Informes mensuales de Gestión Preparación Minas (OT)	Estables Exactas Amplia cobertura Precisos Cuantitativos	Acceso Obtención Privacidad
	Estudios de tiempos de empresas contratistas de obras		
Encuestas	Encuesta de la implementación a las empresas contratistas	Orientadas Definidas	Parcialidad
	Encuestas de detenciones a las empresas contratistas		
Entrevistas	Evaluación de la organización mediante LCPP por el equipo desarrollador	Orientadas Flexibles Exploratorias	Sesgo Precisión
	Evaluación del modelo de implementación por el equipo desarrollador		
Observación directa	Visitas a terreno	Tiempo real Integral	Recursos empleados Selectivo
Observación participativa	Trabajo en terreno como miembro del equipo desarrollador	Tiempo real Integral Exploratorio	Recursos empleados Selectivo Influyente

No obstante, considerando todos los beneficios provenientes de las distintas fuentes de evidencia, éstos pueden ser maximizados si se siguen tres principios fundamentales (Yin, 2009):

a) Uso de múltiples fuentes de información

Una de las ventajas de utilizar la metodología de estudio de caso es que permite al investigador darle mayor robustez a la investigación, brindándole la oportunidad de usar distintas fuentes de evidencia. Es decir, la mayor ventaja es que permite desarrollar líneas convergentes de investigación, la cual es un proceso de triangulación y corroboración de la información. En la Figura 3-1 se ilustra el proceso de triangulación de la evidencia con las distintas fuentes de información.

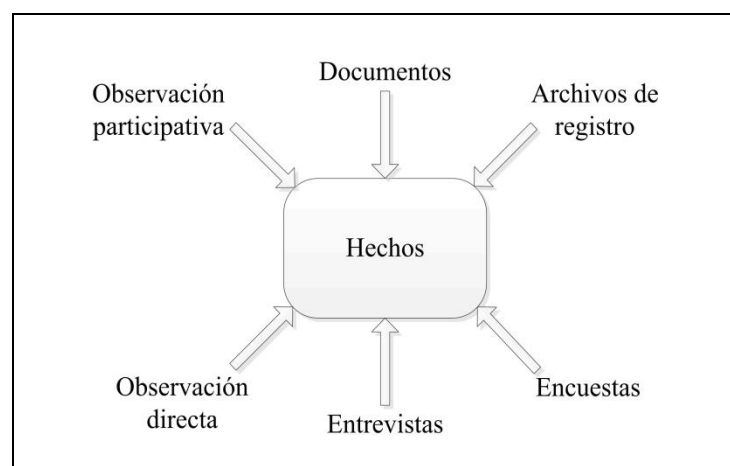


Figura 3-1: Triangulación de evidencia. (Yin, 2009)

b) Creación de una base de datos del estudio de caso

Parte importante de la investigación es poder ordenar y mantener la información de manera confiable. Es decir, es primordial poder separar y dar a conocer en la investigación cuál es información obtenida del estudio de caso sin ser alterada por el investigador y cuál es información que ha sido modificada producto del análisis. En definitiva es tener dos colecciones de información:

- Datos y/o evidencia base

- Análisis y reporte del investigador

En la Tabla 3-2 se presentan las fuentes de información en la investigación y las colecciones a las cuales pertenecen.

Tabla 3-2: Bases de datos de la investigación

Colección	Fuentes de información
Evidencia base	Documentos
	Archivos de registros
	Encuestas
	Entrevistas
	Observaciones
Análisis	Análisis estadístico de indicadores
	Análisis de encuestas
	Interpretación de entrevistas
	Evaluaciones

c) Mantener una cadena de evidencia

Para poder establecer una consistencia durante la investigación y darle mayor confiabilidad a ésta, es necesario que exista una conexión explícita a través de la pregunta de investigación, la información y datos recolectados, y las conclusiones obtenidas. En la Figura 3-2 se muestra la lógica que existe en mantener la cadena de evidencia.

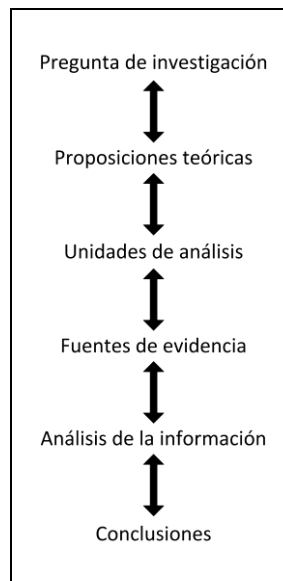


Figura 3-2: Lógica de la cadena de evidencia. (Yin, 2009)

3.1.3 Técnicas de triangulación de los resultados

Para desarrollar una investigación exitosa es necesario poder triangular los resultados. Es decir, es fundamental que se desarrolle de tal manera que permita obtener evidencia de dos o más fuentes de información y que converjan en el mismo hecho o resultado (Yin, 2009). Además, para darle validez a la investigación, existen distintas técnicas analíticas que se pueden adoptar para dar respuesta al estudio en cuestión. Las más utilizadas son (Yin, 2009):

- Coincidencia de patrones: técnica que compara una base empírica de patrones con una predicción de ellos.
- Relaciones causales: técnica similar a la coincidencia de patrones pero tiene como objetivo brindarle una explicación a los datos observados.
- Series temporales: técnica que analiza distintos patrones y cómo éstos se comportan en el tiempo.
- Modelos lógicos: técnica que deliberadamente estipula una compleja cadena de eventos sobre un periodo de tiempo. Es decir, conjetura secuencialmente distintas causas y efectos.

- Casos cruzados: técnica que analiza la posible similitud y relación que existe entre distintos casos de estudio.

Para analizar los resultados, no sólo basta con distintas fuentes de evidencia y la triangulación correcta, sino que se recomienda usar información cualitativa y cuantitativa. Si se tiene información cuantitativa y es sometida a análisis estadístico, al mismo tiempo que se considera la información cualitativa, se puede obtener una estrategia de análisis más robusta. La información cuantitativa es valiosa por al menos dos razones. En primer lugar, los datos cubren el comportamiento o eventos que el caso de estudio quiere explicar, es decir, las “salidas” en un caso de estudio evaluativo. En segundo lugar, la información puede ser relacionada a una unidad de análisis para un caso de estudio más amplio. En cualquiera de las dos situaciones, la información cualitativa puede ser crítica explicando o probando las proposiciones teóricas del caso de estudio (Yin, 2009). De este modo, se obtiene una estrategia de análisis consistente y poderosa, considerando información cualitativa y cuantitativa.

3.2 Descripción de los casos de estudio

Para analizar la implementación de metodologías *lean* en proyectos de desarrollo minero y cómo éstas impactan en la ejecución de éstos, se utilizaron tres casos de estudio. Los casos de estudio considerados son la ejecución de tres proyectos distintos realizados por tres empresas diferentes. No obstante, dichos proyectos se efectúan en la mina El Teniente bajo el mismo mandante, la Dirección Preparación Mina de División El Teniente de CODELCO (DPM).

Para la realización de la implementación, la DPM contrató al Centro de Excelencia en Gestión de Producción UC (GEPUC) con el propósito de mitigar y solucionar los problemas que tenían con los contratistas, principalmente asociado a la falta de productividad. Entonces, GEPUC desarrolló junto a la DPM un proyecto que se denominó “Programa de Mejoramiento de Productividad mediante Implementación de Filosofía *LEAN*”. Específicamente, el objetivo general era apoyar a la DPM (corporación y contratistas) en la implementación *lean* por medio de metodologías y herramientas que promueven la mejora continua y eliminación de pérdidas en los

procesos, aumentando la productividad de éstos a través del involucramiento de los contratistas.

El “Programa de Mejoramiento de Productividad mediante Implementación de Filosofía *LEAN*” consideraba variadas actividades separadas en cuatro etapas principales, las cuales se muestran en la Figura 3-3.

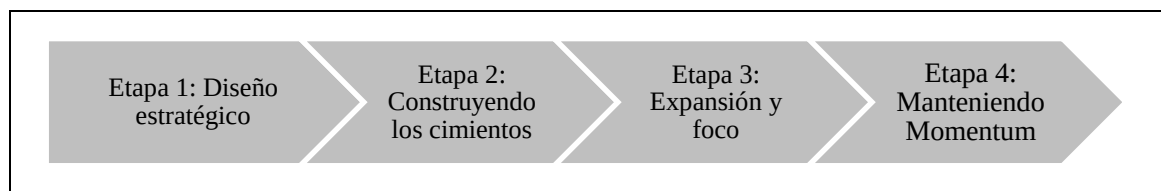


Figura 3-3: Programa de transformación *lean*. (GEPUC, 2012b)

Cada etapa en el programa de mejoramiento presentaba diferentes objetivos, los que se detallan brevemente en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Objetivos generales del programa. (GEPUC, 2012b)

Etapas	Objetivo
Etapa 1: Diseño estratégico	Comprender el propósito, funcionamiento e interacciones de la empresa (fotografiar el ahora) junto con definir los lineamientos estratégicos de la transformación lean (objetivos, indicadores, actores claves, etc).
Etapa 2: Construyendo los cimientos	Entrenar a los actores claves de la implementación, comunicar los objetivos y estrategia de la transformación y comenzar la implementación en proyectos pilotos.
Etapa 3: Expansión y Foco	Involucrar a toda la organización motivando la implementación en todas las áreas de la empresa. En esta etapa la capacitación es realizada por los actores claves de la empresa (con el apoyo de GEPUC).
Etapa 4: Manteniendo el <i>momentum</i>	Asegurar la mantención de la transformación en el tiempo. Lean forma parte de la cultura de la empresa.

Sin embargo, para la realización de la investigación, comprensión de la implementación de filosofía *lean* en un proyecto de desarrollo minero y el respectivo análisis de impacto, se consideran sólo las dos primeras etapas del programa de mejoramiento.

Por otra parte, para la ejecución de las dos primeras etapas del programa de mejoramiento, se considera un programa de trabajo que contempla una duración total de ocho meses aproximadamente. Específicamente se establece que la primera etapa debería desarrollarse en dos meses de trabajo y la segunda etapa en seis meses de trabajo.

3.2.1 Caso N°1

Para referirse a este caso de estudio, el proyecto se denominará proyecto N°1 que es realizado por la empresa N°1. Este proyecto es considerado como parte de “Las Obras de Preparación Minera de Largo Plazo – Mina Esmeralda”.

El proyecto N°1 considera distintos tipos de trabajo, relacionados principalmente a:

- Desarrollos horizontales
- Desarrollos verticales
- Puntos de extracción
- Piques
- Montajes de buzones
- Montajes de ventiladores

Además, el proyecto N°2 considera trabajos en los siguientes niveles al interior de la mina:

- Nivel de producción
- Nivel de acarreo
- Subnivel de ventilación

Dentro de los antecedentes característicos de este contrato se destaca que el plazo considera 1825 días, con un costo de \$66.646.513.381 pesos. Además, cabe especificar que este contrato no ha sufrido modificaciones de plazo ni costo.

3.2.2 Caso N°2

Para referirse a este caso de estudio, el proyecto se denominará proyecto N°2 que es realizado por la empresa N°2. Este proyecto es considerado como parte de “Las Obras de Preparación Minera de Largo Plazo – Mina Reservas Norte”.

El proyecto N°2 considera distintos tipos de trabajo, relacionados principalmente a:

- Desarrollos horizontales
- Desarrollos verticales
- Puntos de extracción
- Puntos de vaciado
- Piques
- Montajes de buzones
- Montajes de ventiladores

Además, el proyecto N°2 considera trabajos en los siguientes niveles al interior de la mina:

- Nivel hundimiento
- Nivel producción
- Nivel acarreo
- Subnivel de ventilación

Dentro de los antecedentes característicos de este contrato se destaca que el plazo considera 1825 días, con un costo de \$78.723.984.047 pesos. Además, cabe especificar que este contrato no ha sufrido modificaciones de plazo ni costo.

3.2.3 Caso N°3

Para referirse a este caso de estudio, el proyecto se denominará proyecto N°3 que es realizado por la empresa N°3. Este proyecto es considerado como parte de “Las Obras de Preparación Minera de Largo Plazo – Mina Esmeralda”.

El proyecto N°3 considera distintos tipos de trabajo, relacionados principalmente a:

- Desarrollos horizontales
- Desarrollos verticales
- Puntos de extracción
- Piques

Además, el proyecto N°2 considera trabajos en los siguientes niveles al interior de la mina:

- Nivel hundimiento
- Nivel producción

Dentro de los antecedentes característicos de este contrato se destaca que el plazo considera 1795 días, con un costo de \$73.902.540.000 pesos. Además, cabe especificar que este contrato no ha sufrido modificaciones de plazo ni costo.

3.3 Diagnóstico inicial de los casos de estudio

Con el fin de identificar el contexto en el cual se desempeñan los distintos casos de estudio y diagnosticar las necesidades que se requieren, se realizaron distintas actividades de evaluación inicial. Las actividades que se incluyen en el diagnóstico y el levantamiento general de la información son: Revisión de documentos y antecedentes, Sesiones con distintos involucrados, Talleres iniciales, Entrevistas y Visitas a terreno.

3.3.1 Principales problemas

Los principales problemas que se detectaron según las actividades realizadas son (GEPUC, 2012a):

a) Uso del tiempo

Entre las razones por las cuales el uso del tiempo es el aspecto peor evaluado se encuentran:

- Mala planificación diaria, generando desorden y poca claridad en las cosas que hay que hacer. Implica un foco en “apagar incendios” más que en coordinar y organizar el trabajo futuro.

- Desorden en el trabajo, generado a todos los niveles (cliente, administración, supervisión). Esto implica imprevistos que generan ineficiencias.
- Problemas de traspaso de información entre turnos, en coordinaciones y en temas logísticos. Producto muchas veces de una mala comunicación.
- Falta tiempo para reunirse a coordinar, aunque también existen muchas reuniones que son inoficiosas, pues los compromisos generados (si es que se establecen) no se cumplen ni respetan.
- Canchas de trabajo (condiciones para empezar labores) no están listas, o incluso la información entregada sobre el estado en que se encuentra una frente no es correcto. A esto se suma que mucho trabajo previo no es productivo, sólo el 40% es efectivo.
- Grandes pérdidas de tiempo en traslados necesarios hasta posturas (entrada, colación, salida).
- Cargas de trabajo mal distribuidas.
- Incentivos relacionados al uso eficiente del tiempo no existen.
- Comunicación entre frente de trabajo e instalación de faena es deficiente (complica la solución de problemas e imprevistos).
- Las detenciones de equipos y los tiempos de mantención/repación generan tiempos muertos importantes.
- Las interferencias con la producción de la mina afectan negativamente. Por ejemplo, durante la noche es posible producir más porque no hay tantas interferencias internas y del cliente (menor cantidad de gente).

b) Planificación

Entre las razones por las cuales la planificación está entre los aspectos peor evaluados se encuentran:

- Nunca o muy pocas veces se cumple lo planificado. Cumplimiento de programa está muy bajo.
- Los programas por lo general son impuestos, desde el cliente hasta terreno. La DPM impone el plan a las EECC (anual y mensual), los administradores y

profesionales a los responsables de la operación (mensual, semanal), y los supervisores a los trabajadores (diario). Adicionalmente no siempre están alineadas las directrices de los actores antes mencionados.

- Los programas son exigentes y con alta variabilidad, lo cual implica que cada uno de los participantes en la “cadena de planificación” trate de homogeneizar y nivelar las demandas para hacer más eficiente el uso de recursos.
- Procesos de planificación son “desagregados”, sin hacerse en equipo. Cada uno de los responsables hace su programa y se lo traspasa o informa al resto. No se realiza una planificación participativa. Esto ocurre a todos los niveles, dentro del cliente, entre el cliente y las EECC, y en las EECC (oficina técnica, administrador, jefes de terreno, jefes de nivel y jefes de turno).
- Planificación operativa no es estructurada, metódica o incluso periódica. Falta de rigurosidad en planificar y controlar.
- En la planificación operativa no participan quienes más relación tienen con el trabajo que se debe hacer (jefes de nivel y turno muchas veces no participan en planes semanales). Por contraparte, se considera que hay mucho involucrado que “no aporta”. También se percibe una falta de involucramiento de la gerencia en la planificación operativa.
- La planificación de obra muchas veces no considera los insumos y la logística. A nivel de administración se ve en la escasa participación las áreas de adquisiciones en el proceso de planificación de construcción o minería. En terreno esto se refleja en que en las reuniones de planificación semanal no participa nadie de bodega.
- Falta de capacidad para distinguir entre lo “urgente” y lo “importante”. Esto implica trabajar reactivamente, no planificada y anticipadamente. Se refleja en una baja capacidad de anticipación de quienes planifican. Las restricciones “aparecen” cuando los trabajos quedan incompletos.
- No existe trazabilidad entre los distintos niveles de planificación. Por ejemplo, los turnos no entregan el mismo nivel de información, dado que el turno de noche entrega más información que el de día.

- Al revisar los incumplimientos de los programas se buscan culpables en vez de buscar causas raíces, lo que también se ve afectado porque las personas se comprometen a más de lo que realmente pueden hacer.
- Muchas veces se programa y luego se hacen cosas totalmente distintas en terreno, sin existir un aprendizaje y retroalimentación del porqué.
- Se han realizado muchas reprogramaciones debido a que el plan no es flexible. (Ej: “A la fecha se ha reprogramado 10 veces el plan maestro”). Esto se puede deber a que el programa no se valida con el cliente.
- Mala calidad en la ejecución ha llevado a hacer muchos trabajos dos veces, impactando en los planes.

c) **Resultados e indicadores**

Entra las razones por las cuales los resultados e indicadores están entre los aspectos peor evaluados se encuentran:

- Los indicadores de seguridad, calidad y plazo han sido malos. La seguridad en especial ha sido un tema sensible en lo que va de los contratos.
- Hay un desconocimiento generalizado de los indicadores y más aún de su interpretación y su uso orientado al control.
- Indicadores transversales de DPM recién se están implementando. Aún falta definir un indicador de productividad transversal.
- Indicador más utilizado y conocido en terreno (cantidad de disparos) atenta contra resultados de otros indicadores como calidad y seguridad.
- Baja productividad en las EECC. Se está bajo los rendimientos esperados por ellas. Enfoque en cumplir metas (producción) pero sin analizar los recursos utilizados para ellos (productividad y eficiencia).
- Muy pocas horas efectivas de producción.
- Importante cantidad de personas que están trabajando ahora no tienen experiencia en minería subterránea, y se requiere un tiempo para capacitarles y lograr los resultados esperados.
- Falta control. La calidad y capacidad de la supervisión es baja.

- Problemas de abastecimiento, servicios y logística (hormigones, materiales atrasados, entregas discontinuas, piques disponibles para botar marina). Problemas de transporte de materiales, es difícil cumplir con el abastecimiento desde plataforma a interior mina.
- Capacidad de profesionales que están administrando contratos/proyectos, se requiere que tengan un rol más gerencial y no tan operativo.
- Alineamiento y enfoque de las partes. El cliente y su representante (DPM) requieren de metros cuadrados habilitados para la producción de cobre, y las EECC se enfocan en sus flujos económicos y avanzar lo más “rentable” posible. Esto refleja una mala definición de los incentivos y lineamientos por parte del mandante.
- Programas no se han cumplido, lo que ha resultado en proyectos poco rentables.
- Compleja relación entre las partes involucradas.
- Problemas de planificación, poco realistas y demasiado exigentes.

d) Sistema de Gestión

Entra las razones por las cuales los sistemas de gestión están entre los aspectos peor evaluados se encuentran:

- Excesivos sistemas por parte del cliente. Sistemas muy burocráticos (exceso de papeleo), con gran cantidad de normas, procedimientos, protocolos, instructivos, reglas y especificaciones. Es muy complejo poder dominarlas todas para trabajar como se espera que se haga, además de que cambian constantemente.
- Nadie lee todos los procedimientos y reglamentos, por lo que se vuelven “inútiles”. Por lo general muchos de los sistemas y procedimientos sólo se utilizan para el “cierre” del proyecto/contrato, no utilizándose en el transcurso de la ejecución de éste.
- Muchos procedimientos, instructivos y protocolos no reflejan la realidad de lo que ocurre o debería ocurrir en terreno. Son sólo copias de otros documentos similares.

- Sistemas actuales no ayudan a solucionar los problemas de forma rápida, además de no brindar el apoyo suficiente para solucionar algunas cosas.
- Diferentes sistemas, gran variedad tecnológica, con diferentes objetivos y niveles de tecnicismo y capacidad. Pero, sigue siendo lo más utilizado las tablas de análisis de datos (Excel), lo que dificulta la trazabilidad y consolidación de información para análisis.
- Los diferentes sistemas existentes (del cliente y las EECC) en general no son percibidos como amigables, además de considerarse necesario un mayor nivel de capacitación en ellos, así como de difusión de sus potencialidades, usos y utilidades. Por lo anterior tienen una baja tasa de uso, entre otras cosas por considerarse que quitan tiempo.
- Se percibe que existen excesivos datos, no tanta información, pero que se encuentra diseminada por varias partes, además de ser en su mayoría datos del pasado. Por lo que los sistemas no se ven como dinámicos, más bien se ven estáticos. Tampoco existe claridad que la información que se está llevando en los diferentes sistemas de gestión esté alineada con los objetivos, directrices y KPI's que espera tener el cliente.
- Cada cual quiere la información a su modo, por lo que se invierte mucho tiempo en intercambios de formatos, sin ver el fondo de las cosas o haciendo análisis para tomar control y pasar a la acción.

e) Uso y disponibilidad de recursos

Entra las razones por las cuales el uso y disponibilidad de recursos está entre los aspectos peor evaluados se encuentran:

- Recursos se programan en el día a día, careciendo de un análisis de más largo plazo.
- Para la coordinación y solicitud de algunos materiales provistos por el cliente las coordinaciones no son directas con DPM (el cliente), si no que a través de su representante en terreno, la ITO.

- Mala asignación de recursos, especialmente del recurso humano. No se asigna personal a las áreas más necesarias, o se asigna de manera desbalanceada. Existe la percepción de que la mano de obra existente es excesiva, pero mal utilizada.
- Problemas de stock en las bodegas y en la entrada de materiales (restricciones horarias y logísticas). Falta consolidar las bodegas y pañoles. Se presentan problemas reiterativos y urgentes, y no existe abastecimiento adecuado.
- Principales problemas están en las obras civiles, el proveedor de hormigón y la gestión del hormigón están afectando seriamente la ejecución de los trabajos.
- Para los equipos faltan operarios, así como se presentan problemas en la obtención de licencias para operación de los mismos.
- Equipos mayores deben ser escoltados, lo que limita el libre desplazamiento o capacidad de respuesta más rápida. Además, variadas veces no se cuenta con suficientes vehículos para cumplir esa función de escolta.
- Distancias de traslado para reabastecimiento de petróleo son muy extensas, consumiendo mucho tiempo, inutilizando el equipo. Equipos en reparaciones menores también consumen mucho tiempo. Cuando un equipo no está en el frente (por cualquier razón), una cuadrilla completa queda sin trabajo.
- Información de la ubicación de los equipos al fin-inicio de un turno no es confiable. Se dejan en diferentes lugares y es mal informada su posición.
- Existe una baja disponibilidad de equipos, y el factor de utilización es bastante bajo, se cuenta con una flota sobre-dimensionada producto de las constantes fallas. Muchos equipos están detenidos únicamente debido a malas coordinaciones y mala planificación. La confiabilidad de maquinaria actual no es buena (ej: de algunos equipos mayores disponibles sólo son confiables el 40%).
- Falta más personal de mantenimiento de equipos.
- Se observa mal uso de materiales, herramientas y equipos. Y existe la sensación de libertad de acción hacia el mal uso de los recursos.

3.3.2 Principales oportunidades

Las principales oportunidades que se identificaron según las actividades realizadas y los problemas detectados son (GEPUC, 2012a):

a) Mejorar los procesos de planificación y coordinación

Se requiere mejorar el proceso de planificación que genera los planes estratégicos, tácticos y operacionales, especialmente en cuanto a hacer estos procesos participativos, incluyendo a los diferentes involucrados. A nivel estratégico se requiere incluir en los planes anuales a quienes los ejecutarán, es decir, las EECC. A nivel táctico se requiere que los programas y planes desarrollados principalmente por las EECC cuenten con la participación del cliente (DPM), pues son éstos quienes tienen mayor posibilidad de liberar restricciones, y ése es el principal foco que debiese tener este nivel. A nivel más operativo, se requiere mejorar la bajada de los planes anteriores a la ejecución de los trabajos, y para ello es fundamental contar con la participación de los responsables últimos del trabajo en las instancias de coordinación y planificación (supervisores en reuniones semanales de planificación).

Adicionalmente hay un alto potencial de mejora en el perfeccionamiento de la forma en la que se está traspasando la información.

Por oportunidades de mejora en coordinación también se refiere a la coordinación diaria. Ésta debe ser más operativa, donde la fluidez y claridad en la toma de decisiones puede ser optimizada. Lo mismo ocurre con la gestión logística y de abastecimiento de recursos (equipos, herramientas y materiales). Principalmente se requiere estandarizar y ordenar algunos procesos, hábitos y estructuras existentes.

b) Mejorar la comunicación entre los actores

La bajada comunicacional, y la retroalimentación desde terreno es una de las principales oportunidades que se observan en la forma en que se está trabajando actualmente. Se observa claramente una desconexión entre los distintos niveles de las organizaciones, partiendo desde el cliente y llegando hasta los trabajadores.

Uno de los eslabones más relevantes en esta cadena de flujo de información son los supervisores, por lo que trabajar con ellos en temas comunicacionales es clave.

Así también, existe una importante oportunidad en la generación de confianzas entre cliente y contratista, a través de la generación de los canales adecuados de comunicación.

Trabajar en instancias en las que ocurre este intercambio de información, y se genera comunicación, es relevante para lograr impactos. Por lo tanto, la oportunidad de generar cambios al intervenir los traspasos de turno, las instancias de coordinación, u otros, es muy importante.

c) Conocimientos y usos de información de procesos

Actualmente se podría considerar que algunos procesos (administrativos y operativos) se manejan en descontrol, pues se desconocen los tiempos asociados, indicadores de seguimiento, o medidas de control posible. El lograr transparentar y definir indicadores, tiempos de ciclo y puntos de apalancamiento de los principales procesos de la preparación mina se ve como un paso inicial relevante para lograr los objetivos que el cliente tiene.

d) Reducir las pérdidas operacionales

La calidad de los trabajos realizados aparece como un tema recurrente, por lo que disminuir el trabajo rehecho (producto de diversas razones) aparece como una oportunidad interesante.

Otro aspecto relacionado con las pérdidas que se producen en los procesos productivos tiene relación con la disponibilidad y uso de equipos, herramientas y materiales. Definir estrategias que mejoren la disponibilidad de los equipos claves se observa como una medida que generará impactos relevantes. Así mismo, la coordinación y aseguramiento del uso correcto y oportuno de herramientas y materiales emerge como atractivo de ser considerado.

El tema del orden, limpieza y estandarización del lugar de trabajo apoyaría parte de lo anteriormente expuesto.

El enfoque en el control y análisis de los tiempos del ciclo de producción diario, buscando optimizar y mejorar las horas productivas que se dan cada turno, es sin duda una de las oportunidades operacionales de más fácil identificación de acuerdo a la situación actual de DPM. Analizar las pérdidas por transporte y movimiento debe ser el foco inicial de cualquier mejora.

e) Lograr la consolidación de los equipos de trabajo

Como se ha mencionado, los equipos están en formación (por diversas razones), por lo que se encuentran en un momento clave para incentivar el liderazgo en los actores claves (administrador, jefes de área, jefes de terreno, jefes de turno, jefes de nivel) y reforzar el rol del supervisor, siendo éste un actor clave dentro del proceso productivo y del equipo de trabajo.

En línea con la oportunidad de mejorar la comunicación, se requiere trabajar en el equipo y la generación de confianza y armonización entre ellos.

f) Mejorar alineamientos entre las partes

Toda iniciativa para ser exitosa requiere de un foco y objetivo claro, por lo que el alineamiento y directrices son extremadamente relevantes para lograr los resultados esperados. Se ha observado que no existe claridad y entendimiento común sobre las directrices que rigen la producción de la preparación mina. Por ello, el trabajar en incentivos alineados acordes a los objetivos del proyecto y el cliente, clarificando metas y motivando una correcta priorización de actividades y procesos resulta ser esencial para generar cualquier cambio y mantener en el tiempo un rendimiento y desempeño de excelencia.

3.4 Plan de implementación

Luego de realizar el diagnóstico inicial de los casos de estudio, habiendo identificado los principales problemas en éstos y las posibles oportunidades, se definen las acciones que se implementarán, y las metodologías y herramientas aplicables.

3.4.1 Acciones

A continuación se detallan las acciones a implementar (GEPUC, 2012a):

a) Acción 1: Plan comunicacional

El objetivo es lograr la difusión y entendimiento del Programa de Mejoramiento de Productividad *lean* por parte de todos los que estarán relacionados con él, de forma directa e indirecta. Además, se promoverá conseguir y motivar los liderazgos necesarios para lograr el éxito en esta etapa del programa. Se desarrollará un Plan de Comunicación orientado a tres grupos objetivo: la Dirección, el grupo de intervención, y el público general.

b) Acción 2: Mejoramiento de planificación y coordinación

El objetivo de esta acción está orientado principalmente a lograr mejorar el cumplimiento del plan de producción del desarrollo mina (mensual/anual), conseguir una reducción de la variabilidad del cumplimiento de esos planes, y además mejorar la coordinación y comunicación entre los equipos, niveles, y actores involucrados en los procesos.

Se contempla el trabajo en dos niveles, el nivel Estratégico y el Táctico.

c) Acción 3: Estructuración de coordinación operacional

Los objetivos que se persiguen con esta acción son: estandarizar prácticas de trabajo y gestión para maximizar tiempo de trabajo efectivo; mejorar productividad a través de la coordinación; mejorar la comunicación entre los pares (Horizontalmente) y la bajada comunicacional (verticalmente); apoyar la transparencia y conocimiento de la planificación y coordinación visualmente.

d) Acción 4: Mejoramiento permanente en terreno

El objetivo de esta acción es identificar y reducir pérdidas en los procesos, a través del empoderamiento y participación de los trabajadores en la mejora continua, y con esto aumentar el porcentaje de tiempo productivo en las faenas. Lo que se busca con esta

acción es centrarse en los trabajadores para que éstos aprendan a través de la repetición a mejorar continuamente su lugar de trabajo, identificando pérdidas y oportunidades que antes no veían.

El foco que se tendrá son las “detenciones”, y el objetivo es reducirlas aumentando así las horas de valor agregado. Se harán análisis de anomalías productivas (foco en detenciones y pérdidas) a través de encuestas de detenciones y talleres de identificación de pérdidas, para luego hacer análisis de “causa – efecto” (Ishikawa, espina de pescado) y de causa raíz. Todo esto con el fin de implementar ciclos de mejora continua.

e) Acción 5: Optimización de procesos

El objetivo de esta acción es lograr la optimización de algunos procesos claves para el desarrollo de la minería subterránea, a través de la utilización de una herramienta visual organizada que permita entender y mejorar estos procesos, eliminando el desperdicio, entregando mayor valor esperado por el cliente y mejorando la productividad.

3.4.2 Herramientas y metodologías a implementar

Luego de haber definido las acciones que se desarrollarán en el Programa de Mejoramiento de Productividad mediante la Implementación de Filosofía *lean*, se detallan las herramientas y metodologías que se incluirán en éste. Cabe destacar que las herramientas y metodologías pueden ser transversales a las acciones a desarrollar, destacando que no son exclusivas de una sola acción por separado. De este modo, las herramientas y metodologías a implementar son:

- Identificación y reducción de pérdidas (Koskela, 1992)

Identificación y reducción de pérdidas se refiere a las metodologías que buscan identificar la causa raíz de los problemas, centrando su atención en reducir las actividades que no agregan valor. Puede basarse en diferentes tipos de análisis, tanto el seguimiento detallado del uso de recursos de distintas operaciones como la forma en que éstos se utilizan. Su aplicación surge principalmente como respuesta a reducir la variabilidad, sin embargo, es más efectiva la

implementación sistemática de éstas enfocadas sobre el proceso completo, permitiendo generar mejoras globales.

- Encuesta de detenciones (Alarcón, 1997)

La encuesta de detenciones es una herramienta de comunicación entre los supervisores de un proyecto, la cual surge por la necesidad de identificar y reducir pérdidas dentro de los proyectos. Su principal finalidad es identificar las pérdidas más frecuentes y las fuentes más frecuentes de pérdidas, permitiendo indagar en la causalidad de éstas. La utilidad de esta herramienta es que posibilita a conocer en forma sistemática la percepción general del equipo del proyecto, focalizando la atención de los supervisores en los procesos más relevantes y creando de paso una mentalidad de mejoramiento continuo. Además, motiva a la participación y compromiso de los involucrados.

- Sistema del Último Planificador (Ballard, 2000a)

El sistema del Último Planificador (SUP) es un sistema basado en los principios de *lean production*, el cual provee de herramientas de planificación y control efectivas en proyectos complejos, rápidos e inciertos. El sistema está diseñado para mejorar el control de la incertidumbre en los proyectos, aumentando la confiabilidad de la planificación y con eso mejorando los desempeños. El SUP basa su funcionamiento en realizar acciones en diferentes niveles del sistema de planificación, por lo que resulta esencial que quienes participan en el proceso de planificación asuman y mantengan compromisos confiables.

- Planificación por fases (Ballard, 2000b)

La planificación por fases es un mecanismo con el cual se refuerza el Sistema del Último Planificador, la cual intenta dar mayor participación, continuidad, coordinación e integración a las actividades de planificación. Su principal objetivo es potenciar el establecimiento de compromisos confiables, con el fin

disminuir la incertidumbre y aumentar la certeza en el cumplimiento de las actividades.

- Mapeo del flujo de valor (Rother & Shook, 1999)

El mapeo del flujo de valor es una herramienta que ayuda a visualizar y entender el flujo de material e información en la creación de un producto a través de la cadena de valor. La herramienta consiste en seguir el camino de la producción de un producto desde el proveedor al cliente, pudiendo representar de forma gráfica todos los procesos involucrados en el flujo de material e información. De esta forma, se mapea el estado actual, identificando las actividades que generan valor y las que no, para definir un estado futuro con el fin de reducir las actividades que no generan valor. Además, permite incluir a todos los trabajadores en la confección del estado futuro, incentivando la mejora continua dentro de la empresa (cultura) y mejorando la productividad por la eliminación de pérdidas.

- Implementación de “5S” (Ohno, 1988) y Control visual (Dos Santos et al., 1998)

La implementación de 5S y control visual es una herramienta de gestión que permite a los trabajadores estar informados respecto a lo que tienen que hacer durante el día, la situación en la que están y en qué situación deberían estar. Además, transforma el área de trabajo en un lugar limpio, ordenado, sin distracciones y seguro. Mantiene el área de trabajo de tal forma que se dispongan de las herramientas en el momento oportuno, en el lugar deseado y en el estado óptimo. Para esto, se utiliza mediante el principio de sistemas visuales, el cual busca controlar la producción incorporando a todos los trabajadores involucrados en ésta. Su principal aporte es permitir a los trabajadores participar activamente en la obtención del producto final, registrando los problemas diariamente, y generando soluciones inmediatas y continuamente.

- Mejoramiento continuo (Ballard & Howell, 1994)

El concepto de mejoramiento continuo se refiere a un proceso iterativo que permite implementar cambios sostenibles dentro del entorno. Independiente de la herramienta específica que puede ser utilizada (*TOC*, *DMAIC*, *PDCA*), promueve la mejora continua y el progreso en las condiciones de trabajo. Consiste básicamente en: seleccionar un proceso el cual puede ser mejorado; planificar un cambio identificando resultados esperados; implementar el cambio; describir y medir qué sucede realmente (verificar resultados); y evaluar los resultado con el fin de estandarizar los cambios o mejorarlos aún más.

3.4.3 Línea de tiempo de la implementación

Debido al periodo de duración de la implementación, no todas las herramientas se aplicaron al iniciar el proyecto. Específicamente, los primeros dos meses fueron destinados al diagnóstico inicial, a la identificación de las acciones a seguir y al lanzamiento del programa. Luego, en los meses siguientes, se fueron implementando las herramientas conforme a las necesidades de los proyectos. En la Figura 3-4 se muestra la línea de tiempo de la implementación y cómo ésta se inserta en el programa de mejoramiento a largo plazo.

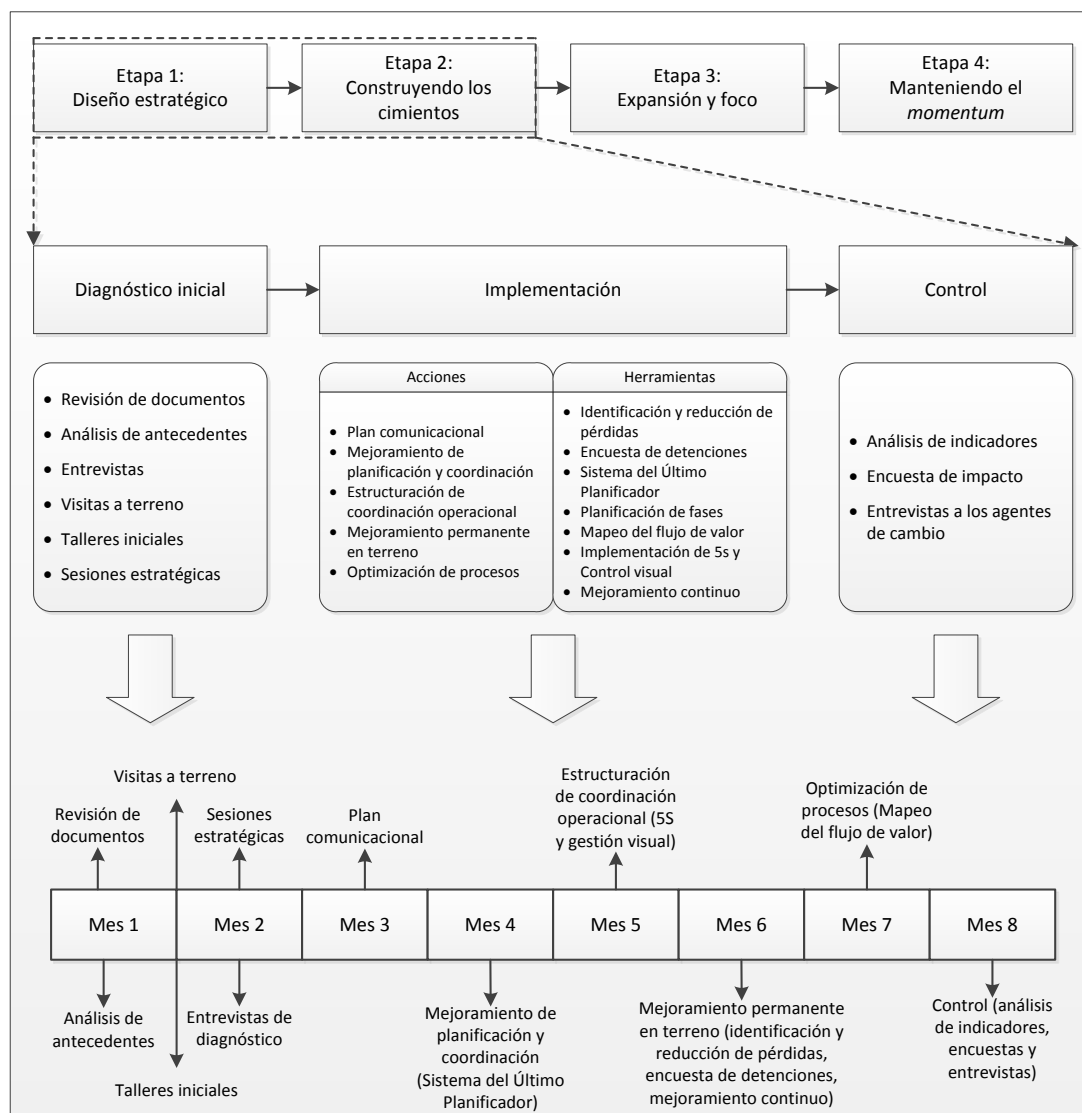


Figura 3-4: Esquema general y línea de tiempo de la implementación.

3.5 Diseño de la investigación

Se ha determinado, producto de las condiciones de la investigación y el proyecto asociado, utilizar la metodología de estudio de caso. Sin embargo, es sumamente importante establecer el diseño de la investigación que permita dar una vinculación lógica desde la pregunta de investigación hasta las conclusiones. Por otro lado, como el diseño de la investigación se basa en representar un conjunto lógico de aseveraciones, es necesario asegurar la calidad del diseño conforme a ciertas pruebas lógicas (Yin, 2009). Es decir, no sólo basta con tener evidencias de distintas fuentes de información y

realizar la triangulación correcta de los resultados, además hay que optar por ciertas tácticas que le den validez y calidad al diseño de la investigación. La forma más utilizada para evaluar la calidad del diseño de la investigación se basa en los siguientes aspectos (Kidder & Judd, 1986):

- Validez de constructo: se refiere identificar correctamente las medidas operacionales para los conceptos que son estudiados.
- Validez interna: se refiere a cuánta confianza se tiene en que los resultados del estudio sean posibles interpretarlos y que sean válidos (Hernández et al., 1998). Es decir, busca establecer relaciones causales entre una condición y otra.
- Validez externa: se refiere al dominio en el cual los resultados del estudio pueden ser generalizados.
- Confiabilidad: se refiere a demostrar que las operaciones realizadas en el estudio pueden ser repetidas obteniendo los mismos resultados.

Por lo tanto, el diseño de la investigación tendrá como sustento estos cuatro aspectos, a fin de desarrollar un estudio con la calidad deseada.

3.5.1 Estructuración del trabajo

El diseño de la investigación comienza con establecer la estructura de trabajo que se llevará a cabo para entender las implementaciones de filosofía *lean* en proyectos de desarrollo minero. En la Figura 3-5 se presenta la estructuración del trabajo en el desarrollo de la investigación:

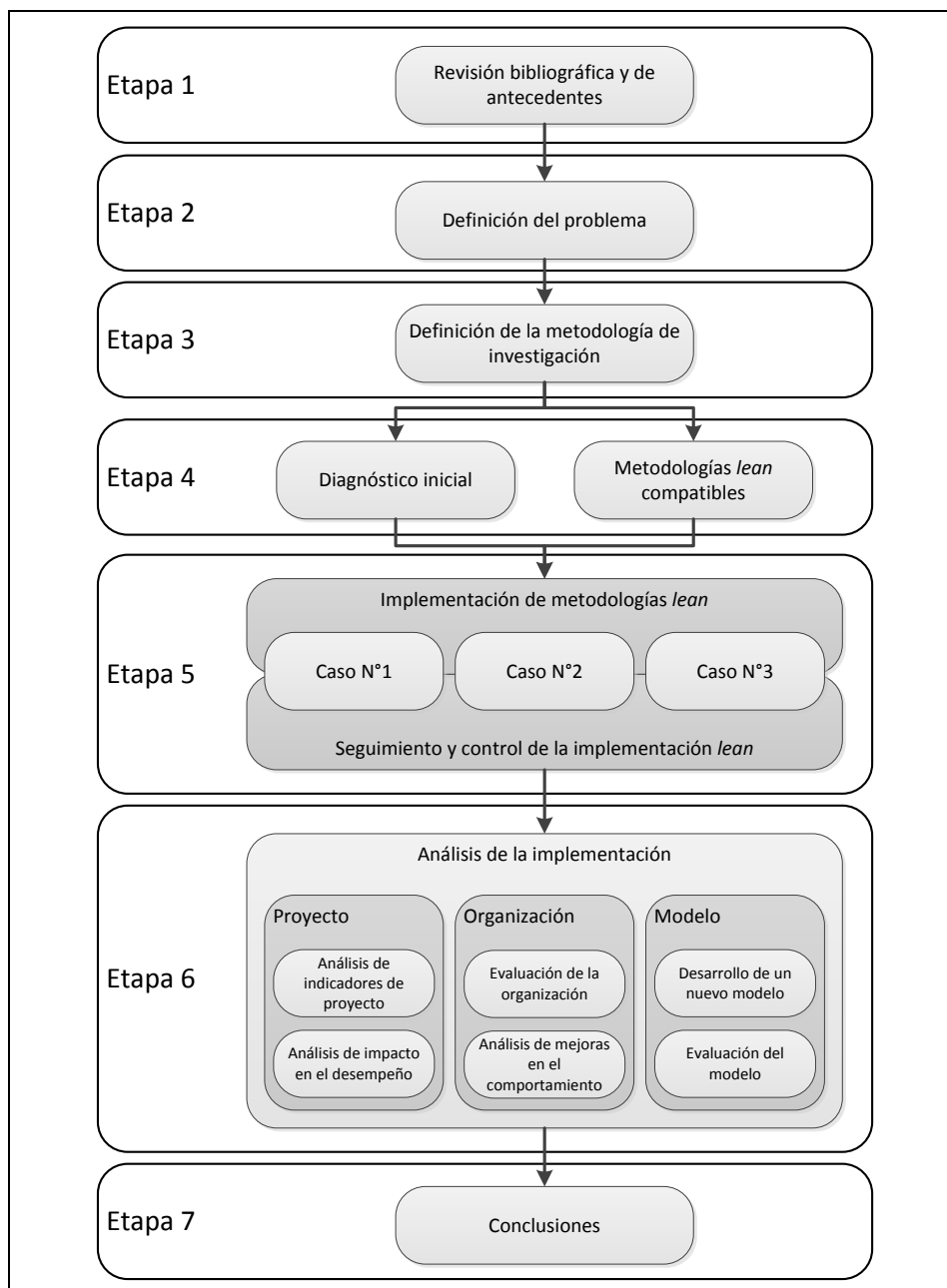


Figura 3-5: Estructuración del trabajo de investigación.

3.5.1.1 Etapa 1

Esta etapa consiste en una revisión detallada del estado del arte y de la práctica que justifique la propuesta de investigación. No obstante, la revisión bibliográfica se hará durante el desarrollo de toda la investigación. De este modo, se espera que al terminar esta etapa se logre tener una visión clara del contexto en el cual se desarrolla el

problema para poder definirlo. Específicamente, se podrá identificar la importancia que tiene la minería en Chile, las necesidades futuras que posee y cuál podría ser la metodología de gestión que permita entregar soluciones óptimas conforme a los requerimientos existentes y pronosticados.

3.5.1.2 Etapa 2

Esta etapa se caracteriza por definir el problema teniendo en cuenta el contexto identificado en la etapa anterior. De esta forma, se puede establecer una pregunta de investigación que permita establecer los primeros lineamientos de ésta. Del mismo modo, se establecen los objetivos que desean ser alcanzados con el desarrollo de la investigación y las hipótesis que se buscan demostrar. Al mismo tiempo, se establecen claramente las limitaciones en la cual está inserta la investigación y el alcance de la misma. Entonces, al finalizar esta etapa se tiene como resultado el propósito de la investigación a fin de poder desarrollar la próxima etapa, la cual consiste definir la metodología que se llevará a cabo.

3.5.1.3 Etapa 3

Esta etapa se basa en la definición de la metodología de investigación que determina cómo se llevará a cabo la investigación. Específicamente, recibe la definición del problema proveniente de la etapa anterior y establece un conjunto de etapas y actividades que deberán ser desarrolladas para terminar con éxito la investigación. En esta etapa se define el enfoque y las técnicas utilizadas para la recolección de datos; la forma en que medirán los datos, el tipo de análisis que se va a realizar; y la forma de interpretar los resultados. Al finalizar esta etapa se deja establecida claramente la metodología a seguir, lo que permite comenzar con la implementación de metodologías *lean* en los distintos casos de estudio, la correspondiente toma de datos y análisis preliminar de los diferentes resultados.

3.5.1.4 Etapa 4

Esta etapa consiste en la definición del diseño estratégico que contempla la implementación de metodologías *lean* en los distintos casos de estudio. Para esto, se

contemplan dos actividades relevantes: diagnóstico inicial y metodologías *lean* compatibles. Estas actividades se realizan simultáneamente, en donde se busca emparejar las necesidades de las empresas en el diagnóstico inicial con las metodologías *lean* disponibles y compatibles. Entonces, al finalizar esta etapa, se obtiene la definición estratégica de la implementación, considerando planificación estratégica, programa, indicadores a evaluar, línea base de proyecto, entre otros.

3.5.1.5 Etapa 5

Esta etapa consiste en la implementación de herramientas y metodologías *lean* que se realizarán en los casos de estudio. Para esto, se prevé que se realizarán talleres informativos sobre la filosofía *lean*, talleres colaborativos en donde los trabajadores aprendan a utilizar las herramientas, talleres interactivos en donde ellos propongan sus propias soluciones y asesorías de cómo implementar los cambios. Además, contempla un trabajo guiado durante toda la duración del programa de implementación, considerando seguimiento y control de las diferentes actividades involucradas. Sin embargo, esta etapa está sujeta a cambios a la vista de las necesidades que vayan surgiendo y según cómo los involucrados respondan al cambio. Al finalizar esta etapa se obtienen nuevamente datos suministrados por el mandante que puedan compararse con los datos obtenidos inicialmente. Entonces, al finalizar esta etapa, se tendrá información suficiente para identificar el antes y el después, a fin de medir el impacto de la implementación.

3.5.1.6 Etapa 6

Esta etapa consiste en el manejo de la información luego de realizar la implementación, el análisis de los resultados y la primera aproximación a las posibles conclusiones.

En análisis de información está orientado en tres diferentes áreas: proyecto, organización y modelo. El área de proyecto se centra principalmente en el análisis de los indicadores de los proyectos, medidos a través de indicadores de procesos. Así, busca determinar el impacto producido en el desempeño de los proyectos. El área de organización busca determinar cómo es afectado el desempeño de la organización en la ejecución de los proyectos. Para esto considera evaluaciones a las organizaciones a

través de encuestas y entrevistas, analizando las mejoras en el comportamiento. Finalmente, el área de modelo se basa en desarrollar un modelo de implementación que contenga mejoras con el modelo actualmente utilizado.

3.5.1.7 Etapa 7

Esta es la etapa final de conclusiones, las cuales reflejan el resultado de todo el proceso antes mencionado y que identifica los resultados más importantes. De este modo, destaca el por qué suceden las cosas y establece recomendaciones a futuras implementaciones. Es decir, intenta establecer el proceder para nuevas implementaciones, siendo la línea base de cómo transformar un proyecto minero normal a uno con principios *lean* en sus procesos.

3.5.2 Diseño operacional

Con la estructuración del trabajo definida, se precisa el diseño operacional que se empleará para realizar la investigación. El objetivo primordial de éste es mantener una cadena de relaciones directa entre la pregunta de investigación, las proposiciones teóricas, las variables, las medidas operaciones, las fuentes de información, el análisis y las conclusiones (Hernández et al., 1998; Yin, 2009). La Figura 3-6 muestra el diseño operacional de la investigación.

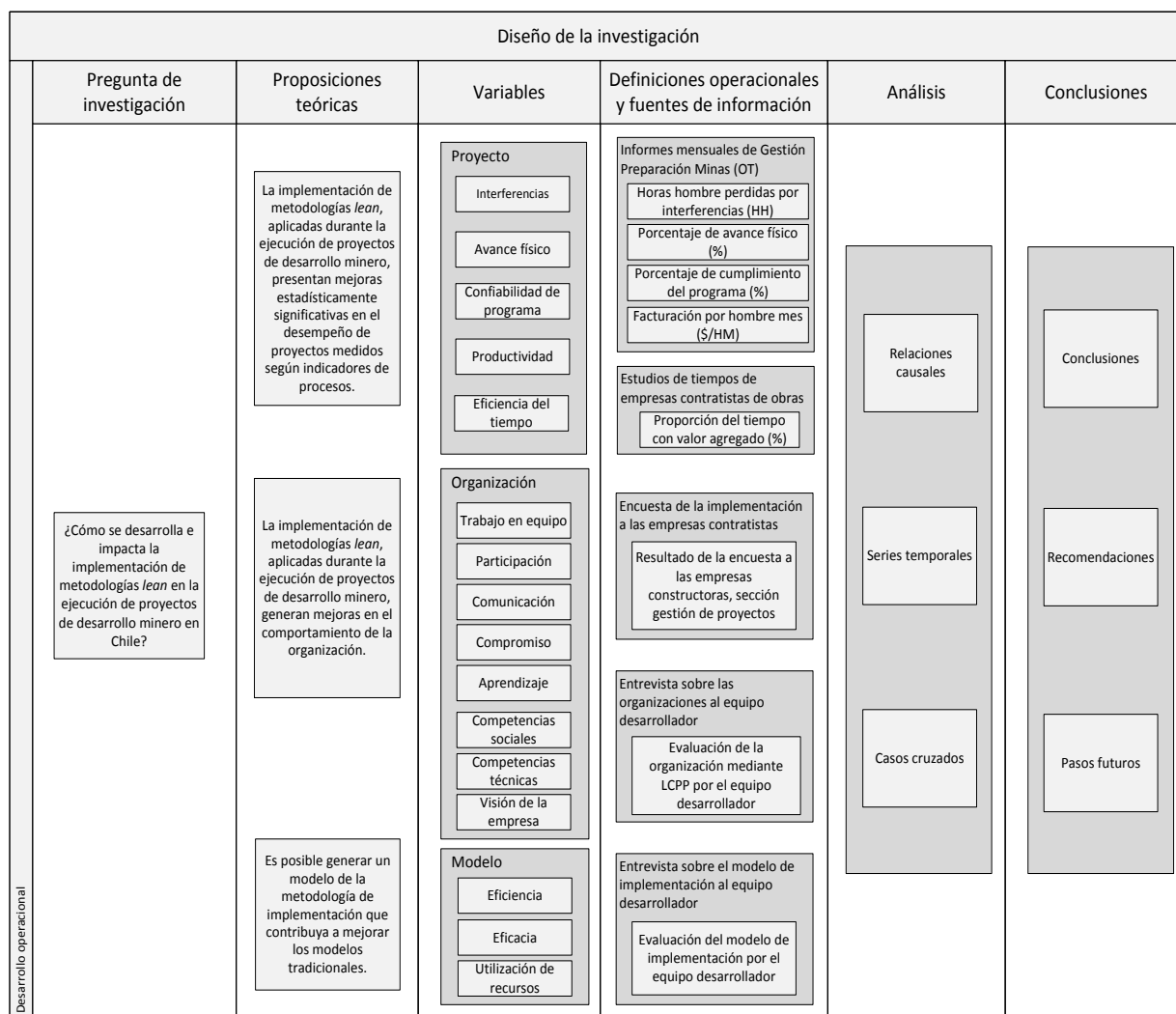


Figura 3-6: Diseño operacional de la investigación

3.5.3 Descripción de las variables

Una variable es una propiedad que puede variar y cuya variación es susceptible de medirse. Además, las variables utilizadas en la investigación deben ser comprensibles, precisas y lo más concretas posibles (Hernández et al., 1998). Por lo tanto, es indispensable definir las variables que son incluidas en la investigación bajo estos criterios para que ésta pueda ser desarrollada. Más aún, las variables deben definirse de manera conceptual y operacional. La Tabla 3-4 detalla las variables de interés en la investigación, destacando las definiciones antes mencionadas.

Tabla 3-4: Descripción de las variables asociadas a la investigación.

Enfoque	Variable	Definición conceptual	Definición operacional
Proyecto	Interferencias	Tiempo que los trabajadores pierden al tener restricciones para realizar el trabajo	Horas hombre perdidas por interferencias al mes (HH)
	Avance físico	Cantidad de obra que se ha realizado en comparación con lo presupuestado	Porcentaje de avance físico al mes (%)
	Confiabilidad de programa	Relación que existe entre lo ejecutado respecto a lo programado	Porcentaje de cumplimiento de programa al mes (%)
	Productividad	Relación entre la producción y los recursos empleados	Facturación por hombre al mes (%/HM)
	Eficiencia del tiempo	Capacidad para utilizar el tiempo en actividades que agregan valor	Proporción del tiempo con valor agregado (%)
Organización	Trabajo en equipo	Desempeño colaborativo de un grupo de personas para obtener un resultado común	Resultado de la encuesta a las empresas constructoras, sección gestión de proyectos
	Participación	Intervención positiva de los trabajadores en una actividad	
	Comunicación	Facilidad de los trabajadores para compartir ideas y opiniones	
	Compromiso	Contribuir con las capacidades propias para lograr diferentes objetivos	
	Aprendizaje	Adquisición de conocimientos y tiempo empleado en ello	Evaluación de la organización mediante LCPP por el equipo desarrollador
	Competencias sociales	Habilidad de potenciar el desempeño de los trabajadores	
	Competencias técnicas	Teorías, herramientas y tecnologías para la actividad profesional	
	Visión de la empresa	Valores y objetivos de una organización que determinan sus futuras decisiones	
Modelo	Eficiencia	Relación entre los resultados y los recursos utilizados	Evaluación del modelo de implementación por el equipo desarrollador
	Eficacia	Capacidad para lograr los objetivos	
	Utilización de recursos	Cantidad de recursos utilizados	

3.6 Consideraciones metodológicas

Se ha mencionado anteriormente (capítulo 3.1.3) la forma en que se hará la triangulación de los resultados y el tipo de análisis que éste incluye. Sin embargo, es necesario especificar las consideraciones metodológicas que se emplearán para darle validez a ciertos tipos de análisis. Particularmente, dentro del análisis de series temporales, se procederá a realizar un análisis estadístico que permita justificar algún cambio percibido luego de realizar la implementación. Además, en el caso de las encuestas, será necesario tomar las consideraciones metodológicas correspondientes para brindarle precisión y mayor robustez a la herramienta. A continuación se detallan los aspectos más relevantes.

a) Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico es necesario definir una hipótesis que se desea probar. Entonces, para verificar si esta hipótesis estadística planteada acerca de la población debe ser aceptada o no, es necesario hacer una prueba de significación, un contraste de hipótesis o una prueba estadística. De esta forma, todo contraste va a implicar la comparación entre dos hipótesis a la luz de la información muestral. Como resultado, el investigador tomará una decisión (Martín, 2001).

Es importante señalar que para tamaños de muestra pequeños, inferiores a 30, las violaciones de las hipótesis paramétricas se hacen más críticas, por lo que las pruebas no paramétricas se muestran más apropiadas (Martín, 2001). De esta forma, se considera que los métodos no paramétricos tienen aplicación más general que los paramétricos porque tienen requisitos menos restrictivos sobre medición de datos, y por la menor cantidad de supuestos necesarios acerca de la distribución de la población. Sin embargo, cuando se puede aplicar tanto un método no paramétrico como uno paramétrico, el primero es casi tan bueno como el segundo (Anderson et al., 2004).

En el caso de esta investigación, para determinar si la variación es significativa antes y después de la implementación, se realizará la prueba de *Wilcoxon-Mann-Whitney*. Esta prueba evalúa si dos grupos independientes fueron extraídos de la misma población. Por lo tanto, si se obtiene que los datos no fueran extraídos de la misma población, se asume

que ha habido un cambio significativo luego de realizar la implementación. Por otra parte, cabe destacar que esta prueba no paramétrica está asumiendo independencia de datos (Siegel & Castellan, 1995), suposición que puede no ser cierta del todo. Sin embargo, para el alcance de la investigación y las variables utilizadas, se asume que estas muestras son independientes.

b) Encuestas

Para entender el impacto en la organización que produce la implementación de metodologías *lean* en la ejecución de proyectos de desarrollo minero, se desarrollará una encuesta a las organizaciones involucradas (contratistas). La encuesta tiene el principal propósito de identificar el impacto que genera la implementación en la gestión del proyecto por parte de los equipos de trabajo. Sin embargo, también desea medir otros aspectos asociados a la investigación. Específicamente, busca relacionar los impactos producidos en los indicadores seleccionados con los impactos percibidos por los trabajadores, y rescatar la percepción de los equipos de proyectos respecto otros aspectos (metodologías, sugerencias, opinión general, etc.). Entonces, la encuesta está orientada principalmente a medir en qué ámbitos y en qué medida, la utilización de metodologías *lean*, contribuye a que las organizaciones se aproximen a mejores prácticas en la gestión de proyectos.

El objetivo principal es medir el impacto que tiene la utilización de metodologías *lean* en las organizaciones que ejecutan los proyectos, es decir, comparar la situación en la que trabajaban antes de la implementación con la que perciben después de ésta. Para esto, el objeto de estudio es el Programa de Mejoramiento de Productividad mediante Implementación de Filosofía *Lean*, el cual se ha explicado anteriormente en el presente documento (capítulo 3.2). Además, las unidades de estudio son todos los profesionales que pueden percibir los beneficios otorgados por la implementación de forma general, los cuales se consideran a los profesionales que representan un cargo de jefe de área. Por lo tanto, los parámetros relevantes de la muestra para la realización de la encuesta son los que se muestran en la Tabla 3-5:

Tabla 3-5: Parámetros relevantes de la encuesta.

Parámetro	Valor
Tamaño de la población (N)	19
Proporción esperada (p)	0,5
Confianza (Z)	95%
Error de estimación (e)	10%
Tamaño de la muestra requerida (n)	16
Tamaño real de la muestra a utilizar	18

c) Entrevistas

Las entrevistas semi-estructuradas se realizaron con el propósito de profundizar el entendimiento del impacto de las metodologías *lean* en el comportamiento de la organización, las cuales se aplicaron a los agentes de cambio que lideraban la implementación.

Para profundizar el entendimiento del impacto en la organización, el cual es producido por la implementación de metodologías *lean* en la ejecución de proyectos de desarrollo minero, se desarrollarán entrevistas semi-estructuradas a los agentes de cambio que lideraban la implementación en cada una de las empresas involucradas. Las entrevistas tienen el principal propósito de complementar a las encuestas en la medición del impacto de la implementación en los equipos de trabajo. De esta forma, las entrevistas están orientadas principalmente a medir en qué ámbitos y en qué medida, la utilización de metodologías *lean*, contribuye a que las organizaciones se aproximen a mejores prácticas en la gestión de proyectos.

El objetivo principal es medir indirectamente el impacto que tiene la utilización de metodologías *lean* en las organizaciones que ejecutan los proyectos, es decir, comparar la situación en la que trabajaban antes de la implementación con la situación después de ésta. Para esto, el objeto de estudio es el Programa de Mejoramiento de Productividad mediante Implementación de Filosofía *Lean*, el cual se ha explicado anteriormente en el

presente documento (capítulo 3.2). Además, las unidades de estudio son los agentes de cambio que lideraban la implementación en los distintos casos de estudio, los cuales pueden percibir los beneficios otorgados por la implementación de forma general. En este caso, eran nueve las personas que estaban en trabajo continuo con las empresas contratistas, por lo que las entrevistas se aplicaron exactamente a esas nueve personas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo tiene como objetivo exponer los datos obtenidos durante el desarrollo de la investigación y el análisis necesario para dar respuesta a la hipótesis y objetivos. Del mismo modo, presenta los resultados más relevantes para profundizar el entendimiento de implementaciones *lean* en proyectos de desarrollo minero, y cómo impactan en el desempeño de dichos proyectos y su organización. Finalmente, se propone un modelo de implementación que propone mejoras metodológicas respecto a los actuales.

4.1 Impactos de la implementación *lean* en el desempeño de los proyectos

Con el objetivo de evaluar correctamente cómo impacta la implementación *lean* en el desempeño de los proyectos, el análisis de los indicadores de los proyectos se efectuó de tres formas complementarias. Se efectuó una comparación de medianas, análisis de diagramas *boxplot* y pruebas de significancia.

Se realizó una comparación de medianas para identificar el cambio entre el antes y el después de la implementación. Con esta comparación, se pudo obtener una cuantificación real del cambio producido por la implementación. Para esto, se eligió particularmente la mediana por sobre la media para evitar posibles sesgos producto de la dispersión de los datos.

Por otra parte, se analizaron los diagramas *boxplot* de todos los indicadores para obtener de manera gráfica una comparación del conjunto de datos. Con esto, se esperaba dar respuesta a la interrogante sobre la existencia de diferencia real entre antes y después de la implementación, mediante una comparación visual del comportamiento de los indicadores.

Finalmente, para complementar el análisis, se efectuaron pruebas de significancia para determinar si la variación era estadísticamente significativa respecto al antes y al después de la implementación. Específicamente, se realizó la prueba no paramétrica de *Wilcoxon-Mann-Whitney* considerando una confianza del 95%. Esta prueba evalúa si

dos grupos independientes fueron extraídos de la misma población. Por lo tanto, si se obtiene que los datos no fueran extraídos de la misma población, se asume que ha habido un cambio significativo luego de realizar la implementación.

4.3.1 Interferencias

Con el fin de estudiar cómo impacta la implementación de metodologías *lean* en la ejecución de los proyectos y, específicamente, en el flujo del trabajo, se analizaron las horas de interferencias reportadas. Para esto, se valorizaron las interferencias en horas y se obtuvieron los datos de los informes denominados “Informe Mensual Gestión Preparación Minas” que realiza la Oficina Técnica. Además, se puede encontrar esta información más detallada en los informes “Novedades Diarias Coordinador” entregadas por la empresa de inspección técnica en obra.

Como línea base de este indicador se analizaron los informes antes mencionados, considerando los datos del año 2012 y principios del 2013. Específicamente se comparan los datos previos a la intervención (hasta septiembre de 2012) con los datos posteriores a ésta (desde octubre de 2012).

Como se detalla en las figuras a continuación, en los tres casos de estudio se generó un impacto positivo en las interferencias (reducción en la cantidad de HH detenidas por interferencias).

Para el caso de estudio N°1, la disminución fue en términos generales de más de 1.400 HH al mes, lo que equivale a una reducción de un 90% con respecto a la situación anterior, tal como se refleja en la Figura 4-1.

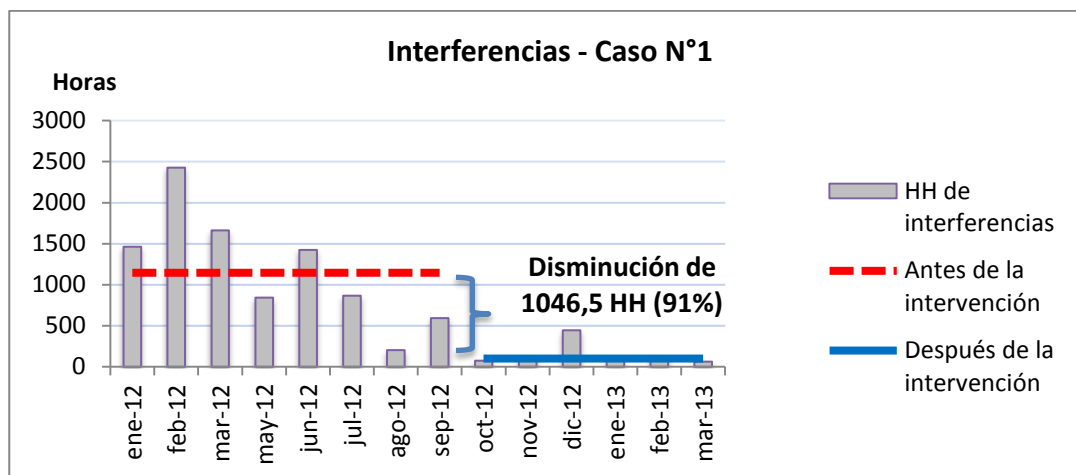


Figura 4-1: Impacto en las horas de interferencias reportadas en el Proyecto N°1.

Para el caso de estudio N°2, la disminución fue en términos generales de 990 HH al mes, lo que equivale a una reducción en un 75% con respecto a la situación anterior, tal como se refleja en la Figura 4-2.

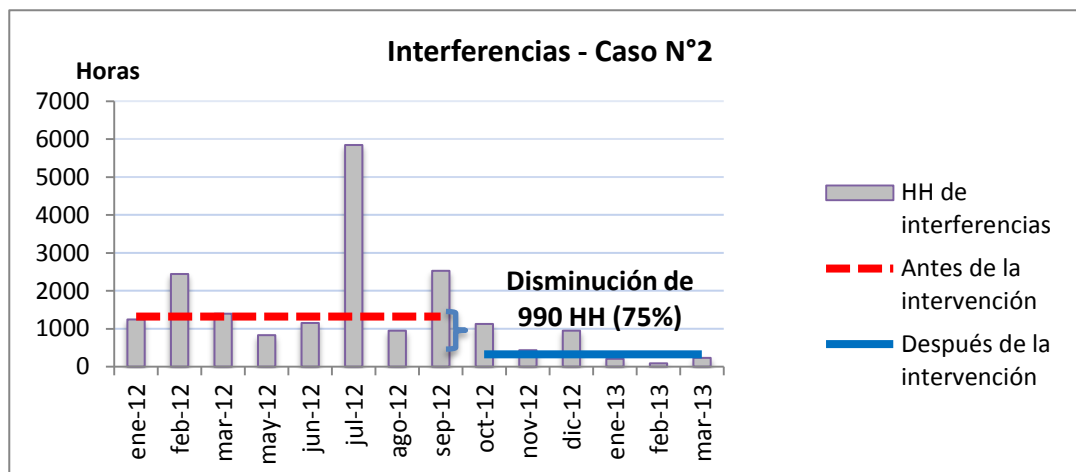


Figura 4-2: Impacto en las horas de interferencias reportadas en el Proyecto N°2.

Para el caso de estudio N°3, la disminución fue en términos generales de más de 1.600 HH al mes, lo que equivale a una reducción en un 78% con respecto a la situación anterior, tal como se refleja en la Figura 4-3. Sin embargo, se debe destacar que los datos obtenidos de este caso de estudio sólo tienen información de un mes antes de la

implementación, por lo que el resultado tiende a estar más sesgado a este caso particular que a casos generales.

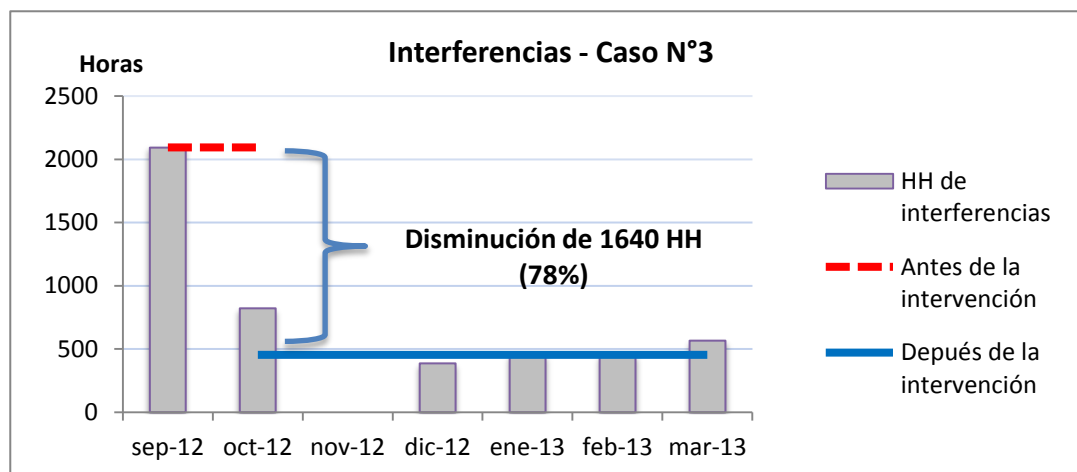


Figura 4-3: Impacto en las horas de interferencias reportadas en el Proyecto N°3.

En la Figura 4-4 se muestra un resumen del comportamiento de los datos del indicador Interferencias para los 3 casos de estudio, comparando el antes y el después mediante un diagrama *box-plot*.

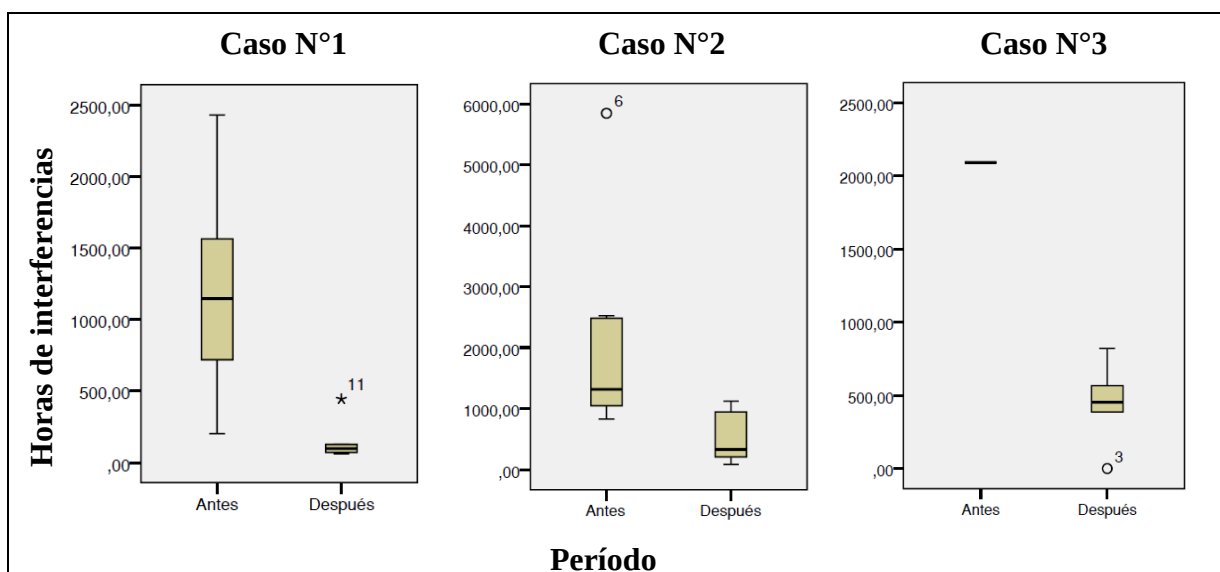


Figura 4-4: Diagrama *box-plot* para el indicador Interferencias en los casos de estudio.

4.3.2 Avance físico

Para analizar cómo impacta la implementación de metodologías *lean* en la ejecución del proyecto y, específicamente, en la producción, se analizó la cantidad de trabajo ejecutado mensualmente. Para esto, se calculó el porcentaje de avance físico ejecutado mensualmente respecto al total considerado en este análisis. En este caso, se obtuvieron los datos de los informes denominados “Informe Mensual Gestión Preparación Minas” que realiza la Oficina Técnica.

Como línea base de este indicador se analizaron los informes antes mencionados, considerando los datos del año 2012 y principios del 2013. Específicamente se comparan los datos previos a la intervención (hasta septiembre de 2012) con los datos posteriores a ésta (desde octubre de 2012). Como se detalla en las figuras a continuación, en los tres casos de estudio se generó un impacto positivo en el avance físico, identificando un aumento del avance en los meses durante la implementación.

Como se muestra en la Figura 4-5, para el caso N°1, el porcentaje de avance físico aumento en 2,5 puntos porcentuales (2,5%), lo que equivale a un aumento proporcional de 44% con respecto a los meses previos a la implementación.

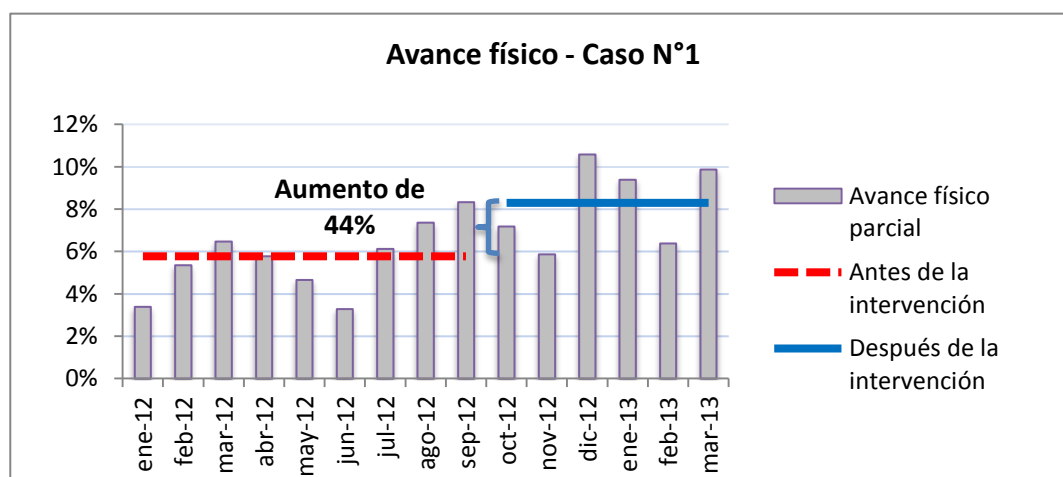


Figura 4-5: Impacto en el avance físico mensual en el Proyecto N°1.

Como se muestra en la Figura 4-6, para el caso N°2, el porcentaje de avance físico aumento en 2 puntos porcentuales (2%), lo que equivale a un aumento proporcional de 40% con respecto a los meses previos a la implementación.

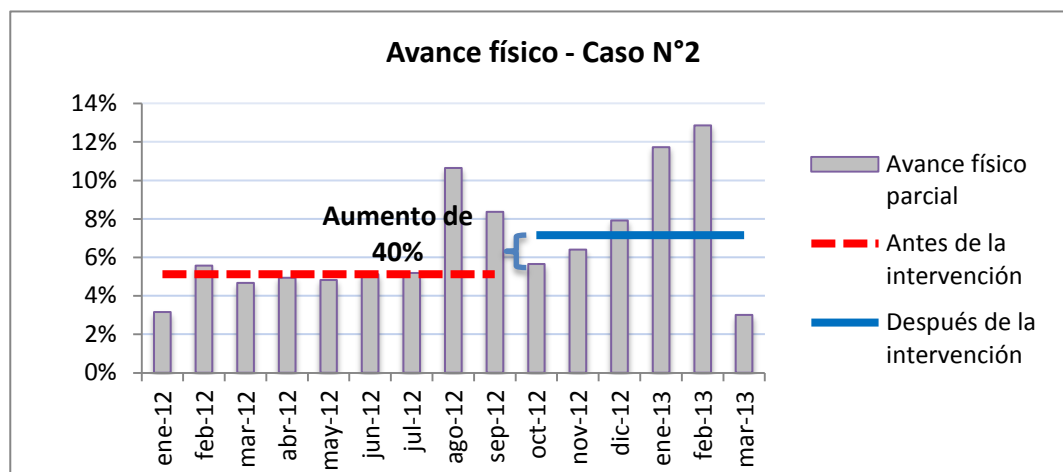


Figura 4-6: Impacto en el avance físico mensual en el Proyecto N°2.

Como se muestra en la Figura 4-7, para el caso N°3, el porcentaje de avance físico aumento en 3,7 puntos porcentuales (3,7%), lo que equivale a un aumento proporcional de 38,4% con respecto a los meses previos a la implementación.

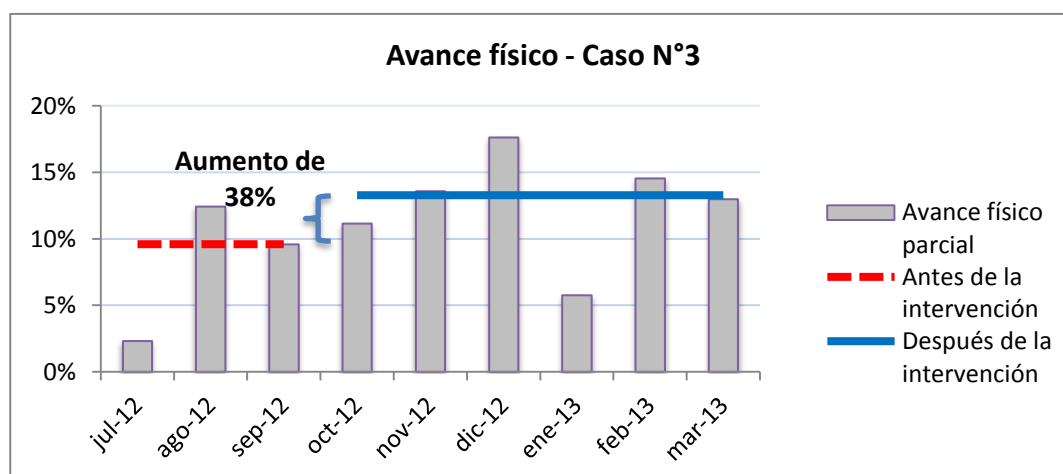


Figura 4-7: Impacto en el avance físico mensual en el Proyecto N°3.

En la Figura 4-8 se muestra un resumen del comportamiento de los datos del indicador Avance físico para los 3 casos de estudio, comparando el antes y el después mediante un diagrama *box-plot*.

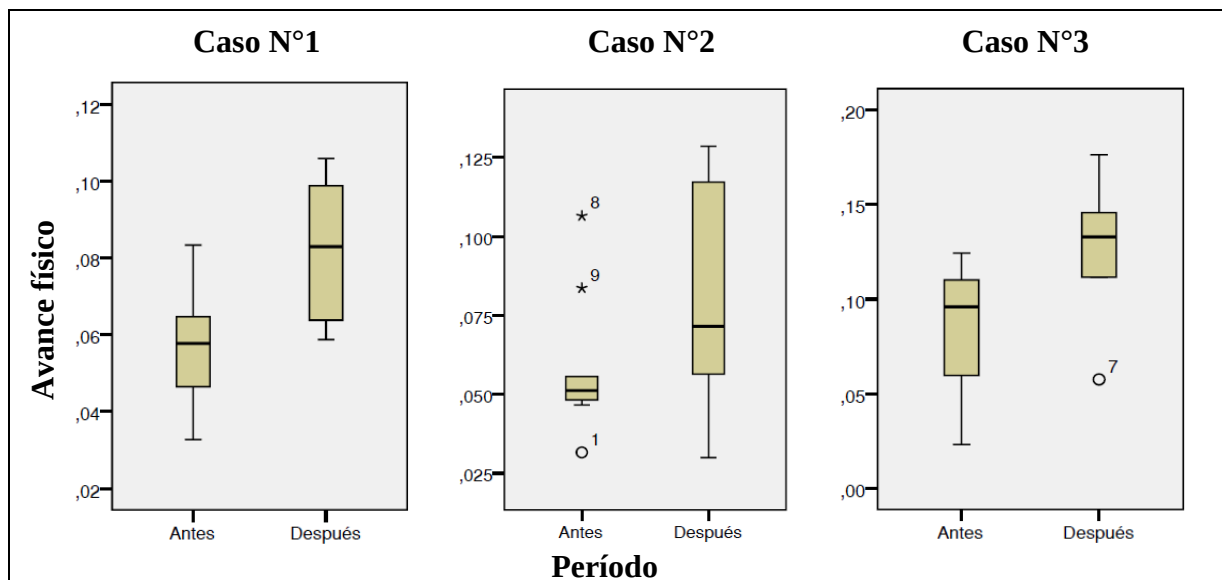


Figura 4-8: Diagrama *box-plot* para el indicador Avance físico en los casos de estudio.

4.3.3 Confiabilidad de programa

Se analizó el porcentaje de cumplimiento mensual del programa para las tres empresas contratistas involucradas en la implementación de metodologías *lean* en la ejecución de sus proyectos. Para definir el cumplimiento del programa mensual se realizó una comparación entre el “Avance efectivo mensual según programa” y el “Avance programado mensual”, considerándose los datos entregados en los informes denominados “Informe Mensual Gestión Preparación Minas” que realiza la Oficina Técnica.

Como línea base de este indicador se analizaron los informes antes mencionados, considerando los datos del año 2012 y principios del 2013. Específicamente, se comparan los datos previos a la intervención (hasta septiembre de 2012) con los datos posteriores a ésta (desde octubre de 2012). Como se detalla en las figuras a continuación, en sólo dos casos se generó un impacto positivo en el cumplimiento del programa, permitiendo aumentar la confiabilidad de éste (se aumentó la cantidad de

trabajo que se realizaba según lo programado). Existe un tercer caso que no presentó mejoras, presentando un cambio negativo.

Como se muestra en la Figura 4-9, para el caso N°1, la confiabilidad del programa disminuyó en 8 puntos porcentuales (8%), lo que equivale a una disminución proporcional de 17,2% con respecto a los meses previos a la implementación.

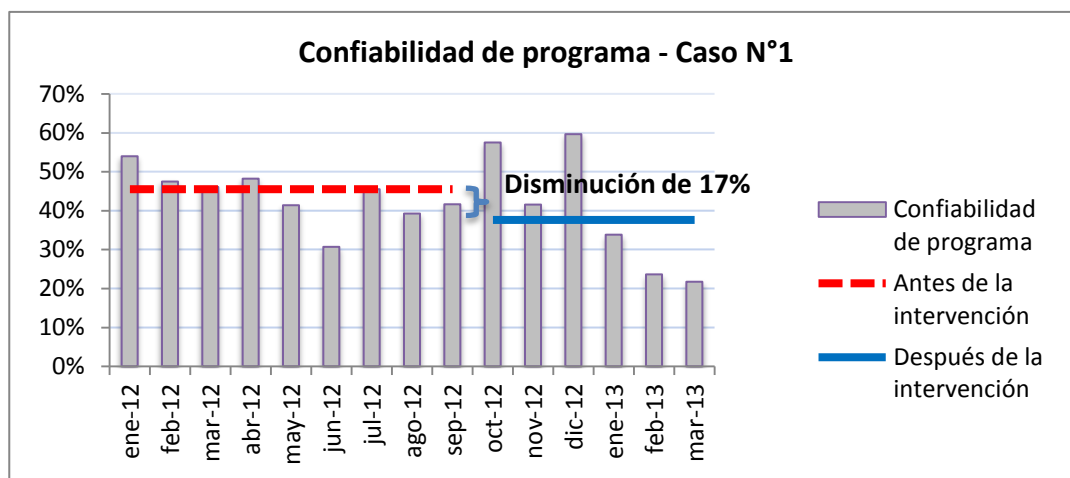


Figura 4-9: Impacto en la confiabilidad de programa en el proyecto N°1.

Para el caso de estudio N°2, la confiabilidad del programa aumentó en 14 puntos porcentuales (14%), lo que equivale a un aumento proporcional de 38,5% con respecto a los meses previos a la implementación. En la Figura 4-10 se presenta esta situación.

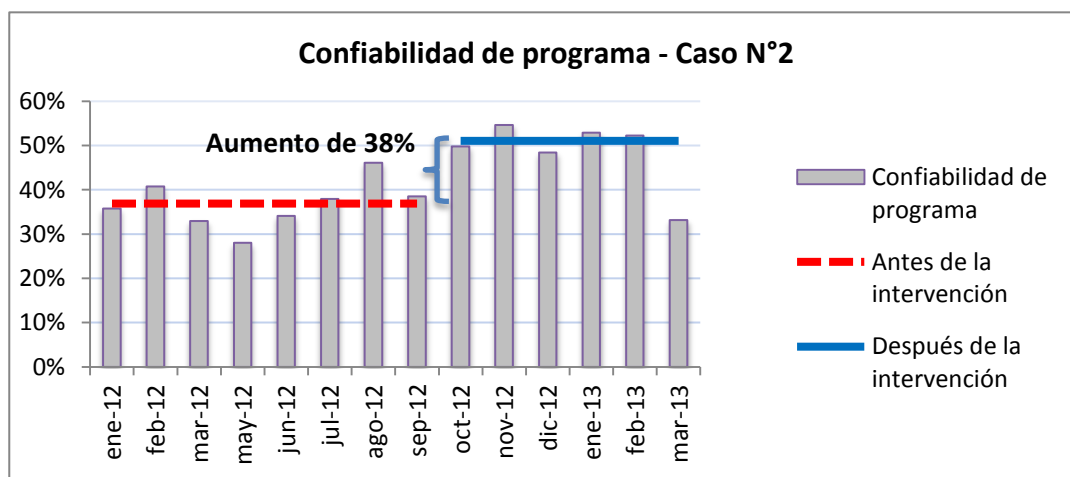


Figura 4-10: Impacto en la confiabilidad de programa en el proyecto N°2.

Para el caso de estudio N°3, la confiabilidad del programa aumentó en 18 puntos porcentuales (18%), lo que equivale a un aumento proporcional de 29,5% con respecto a los meses previos a la implementación. En la Figura 4-11 se presenta la situación antes mencionada.

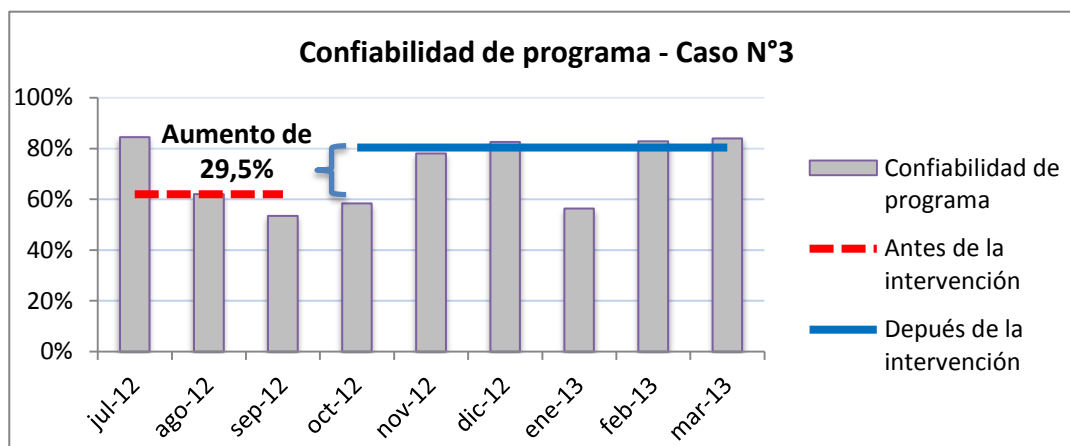


Figura 4-11: Impacto en la confiabilidad de programa en el proyecto N°3.

En la Figura 4-12 se muestra un resumen del comportamiento de los datos del indicador Confiabilidad de programa para los 3 casos de estudio, comparando el antes y el después mediante un diagrama *box-plot*.

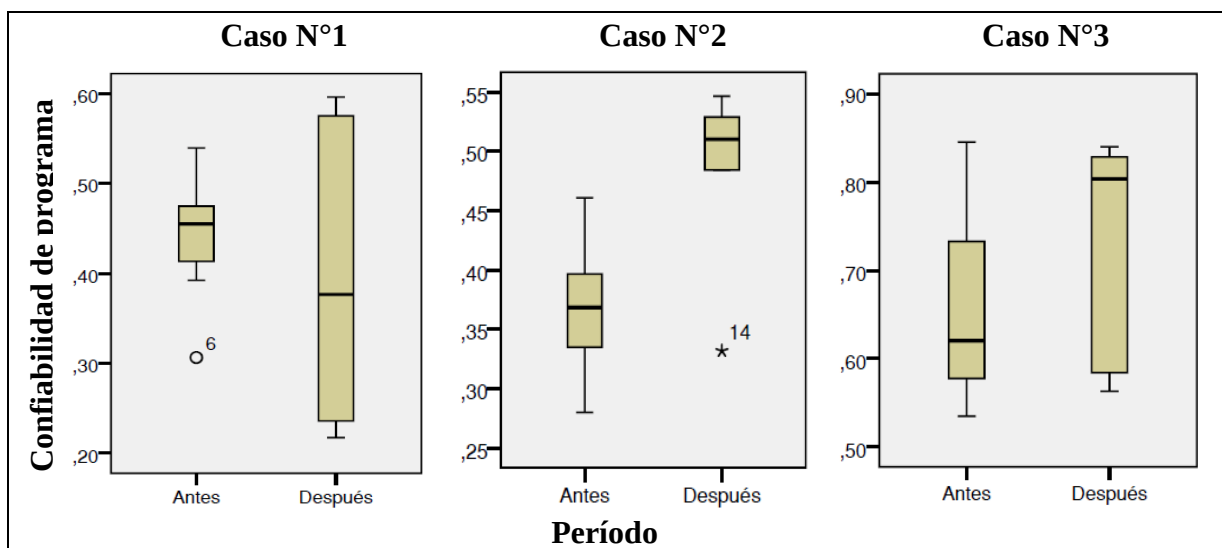


Figura 4-12: Diagrama *box-plot* para el indicador Confiabilidad de programa en los casos de estudio.

4.3.4 Productividad

El indicador de productividad utilizado se desarrolló en base a la facturación que tienen las empresas mensualmente, con el fin de establecer un indicador común que sea aplicable a cada empresa y proyecto (todos los casos de estudio). Específicamente, se define el indicador de productividad como “Facturación mensual por hombre mes (\$/HM)”. Para calcular este indicador se analiza la facturación mensual que tienen las empresas por sobre su dotación mensual, considerándose los datos entregados en los informes denominados “Informe Mensual Gestión Preparación Minas” que realiza la Oficina Técnica.

Como línea base de este indicador se analizaron los informes antes mencionados, considerando los datos del año 2012 y principios del 2013. Específicamente, se comparan los datos previos a la intervención (hasta septiembre de 2012) con los datos posteriores a ésta (desde octubre de 2012). Como se detalla en las figuras a continuación, en los tres casos de estudio se generó un impacto positivo en la productividad, registrándose un aumento de ésta.

Para el caso de estudio N°1, la facturación por hombre mes aumentó en aproximadamente \$1.400.000, lo que equivale a un aumento de 56% con respecto a los meses previos a la implementación. La Figura 4-13 refleja lo mencionado anteriormente.

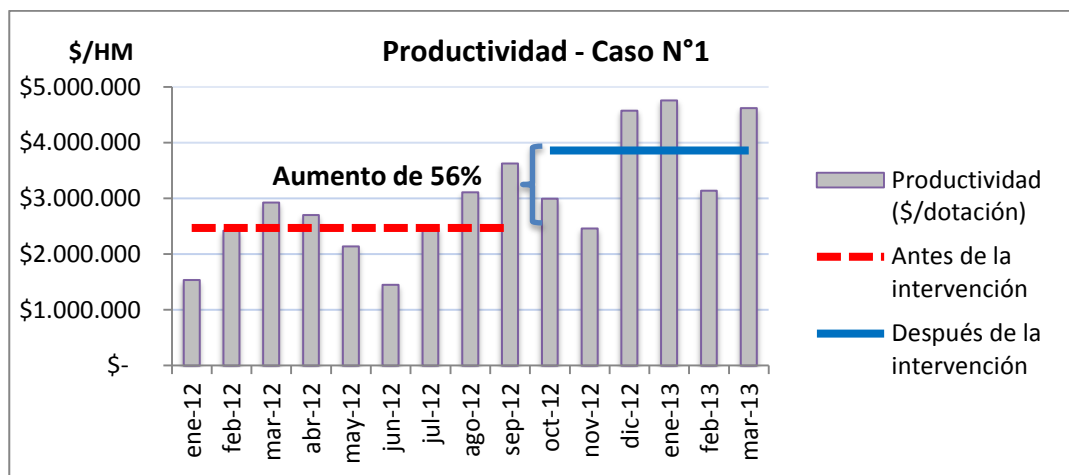


Figura 4-13: Impacto en la productividad (\$/HM) en el proyecto N°1.

Como se muestra en la Figura 4-14, para el caso de estudio N°2, la facturación por hombre mes aumentó en \$310.000, lo que equivale a un aumento de 14% con respecto a los meses previos a la implementación. Cabe destacar que sólo se han implementado cambios en un proyecto de la empresa N°2 (Proyecto N°2), el cual representa aproximadamente la mitad de la participación total de esta empresa. Por lo tanto, el aumento de la productividad en el proyecto N°2 debería ser aún más significativo, pero lamentablemente no se puede presentar debido a que no se cuenta con la dotación por proyectos de la empresa N°2. En la Figura 4-15 se muestra el efecto desagregado que tiene la productividad considerando sólo el proyecto N°2 y la dotación total de la empresa N°2. Bajo estos supuestos, la facturación por hombre mes aumentó en \$340.000, lo que equivale a un aumento de 37% con respecto a los meses previos a la implementación.

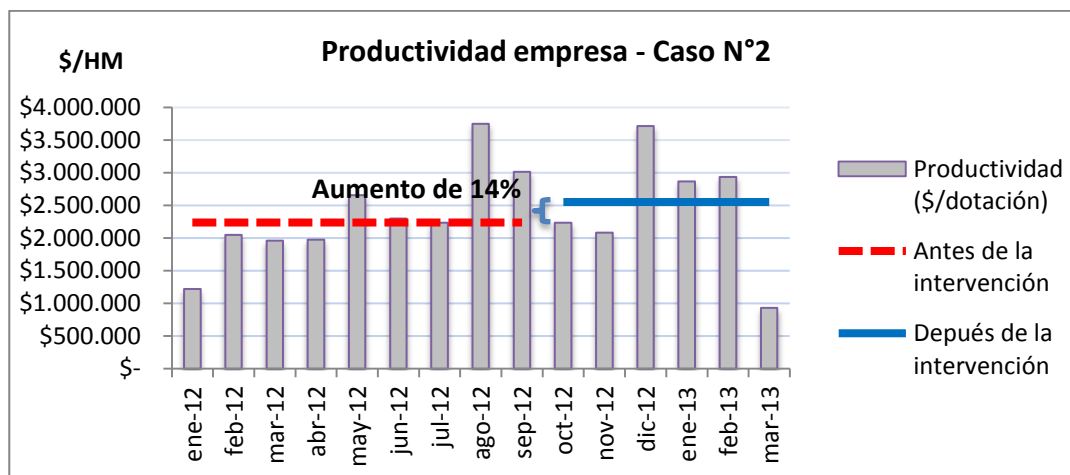


Figura 4-14: Impacto en la productividad (\$/HM) en la empresa N°2.

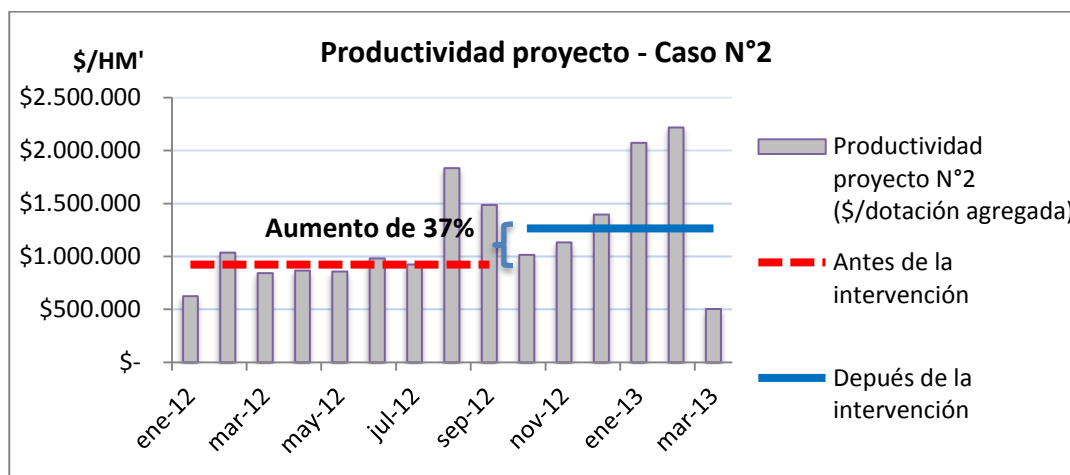


Figura 4-15: Impacto en la productividad (\$/HM) en el proyecto N°2, considerando la dotación de toda la empresa N°2.

Para el caso de estudio N°3, la facturación por hombre mes aumentó en aproximadamente \$360.000, lo que equivale a un aumento de 17% con respecto a los meses previos a la implementación. En la Figura 4-16 se ilustra la situación mencionada anteriormente.

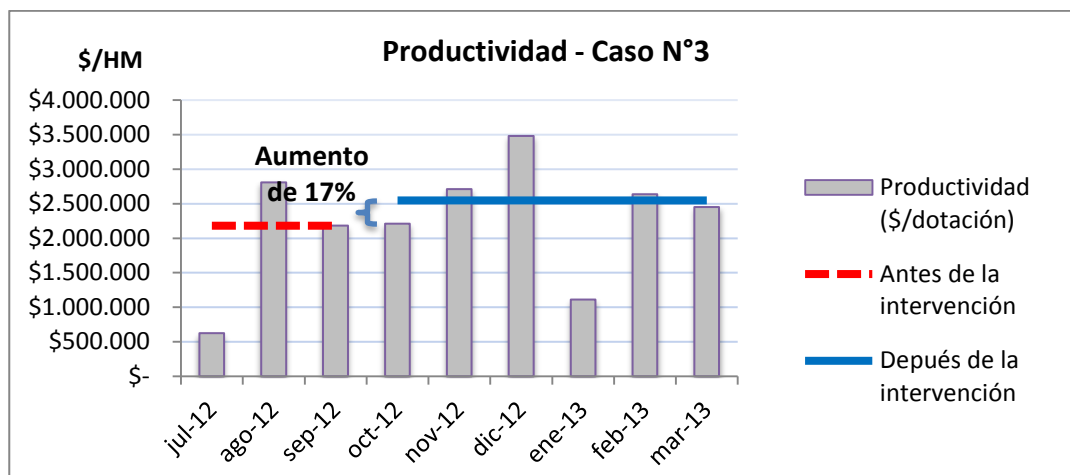


Figura 4-16: Impacto en la productividad (\$/HM) en el proyecto N°3.

En la Figura 4-17 se muestra un resumen del comportamiento de los datos del indicador Productividad para los 3 casos de estudio, comparando el antes y el después mediante un diagrama *box-plot*.

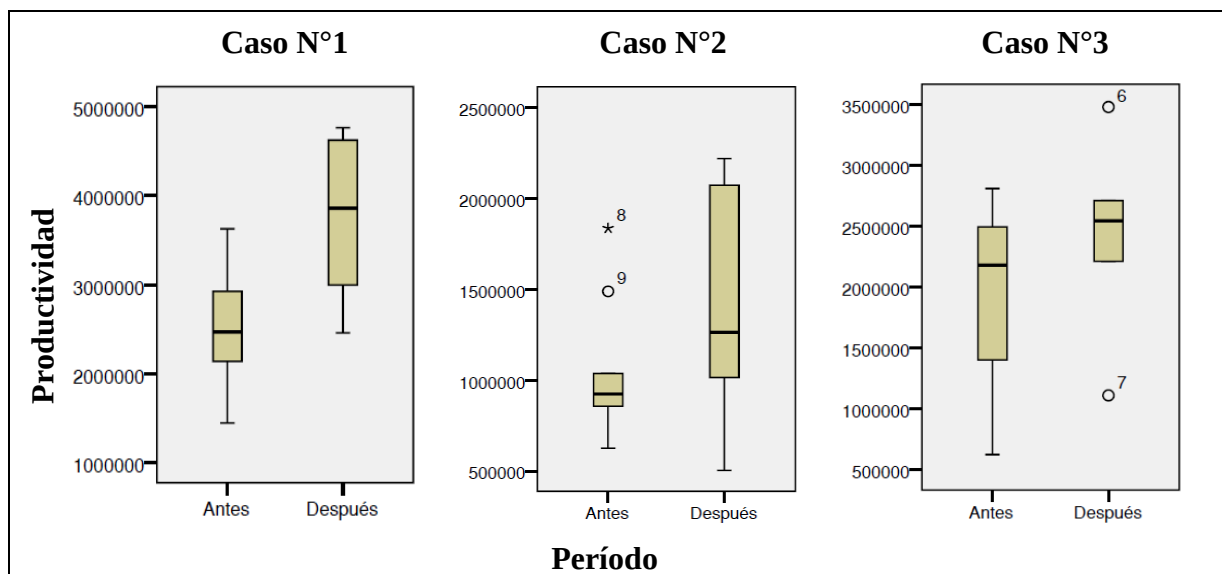


Figura 4-17: Diagrama *box-plot* para el indicador Productividad en los casos de estudio.

4.3.5 Eficiencia del tiempo

El indicador de eficiencia del tiempo se desarrolló considerando la Proporción de Tiempo con Valor Agregado (%TVA). Esta proporción se define como la relación entre

el tiempo que se utiliza para realizar actividades que agregan valor (HAVA) y el tiempo total disponible para ello, que corresponde al Tiempo en Postura Neto (T.EPN). Se obtiene como el cociente entre el HAVA y el T.EPN. (Para mayor información sobre las definiciones de los tiempos consultar “Anexo A: Detalles del indicador Eficiencia del tiempo”).

Como línea base de este indicador se analizaron los informes N°2 y N°3 del “Estudio de Tiempos de Empresas Contratistas de Obras”, generados en marzo y septiembre de 2012, respectivamente, además de mediciones realizadas anteriormente (año 2007). Sin embargo, para cuantificar el impacto de este indicador se consideraron los datos que se entregaron en el informe N°4, el que contiene las mediciones de noviembre y diciembre de 2012, período durante el cual se estaba realizando la implementación de metodologías *lean*.

Como se observa en las figuras a continuación, se aprecia un impacto positivo que se refleja en los tres casos de estudio.

Para la empresa N°1, en el caso de estudio N°1, el aumento fue de más de 1,4 horas (comparado con mediana de datos anteriores a implementación), y de 25 puntos (24,5%) en la proporción de tiempo que agrega valor. Lo anterior genera un aumento proporcional equivalente al 40% en porcentaje de tiempo con valor agregado. En la Figura 4-18 se refleja esta situación.

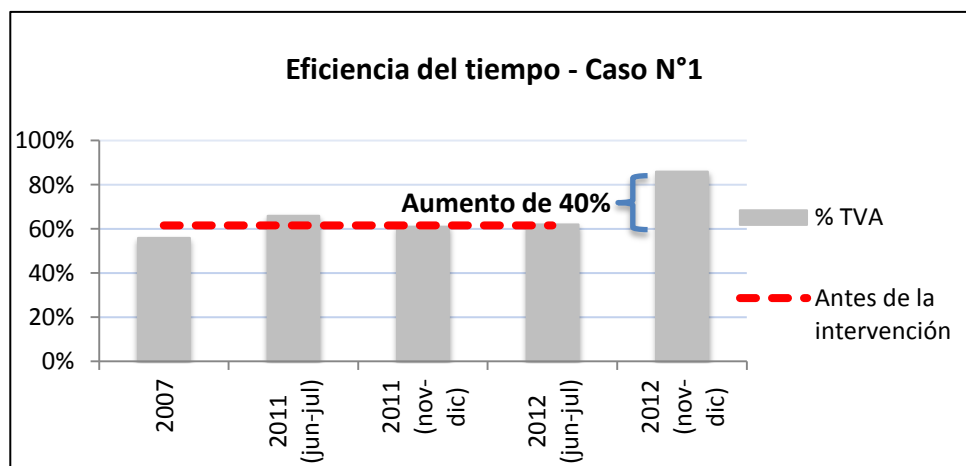


Figura 4-18: Impacto en la eficiencia del tiempo (%TVA) en el proyecto N°1.

Para la empresa N°2, en el caso de estudio N°2, el aumento fue de más de 1 hora (comparado con mediana de datos anteriores a implementación), y de 25 puntos (25%) en la proporción de tiempo que agrega valor. Lo anterior genera un aumento proporcional equivalente a más del 50% en porcentaje de tiempo con valor agregado. En la Figura 4-19 se expone la situación mencionada anteriormente.

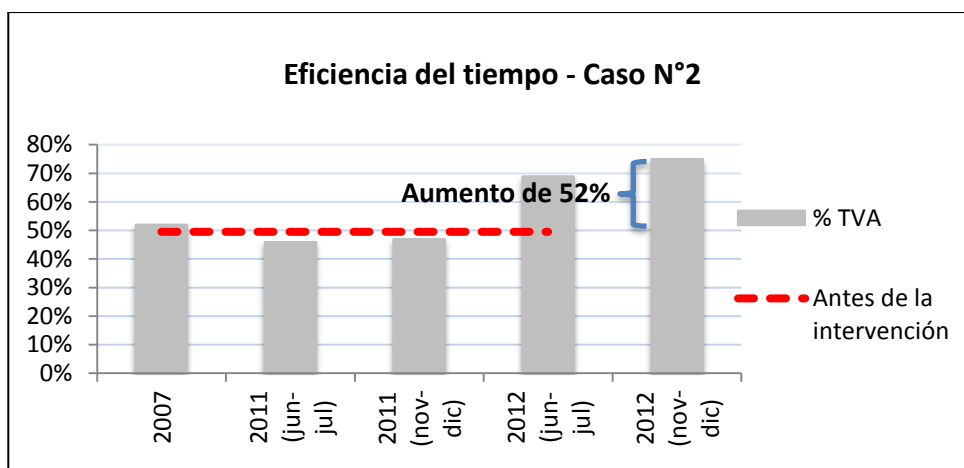


Figura 4-19: Impacto en la eficiencia del tiempo (%TVA) en el proyecto N°2.

Para la empresa N°3, en el caso de estudio N°3, el aumento fue de más de 0,8 horas (comparado con mediana de datos anteriores a implementación), y de 18 puntos (18%) en la proporción de tiempo que agrega valor. Lo anterior genera un aumento proporcional equivalente a más del 30% en porcentaje de tiempo con valor agregado. En la Figura 4-20 se muestra la situación descrita.

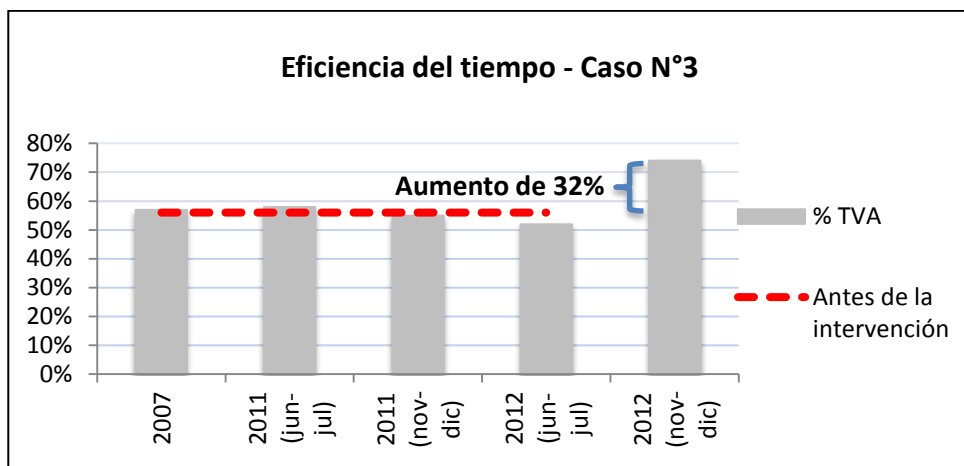


Figura 4-20: Impacto en la eficiencia del tiempo (%TVA) en el proyecto N°3.

En la Figura 4-21 se muestra un resumen del comportamiento de los datos del indicador Interferencias para los 3 casos de estudio, comparando el antes y el después mediante un diagrama *box-plot*.

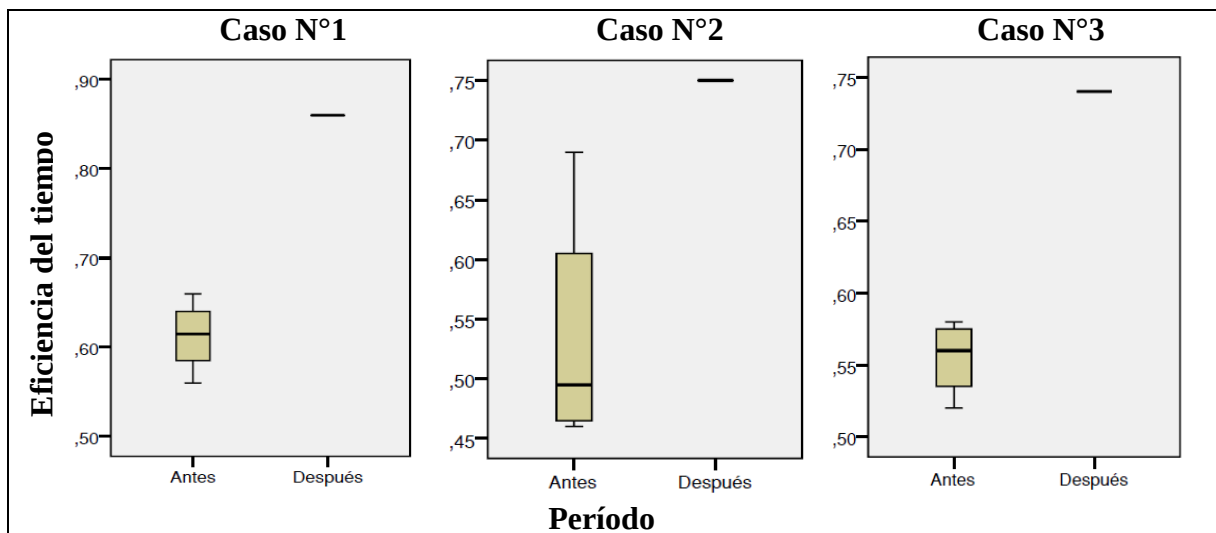


Figura 4-21: Diagrama *box-plot* para el indicador Eficiencia del tiempo en los casos de estudio.

4.3.6 Análisis estadístico

Con el objetivo brindarle mayor validez interna a la investigación y al impacto de la implementación *lean* en los indicadores de desempeño, se realizó un test no paramétrico

de *Wilcoxon-Mann-Whitney* para comprobar si existe diferencia estadística entre el antes y el después para ciertos indicadores. Para esto, tal como se explica en la sección 3.6, se utiliza el programa “*IBM SPSS Statistics 21*” para efectuar el análisis antes mencionado. Específicamente, en el “Anexo B: Salidas del análisis estadístico en SPSS” se muestran todos los resultados entregados por el programa. Sin embargo, en la Tabla 4-1 se muestra un resumen de éstos.

Tabla 4-1: Resumen de la significancia exacta en el análisis estadístico.

Indicador	N°1	N°2	N°3*
Interferencias	0,001	0,005	0,286
Avance físico	0,036	0,181	0,167
Confiabilidad de programa	0,607	0,020	1,000
Productividad	0,026	0,224	0,548
Eficiencia del tiempo	No aplica	No aplica	No aplica

Es importante destacar ciertos aspectos relevantes respecto al resultado obtenido. Éstos se detallan a continuación:

- Caso N°3: El caso de estudio N°3 es un proyecto que se encontraba recién comenzando (sólo 3 meses desde el inicio hasta el comienzo de la intervención), por lo tanto, los datos obtenidos tienen cierto sesgo debido al estado del proyecto. Además, la cantidad de datos disponibles es muy pequeño y no se ha estabilizado para poder hacer una afirmación exacta respecto a cambios estadísticamente significativos. Debido a lo anterior, si bien se especifica el resultado del análisis estadístico, se deja fuera para justificar si el cambio producido en los indicadores es estadísticamente significativo o no.
- Eficiencia del tiempo: Este indicador no puede ser sometido a un análisis estadístico debido a la cantidad de datos. Específicamente sólo se tiene un dato después de la intervención, lo que lo imposibilita de ser analizado con la metodología utilizada.

- **Confiabilidad de programa:** La confiabilidad de programa, en el caso de estudio N°1, presenta una situación bastante particular. La empresa N°1, para ejecutar su proyecto, realizaba una planificación sólo para cumplir con presentarla al mandante, pero no la utilizaban para guiar su trabajo. Producto de esto mismo, el indicador Confiabilidad de programa no presenta una mejora en el desempeño, resultando que el posible cambio no es estadísticamente significativo. Lo anterior se reafirma con el indicador Avance físico. Este indicador ha mejorado considerablemente y el cambio es estadísticamente significativo, pero no tiene ninguna relación con lo que han planificado. Es decir, su planificación es deficiente lo que produce un mal desempeño del indicador Confiabilidad de programa.

4.3.7 Resumen

Con el objetivo de sintetizar el impacto que ha tenido la implementación *lean* en el desempeño de los proyectos, en la

Tabla 4-2 se muestra un resumen del análisis realizado en los indicadores seleccionados. En ésta se detalla la variación porcentual que han sufrido los distintos indicadores luego de la implementación *lean*, el resultado del test de hipótesis no paramétrico y el resultado de la observación de los gráficos de *box-plot*.

En el caso de la variación porcentual, se destaca que cuando existe una variación positiva el indicador mejoró su desempeño. Por el contrario, cuando existe una variación negativa, el indicador empeoró su desempeño.

En el caso del resultado obtenido en el análisis estadístico mediante el test de hipótesis no paramétrico de *Wilcoxon-Mann-Whitney*, se obtiene un “Sí” cuando se rechaza la hipótesis nula, es decir, se obtiene evidencia estadística que demuestra que existe un cambio respecto el antes y el después de la implementación *lean*. Por otra parte, cuando se obtiene un “No” se refiere a que según el nivel de significancia (0,05 para este análisis) no hay evidencia estadística suficiente para demostrar el cambio. Por lo mismo, se detalla la significancia a la cual se rechazaría la hipótesis nula y se aceptaría

el cambio. Además, existe la posibilidad que por características de los datos no sea efectivo realizar el test de hipótesis, por lo que la respuesta será “N.A.”.

Finalmente, en el caso de los resultados del análisis de los diagramas *box-plot*, se especifica con “Sí” cuando se encontró diferencia significativa entre el antes y el después; con “Mejora parcial” cuando se encontró diferencias de menor consideración; y con “No” cuando no se encontraron diferencias considerables.

Tabla 4-2: Resumen del análisis de impacto de la implementación *lean* en el desempeño de los proyectos.

		Indicadores				
		Interferencias	Avance físico	Confiabilidad de programa	Productividad	Eficiencia del tiempo
Caso N°1	Variación*	91%	44%	N.A.	56%	40%
	Test de hipótesis	Sí	Sí	N.A.	Sí	N.A.
	Box-plot	Sí	Sí	N.A.	Sí	Sí
Caso N°2	Variación*	75%	40%	38%	37%	52%
	Test de hipótesis	Sí	No (0,181)	Sí	No (0,224)	N.A.
	Box-plot	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Caso N°3	Variación*	78%	38%	30%	17%	32%
	Test de hipótesis	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
	Box-plot	Sí	Sí	Mejora parcial	Mejora parcial	Sí

*La variación representa la mejora que presentó cada indicador respecto a la situación anterior.

Luego de lo presentado en la Tabla 4-2, se puede detallar que todos los indicadores presentaron mejoras en el desempeño. Específicamente, el indicador de Interferencias fue el que mejor comportamiento presentó, destacando que respondió de manera positiva a todos los análisis.

El indicador de Avance físico respondió de manera positiva a todos los análisis, salvo en el test no paramétrico. Sin embargo, la significancia requerida no fue muy alta (18%), por lo que se asume que existe una buena respuesta del indicador.

El indicador de Confiabilidad de programa también respondió de manera positiva a todos los análisis, exceptuando en el caso de estudio N°1 que presentó resultados adversos. Sin embargo, se explicó anteriormente, en el análisis estadístico (sección 4.3.6), que se debía a una mala práctica de la empresa. Por lo tanto, el resultado de este caso de estudio puede ser desestimado, afirmando que el indicador Confiabilidad de programa también responde de manera correcta.

El indicador de Productividad respondió de manera positiva a todos los análisis, salvo en el test no paramétrico. Sin embargo, la significancia requerida no fue muy alta (22%), por lo que se asume que existe una buena respuesta del indicador.

Finalmente, el indicador de Eficiencia del tiempo presentó un comportamiento positivo en todos los casos de estudio. Sin embargo, no pudo ser sometido al análisis mediante el test no paramétrico, pero respondió de manera positiva a todos los demás análisis.

En definitiva, se puede reconocer que existió un impacto positivo en el desempeño de los proyectos producto de la implementación *lean*, demostrándose variaciones estadísticamente significativas en los indicadores estudiados.

4.4 Impactos de la implementación *lean* en el desempeño de las organizaciones

Para estudiar cómo impacta la implementación de metodologías *lean* en el desempeño y comportamiento de las organizaciones, se utilizaron dos fuentes de análisis principalmente. Se realizó una encuesta de la implementación a las organizaciones involucradas en la ejecución de proyectos (empresas contratistas) de los 3 casos de estudio. La encuesta tiene el principal propósito de identificar el impacto que genera la implementación en la gestión del proyecto por parte de los equipos de trabajo. Por otra parte, se realizaron entrevistas semi-estructuradas al equipo desarrollador del proyecto para evaluar a las organizaciones, preguntando específicamente por el comportamiento de las empresas con las cuales trabajaron.

Los resultados de estos análisis se presentan tanto para las encuestas como para las evaluaciones en las entrevistas.

4.4.1 Encuestas

Al término de la implementación de metodologías *lean* en la ejecución de los proyectos de los casos de estudio, se aplicó una encuesta con el fin de identificar y conocer la opinión general que tenían los profesionales que participaron activamente en la implementación (Ver “Anexo C: Encuesta de la implementación”). Sin embargo, la sección de “Gestión del proyecto” es la que representa mayor interés para este análisis, debido a que busca evaluar el impacto de la implementación en el comportamiento y la organización. Para conocer el impacto antes mencionado, se les preguntó a las distintas empresas, pertenecientes a los proyectos de los casos de estudio, cómo creen que impactó la implementación realizada en la gestión y organización de los proyectos.

4.4.1.1 Resultado de encuesta para caso de estudio N°1

A continuación se presentan los resultados para la empresa N°1. Específicamente, en la Figura 4-22 se muestra el impacto obtenido en Trabajo en equipo y Comunicación. Se aprecia que en ambas variables se obtienen impactos positivos, destacando que en Trabajo en equipo la mayoría (60%) manifiesta que el impacto ha sido positivo, y en Comunicación la totalidad (100%) manifiesta que el impacto ha sido positivo.

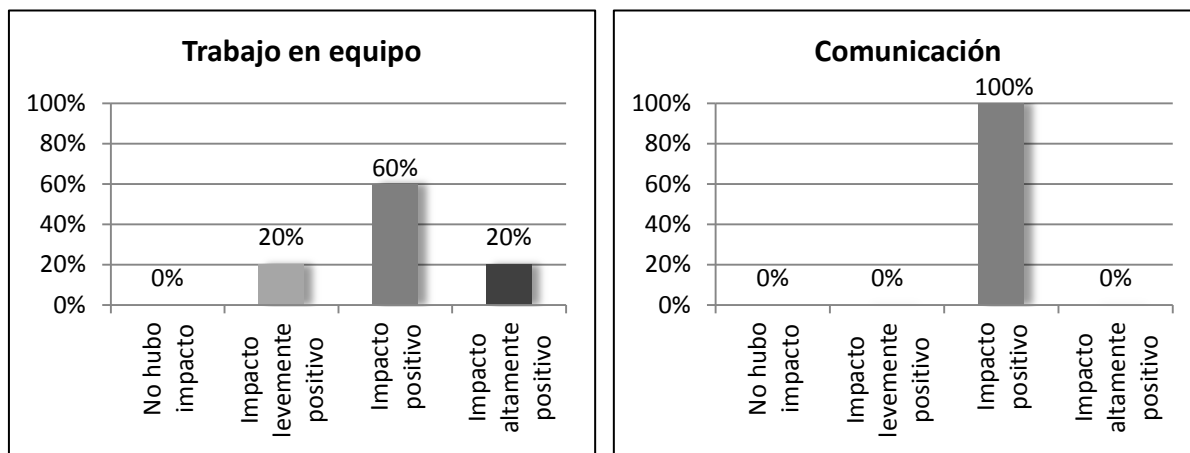


Figura 4-22: Impacto en trabajo en equipo y comunicación en la empresa N°1.

En la Figura 4-23 se muestra el impacto obtenido en Participación y Compromiso. Se aprecia que en ambas variables se obtienen impactos positivos, destacando que en Participación la totalidad (100%) manifiesta que el impacto ha sido positivo. Sin embargo, en Compromiso se considera que el impacto se comparte entre levemente positivo y positivo, siendo el primero más preponderante (60%). Lo anterior demuestra que no se logró instaurar el sentido de pertenencia como se esperaba.

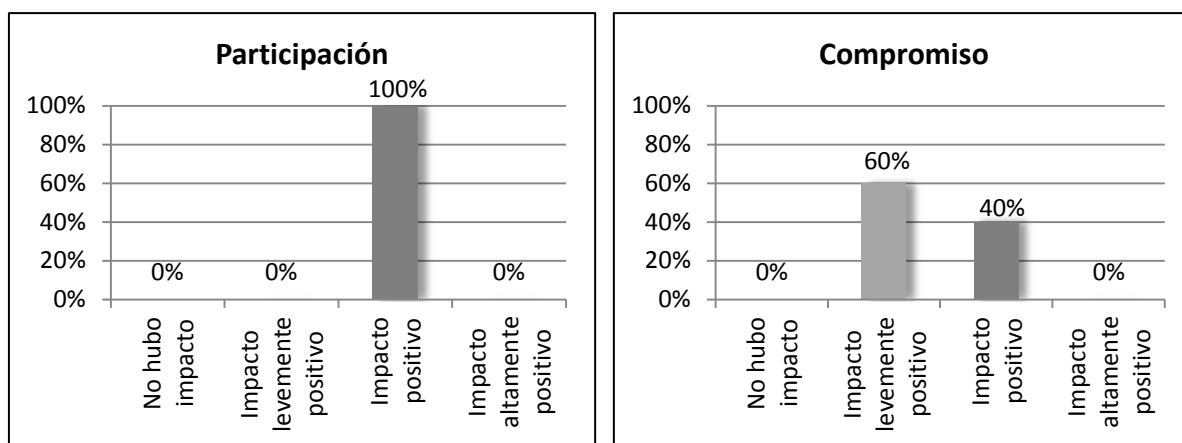


Figura 4-23: Impacto en participación y compromiso en la empresa N°1.

En la Figura 4-24 se muestra el impacto obtenido en el Aprendizaje. Se aprecia que en esta variable se obtiene un impacto positivo, aunque se encuentra dividido entre levemente positivo y positivo, siendo la primera la de mayor incidencia. Esto demuestra que puede estar relacionado el aprendizaje con el compromiso, viéndose afectado por la falta de éste.

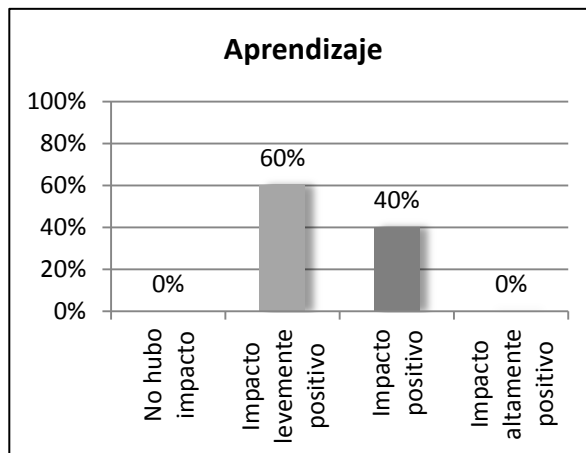


Figura 4-24: Impacto en aprendizaje en la empresa N°1.

4.4.1.2 Resultado de encuesta para caso de estudio N°2

A continuación se presentan los resultados para la empresa N°2. Específicamente, en la Figura 4-25 se muestra el impacto obtenido en Trabajo en equipo y Comunicación. Se aprecia que en ambas variables se obtienen impactos positivos, destacando que en Trabajo en equipo la totalidad (100%) manifiesta que el impacto ha sido positivo, y en Comunicación la mayoría (83%) manifiesta que el impacto ha sido positivo.

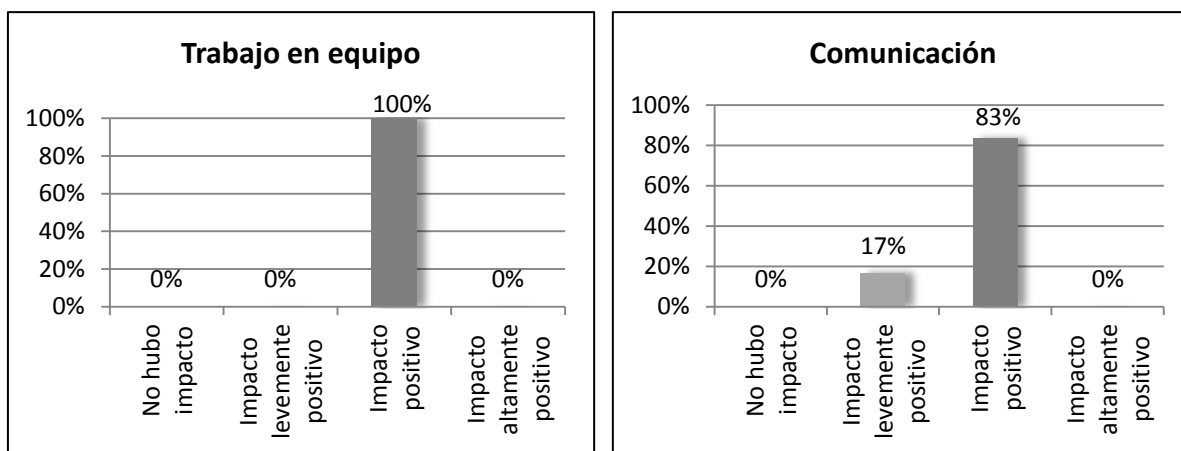


Figura 4-25: Impacto en trabajo en equipo y comunicación en la empresa N°2.

En la Figura 4-26 se muestra el impacto obtenido en Participación y Compromiso. Se aprecia que en ambas variables se obtienen impactos positivos, destacando que en Participación la totalidad (100%) manifiesta que el impacto ha sido positivo. Sin embargo, en Compromiso se considera que el impacto se comparte entre levemente positivo y positivo, siendo el segundo mucho más preponderante (67%). Lo anterior demuestra que se logró instaurar el sentido de pertenencia pero no tan fuerte como se deseaba.

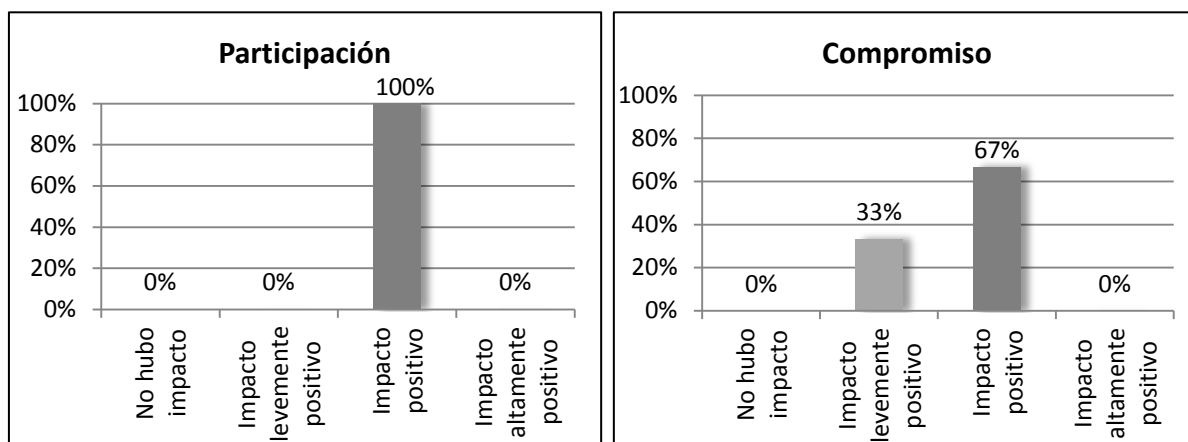


Figura 4-26: Impacto en participación y compromiso en la empresa N°2.

En la Figura 4-27 se muestra el impacto obtenido en el Aprendizaje. Se aprecia que en esta variable se obtiene un impacto positivo, aunque se encuentra dividido entre levemente positivo y positivo, teniendo ambas calificaciones la misma incidencia (50%). Esto refuerza lo mencionado anteriormente, en donde se manifiesta que puede estar relacionado el aprendizaje con el compromiso, viéndose afectado el impacto en aprendizaje por la falta de impacto compromiso.

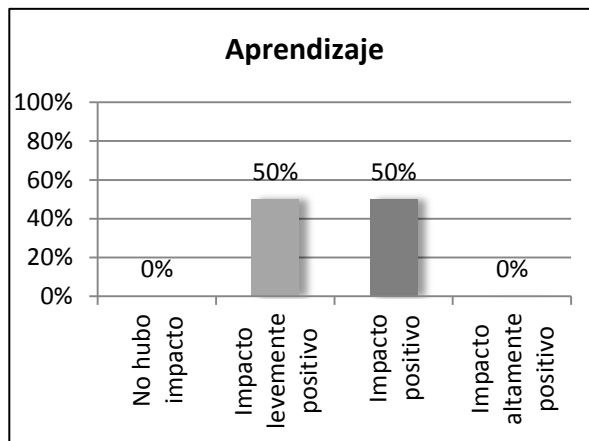


Figura 4-27: Impacto en aprendizaje en la empresa N°2.

4.4.1.3 Resultado de encuesta para caso de estudio N°3

A continuación se presentan los resultados para la empresa N°3. Específicamente, en la Figura 4-28 se muestra el impacto obtenido en Trabajo en equipo y Comunicación. Se aprecia que en ambas variables se obtienen impactos positivos, destacando que en Trabajo en equipo se manifiesta una tendencia a un impacto altamente positivo. Por otra parte, en Comunicación existe una calificación más variada e inestable, siendo el impacto altamente positivo el más reconocido (43%).

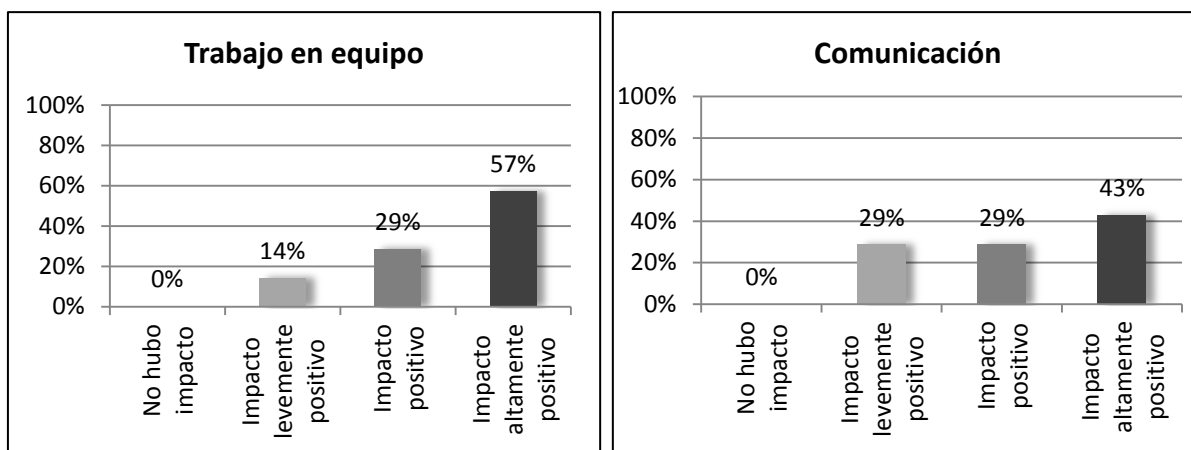


Figura 4-28: Impacto en trabajo en equipo y comunicación en la empresa N°3.

En la Figura 4-29 se muestra el impacto obtenido en Participación y Compromiso. Se aprecia que en ambas variables se obtienen impactos positivos, sin embargo, por algunos encuestados existe la sensación que en Compromiso no hubo impacto. Específicamente, en Participación se manifiesta una tendencia a un impacto altamente positivo. No obstante, en Compromiso existen respuestas totalmente variadas, lo que demuestra que no se puede establecer una respuesta concreta. Lo anterior demuestra que no se logró instaurar el sentido de pertenencia a nivel general, sólo algunos consideran que mejoró el Compromiso y otros sienten que no.

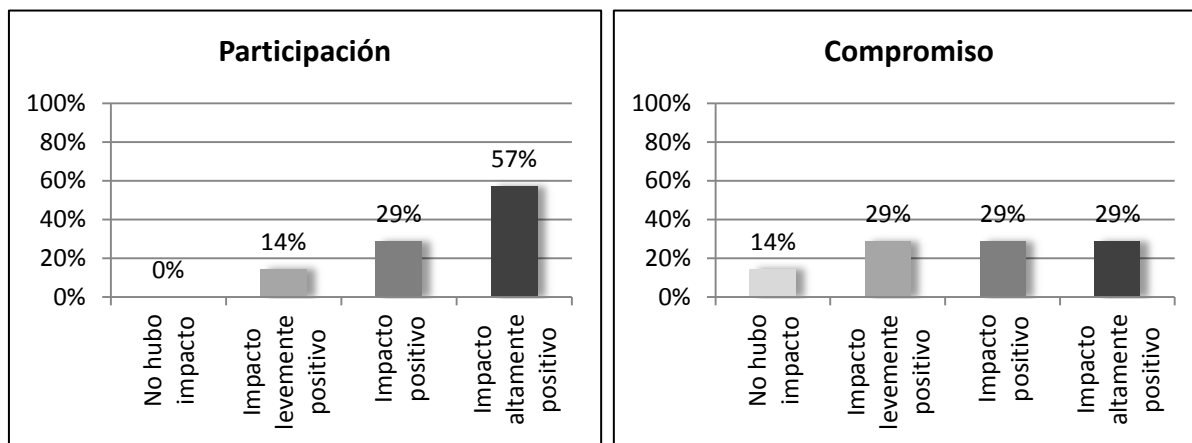


Figura 4-29: Impacto en participación y compromiso en la empresa N°3.

En la Figura 4-30 se muestra el impacto obtenido en el Aprendizaje. Se aprecia que en esta variable se obtiene un impacto positivo, aunque el tipo de respuesta se muestra más variado. Específicamente, la tendencia se inclina a un impacto levemente positivo. Esto refuerza aún más lo mencionado anteriormente, en donde se manifiesta que puede estar relacionado el aprendizaje con el compromiso, viéndose afectado el impacto en aprendizaje por la falta de impacto compromiso.

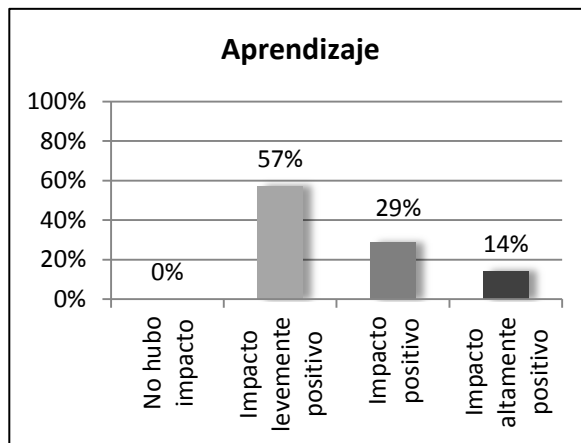


Figura 4-30: Impacto en aprendizaje en la empresa N°3.

4.4.1.4 Resultado general

En la Figura 4-31 se muestra el impacto que tuvo la implementación *lean* en la organización y gestión de proyectos para los 3 casos de estudio analizados, evaluados mediante una encuesta. Específicamente se muestra la evaluación que obtuvieron las empresas para las variables analizadas. En este caso, el sistema de calificación fue el siguiente: 1 significa que no hubo impacto; 2 significa que hubo impacto levemente positivo; 3 significa que hubo impacto positivo; y 4 significa que hubo impacto altamente positivo. Por lo tanto, se aprecia que para los 3 casos de estudio se obtuvo un impacto positivo en todas las variables estudiadas. Sin embargo, en el caso de estudio N°3 se obtuvo un impacto altamente positivo para las variables Trabajo en equipo, Comunicación y Participación.

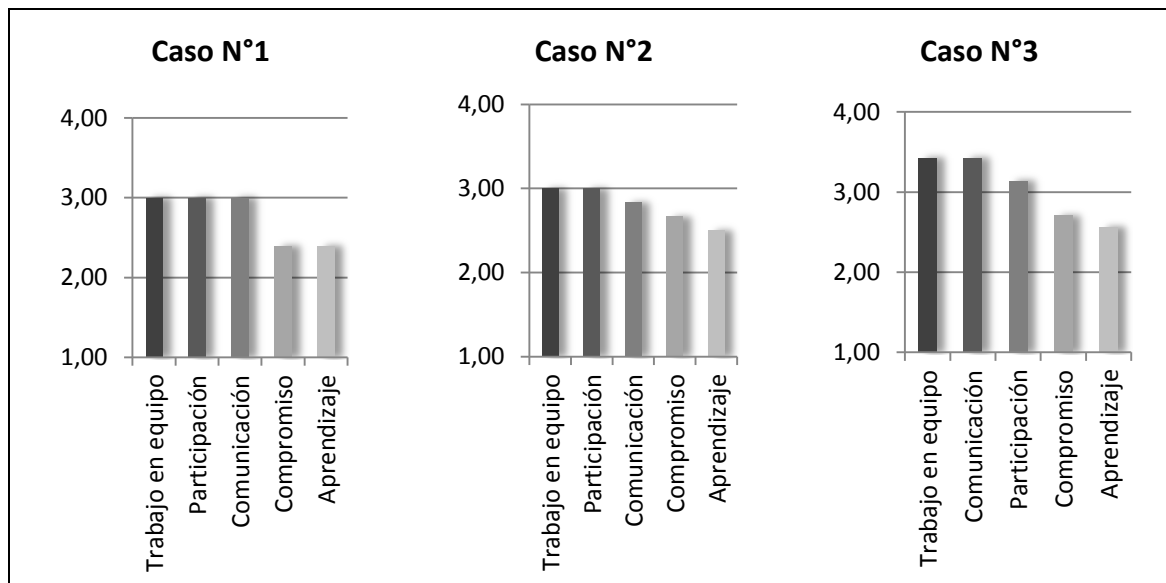


Figura 4-31: Impacto de la implementación *lean* en la organización y gestión de los proyectos para los casos de estudio.

4.4.2 Entrevistas

Con el propósito de profundizar el entendimiento del impacto de las metodologías *lean* en el comportamiento y organización, se analizaron otras variables de estudio enfocadas principalmente con una visión *lean*. Para determinar las variables a estudiar se utilizó un estudio previo que define y caracteriza el perfil del profesional de la construcción *lean* (LCPP por sus siglas en inglés) (Pavez & Alarcón, 2008). El estudio identifica tres áreas de competencias que deben ser desarrolladas simultáneamente: visión empresarial, competencias técnicas y competencias sociales. Entonces, a través de las áreas que se proponen en el estudio, se busca caracterizar a las organizaciones involucradas en la gestión de los proyectos y evaluar los impactos de la implementación *lean* en el desempeño de las organizaciones.

Para estudiar a las organizaciones involucradas fue necesario definir variables a ser evaluada en cada área propuesta por LCPP. De este modo, se les realizó una entrevista semi-estructurada al equipo desarrollador de la implementación (nueve personas), el cual estuvo involucrado en cada caso de estudio, con el fin de poder comparar a las

distintas organizaciones y evaluar cambios en el comportamiento. En la Tabla 4-3 se muestra la definición de las variables perteneciente a cada área del *LCPP*.

Tabla 4-3: Definición de las variables a evaluar en las organizaciones a través de *LCPP*.

Áreas	Variables	Detalle
Visión empresarial	Alineamiento de objetivos	Coherencia de los objetivos de las distintas unidades de negocio
	Orientación hacia el cliente	Importancia de las necesidades del cliente en la realización del trabajo
	Necesidades organizacionales	Priorización de las necesidades organizacionales por sobre los intereses individuales
Competencias técnicas	Técnicas de construcción	Técnicas específicas utilizadas para realizar el trabajo
	Gestión de proyectos	Forma en que se administran los proyectos
	Herramientas y metodologías <i>lean</i>	Conocimientos y utilización de metodologías <i>lean</i> en los proyectos
Competencias sociales	Autogestión	Capacidad de los trabajadores para tomar decisiones activamente
	Gestión de relaciones	Habilidad de motivar a los trabajadores para obtener mejoras en el desempeño
	Valores	Principios comunes con los que se realiza el trabajo

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la evaluación realizada al equipo desarrollador de la implementación. Para la evaluación se consideró una escala de 1 a 5, siendo 1 la calificación más negativa y 5 la calificación más positiva.

En la Figura 4-32 se muestra la caracterización de las organizaciones según *LCPP* para el caso de estudio N°1, detallando el cambio presentado por éstas producto de la implementación de las metodologías *lean*. Específicamente, se observa:

- Visión empresarial: se mejoró en forma integral, progresando similarmente en las variables Necesidades organizacionales y Orientación hacia el cliente. La variable que mejor resultado mostró fue Alineamiento de objetivos.
- Competencias técnicas: se progresó levemente en la variable Gestión de proyectos, pero considerablemente en Herramientas y metodologías *lean*.
- Competencias sociales: se evolucionó levemente en la variable Autogestión, pero considerablemente en Gestión de relaciones.

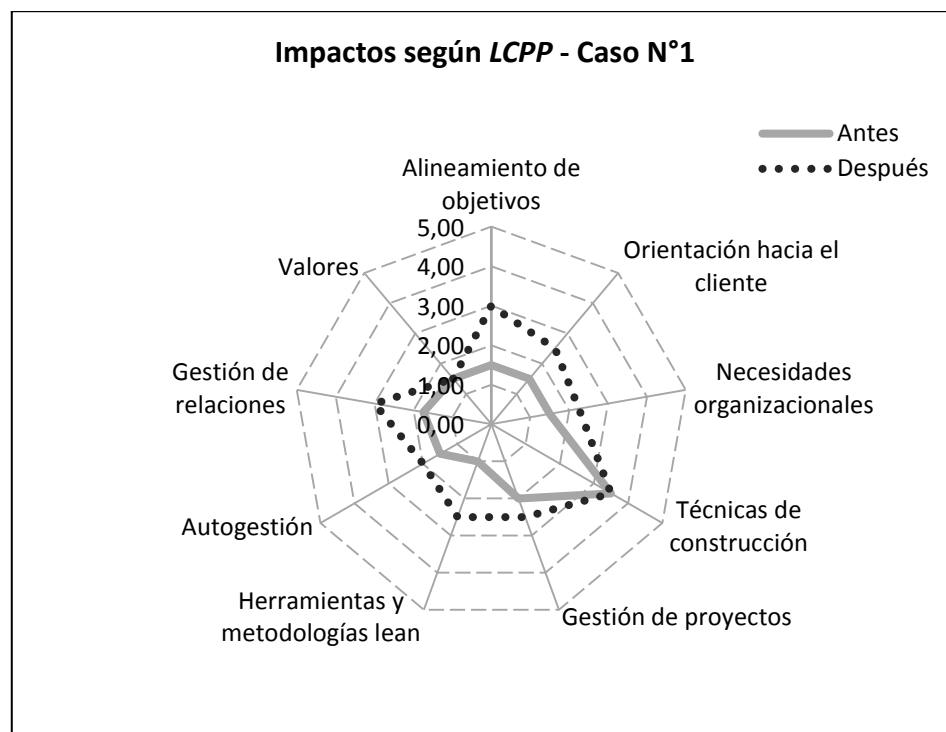


Figura 4-32: Impactos en la organización según *LCPP* para el caso de estudio N°1.

En la Figura 4-33 se muestra la caracterización de las organizaciones según *LCPP* para el caso de estudio N°2, detallando el cambio presentado por éstas producto de la implementación de las metodologías *lean*. Específicamente, se observa:

- Visión empresarial: se mejoró en forma integral, progresando mayoritariamente en las variables Alineamiento de objetivos y Orientación hacia el cliente. No obstante, la variable Necesidades organizacionales también mejoró, pero de forma más reducida.

- Competencias técnicas: se progresó fuertemente en las variables Gestión de proyectos y Herramientas y metodologías *lean*.
- Competencias sociales: se evolucionó considerablemente en las variables Autogestión y Gestión de relaciones.

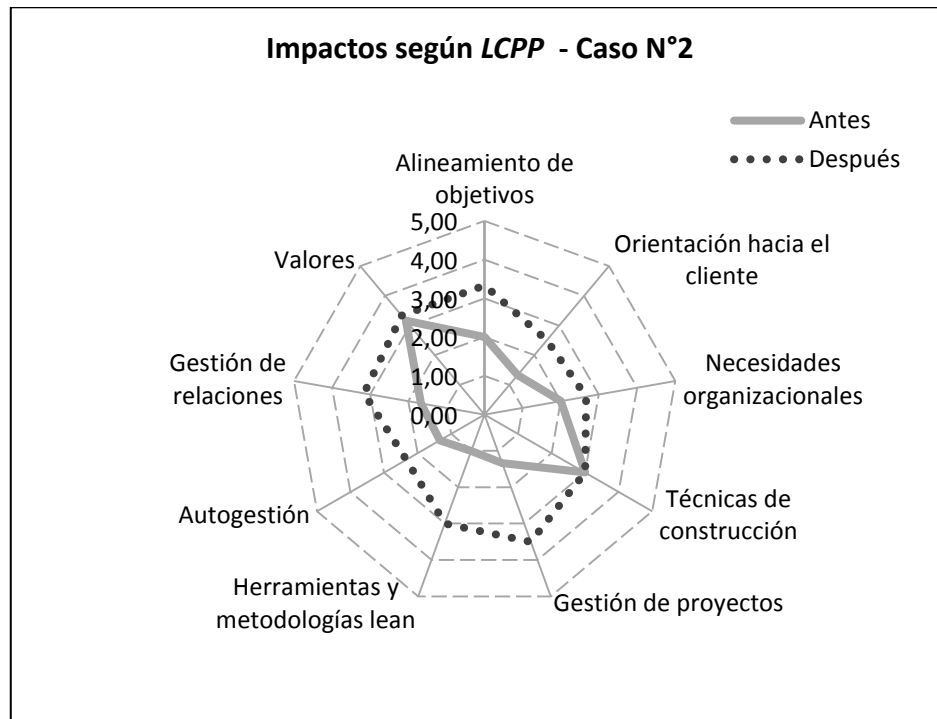


Figura 4-33: Impactos en la organización según *LCPP* para el caso de estudio N°2.

En la Figura 4-34 se muestra la caracterización de las organizaciones según *LCPP* para el caso de estudio N°3, detallando el cambio presentado por éstas producto de la implementación de las metodologías *lean*. Específicamente, se observa:

- Visión empresarial: se mejoró en forma integral, progresando en todas las variables de manera considerable. Es decir, Alineamiento de objetivos, Orientación hacia el cliente y Necesidades organizacionales.
- Competencias técnicas: se progresó fuertemente en las variables Gestión de proyectos y Herramientas y metodologías *lean*.
- Competencias sociales: se evolucionó considerablemente en las variables Autogestión y Gestión de relaciones.

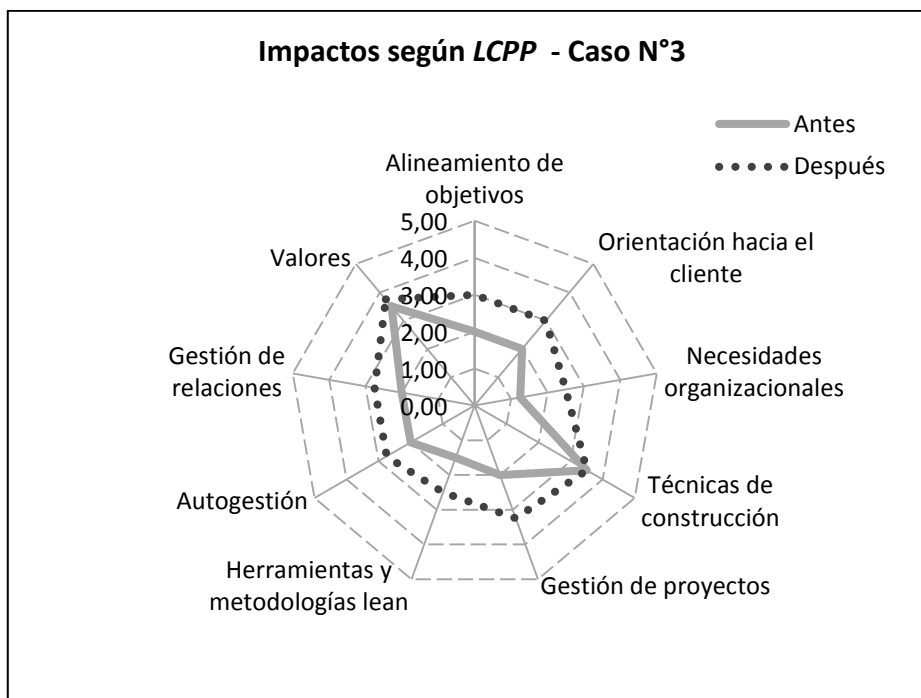


Figura 4-34: Impactos en la organización según LCPP para el caso de estudio N°3.

4.4.3 Resumen

Con el objetivo de sintetizar el impacto que ha tenido la implementación *lean* en el desempeño de las organizaciones, en la Tabla 4-4 se muestra un resumen del resultado obtenido en las distintas variables analizadas. En esta tabla se detalla el impacto que han tenido las organizaciones a través de las siguientes calificaciones: Nulo, Levemente positivo, Positivo y Altamente positivo.

En el caso del resultado de las encuestas, la calificación se obtiene directamente según las respuestas a la encuesta. Sin embargo, en el caso de las entrevistas, la calificación se calcula indirectamente según la variación de la evaluación. Específicamente, las calificaciones son: Nulo cuando no existió variación; Levemente positivo cuando la variación es entre 0 y 1 (sin incluir el 1); Positivo cuando la variación es entre 1 y menor a 2 (sin incluir el 2); y Altamente positivo cuando la variación es mayor a 2.

Tabla 4-4: Resumen de los resultados del impacto de la implementación *lean* en el desempeño de las organizaciones.

	Variables	Caso N°1	Caso N°2	Caso N°3
Encuestas	Trabajo en equipo	Positivo	Positivo	Altamente positivo
	Comunicación	Positivo	Positivo	Altamente positivo
	Participación	Positivo	Positivo	Altamente positivo
	Compromiso	Positivo	Positivo	Positivo
	Aprendizaje	Positivo	Positivo	Positivo
Entrevistas	Alineamiento de objetivos	Positivo	Positivo	Positivo
	Orientación hacia el cliente	Positivo	Positivo	Positivo
	Necesidades organizacionales	Levemente positivo	Levemente positivo	Positivo
	Técnicas de construcción	Nulo	Nulo	Nulo
	Gestión de proyectos	Levemente positivo	Altamente positivo	Positivo
	Herramientas y metodologías <i>lean</i>	Positivo	Altamente positivo	Positivo
	Autogestión	Levemente positivo	Positivo	Levemente positivo
	Gestión de relaciones	Positivo	Positivo	Levemente positivo
	Valores	Nulo	Levemente positivo	Levemente positivo

Se aprecia de la Tabla 4-4 que los 3 casos de estudio presentaron un impacto en general positivo luego de haber realizado la implementación *lean*. Específicamente se puede destacar que hubo un consenso relativo en el resultado de las encuestas proveniente de la implementación *lean*, destacando que todas las variables analizadas manifestaron un cambio al menos positivo. Sin embargo, en el caso de la evaluación en las entrevistas, el

resultado fue más diversificado. Se presentó un impacto positivo y menos variado en el área de Visión empresarial. En el área de Competencias técnicas se logró un impacto positivo en general pero con resultados más diversos dependiendo de la variables y el caso de estudio analizado. Finalmente, en el área de Competencias sociales se logró un impacto en general levemente positivo. Lo anterior se explica porque los cambios organizacionales y de comportamientos son más difíciles de arraigar en las personas y demandan una mayor cantidad de tiempo. En definitiva, se puede reconocer que existió un impacto positivo en el desempeño de las organizaciones producto de la implementación *lean*, el cual fue identificado tanto por el equipo desarrollador de la implementación como por los propios equipos analizados en los casos de estudio.

4.5 Modelo de implementación *lean*

Tomando en cuenta los modelos tradicionales para implementar cambios y mejoras continuas en los proyectos, se propone un modelo con mejoras metodológicas en vista a la experiencia de los casos de estudio. En términos generales, el modelo propuesto buscar optimizar los resultados, a través de una estructuración y definición más clara de sus etapas y actividades.

Los modelos tradicionalmente utilizados poseen ciertas ventajas y desventajas que se resumen en la Tabla 4-5.

.

Tabla 4-5: Ventajas y desventajas de los modelos tradicionalmente utilizados.

Ventajas	Desventajas
Simple, capaz de entenderse por toda la organización.	No profundiza en una metodología más clara y en detalle, por lo que puede ser entendida de manera inadecuada.
Flexible, aplicable a diferentes tipos de procesos.	No incluye/incorpora claramente las políticas y valores de la empresa, entonces sus objetivos pueden ser incorrectos.
Basado en ciertos principios básicos, apto para ser modificable cuando se requiera.	No incluye la capacidad de la organización y métodos de evaluación de ésta.
Cíclico, idóneo para ser utilizado en repetidas ocasiones.	No tiene una metodología clara de desarrollo, lo cual aumenta la dificultad en implementaciones grandes y complejas

Entonces, en vista de las ventajas y desventajas de los modelos tradicionalmente utilizados, es necesario que el modelo propuesto presente las siguientes características:

- Debe contener un mayor nivel de detalle para que pueda ser comprendido en su totalidad y por toda la organización.
- Debe considerar ciertos aspectos metodológicos que facilite su utilización por parte de cualquier interesado.
- Debe resolver los problemas que surgen del modelo convencional por su falta de definición. Es decir, incluir las políticas y valores de la empresa; la capacidad de la organización y métodos de evaluación; y permitir el seguimiento continuo en implementaciones grandes y complejas.
- Su foco debe ser optimizar los resultados y agilizar la implementación.
- Debe incorporar un sistema de evaluación del estado de la implementación, con el fin de controlar avances y tener una herramienta cuantitativa de evaluación (no sólo plazo, recursos y costo).
- No debe perder las ventajas de los modelos tradicionales: simpleza, flexibilidad y capacidad de ser cíclico.

4.5.1 Modelo propuesto de implementación *lean*

En la Figura 4-35 se presenta el diagrama general del modelo propuesto para futuras implementaciones *lean*. En este modelo se definen 5 etapas principales en donde se busca responder a cuestionamientos claves para desarrollar una implementación *lean*.

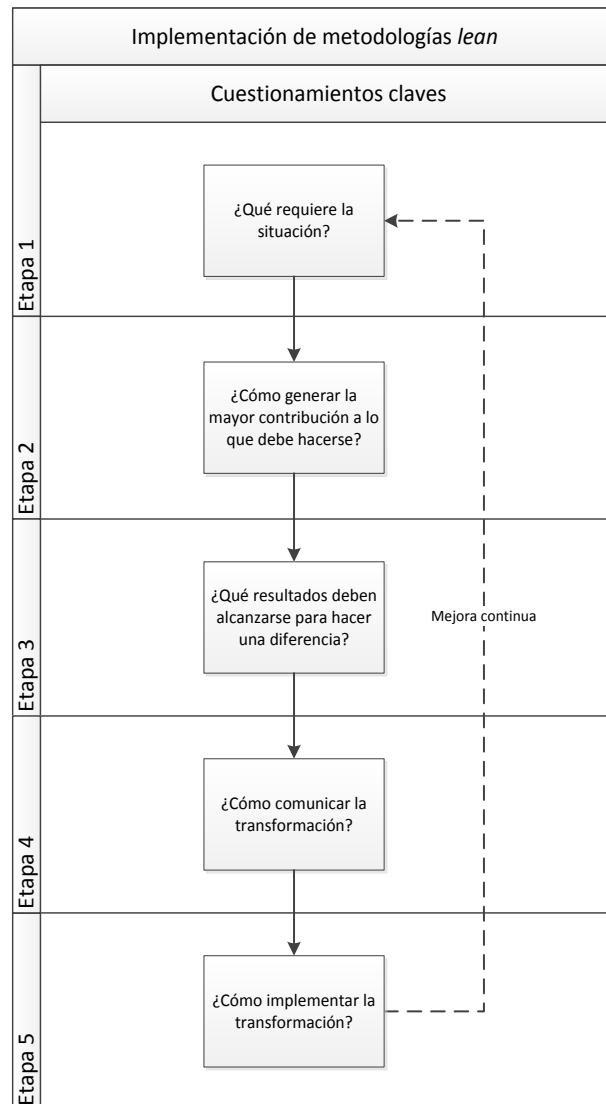


Figura 4-35: Diagrama general y cuestionamientos claves del modelo propuesto de implementación *lean*.

El “Anexo D: Modelo propuesto de implementación *lean*” muestra en mayor detalle el modelo propuesto para futuras implementaciones *lean*, identificando las actividades en cada etapa, las metodologías, los participantes y los entregables. Si bien el modelo propuesto presenta actividades definidas, metodologías y participantes, no excluye posibles modificaciones ni restringe adaptaciones. Más bien, es un modelo detallado que invita al usuario a adaptarlo según sus necesidades, permitiendo también utilizarlo tal como se plantea para implementaciones más complejas.

4.5.2 Evaluación del modelo propuesto de implementación *lean*

Debido a que el modelo propuesto se generó considerando principalmente lo aprendido en los casos de estudio, no se ha podido probar su utilidad de manera directa. Sin embargo, para responder a esta interrogante, se realizó una entrevista semi-estructurada al equipo desarrollador de la implementación con el fin de evaluar el nuevo modelo. En la Tabla 4-6 se especifican las variables utilizadas para evaluar los modelos, las cuales pretenden comparar los modelos tradicionalmente utilizados con el modelo propuesto.

Tabla 4-6: Variables propuestas a evaluar en los modelos de implementación

Variable	Detalle
Eficiencia	Relación entre los resultados y los recursos utilizados
Eficacia	Capacidad para lograr los objetivos
Utilización de recursos	Cantidad de recursos utilizados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la evaluación realizada al equipo desarrollador de la implementación, respecto a las características del modelo propuesto. Para consolidar los resultados de la evaluación, se les solicitó a los integrantes del equipo desarrollador que evaluaran el modelo propuesto y los modelos tradicionales. Conforme a esta evaluación, se categorizaron las respuestas bajo 3 criterios: Sin cambios, Mejora parcial, Mejora radical.

En la Figura 4-36 se muestra el resultado de la evaluación del modelo propuesto. En dicha figura se puede apreciar que la totalidad confirma que el modelo presenta mejoras

en la variable Eficacia, destacando que aproximadamente un 80% manifiesta una mejora radical. En la variable Eficiencia, un 75% aproximadamente manifiesta que existen mejoras, de los cuales el 43% las reconoce como mejoras radicales. Por último, un 70% advierte que la variable Utilización de recursos presenta mejoras, pero sólo un 10% manifiesta que existen mejoras radicales.

Además, el 100% de los entrevistados manifiesta que preferirían usar el modelo propuesto por sobre el modelo tradicional. Afirman que el nivel de detalle y la claridad de las etapas son lo suficientemente útiles para conducir las implementaciones y servir como una guía a seguir.

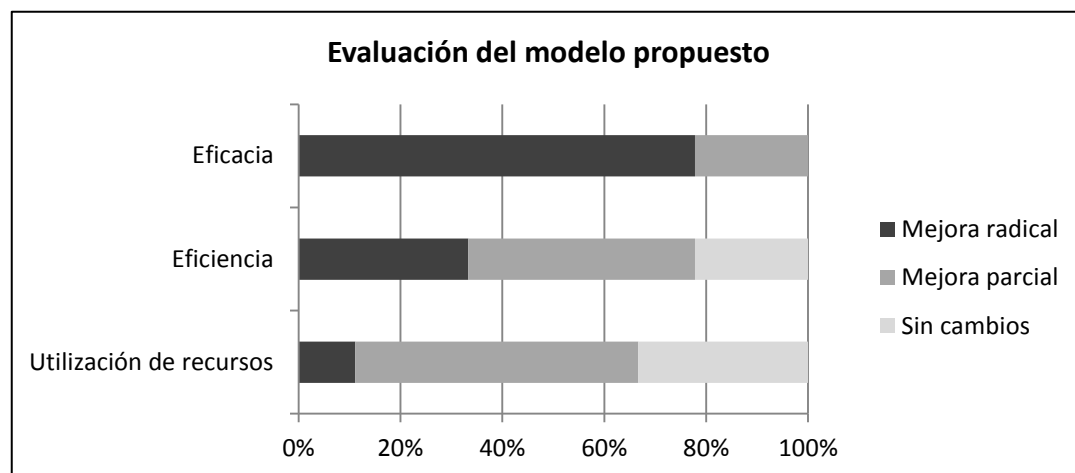


Figura 4-36: Resultado de la evaluación del modelo propuesto respecto el tradicional.

5. CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

Con el fin de aumentar y expandir el conocimiento del uso de metodologías lean aplicadas a la minería, este estudio ha desarrollado una implementación de metodologías lean y ha evaluado el impacto que genera la implementación en proyectos de desarrollo minero. Se ha estudiado el impacto enfocándose en dos áreas principales: el desempeño de los proyectos y el desempeño de las organizaciones. Para cuantificar el impacto se han escogido cinco indicadores relacionados al desempeño de los proyectos y se han determinado 14 variables relacionadas al desempeño de las organizaciones. De esta forma, luego de haber implementado metodologías lean, se ha evidenciado un cambio positivo en el desempeño de los proyectos y las organizaciones en los tres casos de estudio analizados.

La investigación demostró la capacidad que tienen las metodologías lean de mejorar el desempeño de los proyectos. Es decir, la implementación de metodologías lean, aplicadas durante la ejecución de proyectos de desarrollo minero, presentaron mejoras estadísticamente significativas en el desempeño de los proyectos medidos según indicadores de procesos. Específicamente, se mejoró el flujo del trabajo, la capacidad real de producción, la confiabilidad de las operaciones, la productividad y la utilización del tiempo.

Por otra parte, la investigación demostró la capacidad que tienen las metodologías lean de impactar positivamente en el desempeño de las organizaciones. Bajo este aspecto, la implementación de metodologías lean, aplicadas durante la ejecución de proyectos de desarrollo minero, generaron mejoras en el comportamiento de las organizaciones. Permitieron fomentar el trabajo en equipo fortaleciendo la comunicación, participación y el compromiso. Además, se potenció el alineamiento de objetivos de las distintas áreas de trabajo, permitiendo una mayor generación de valor y orientación hacia el cliente. También, se evidenció una actitud predispuesta al mejoramiento continuo, identificando una fuerte intención de aprendizaje.

Al analizar la línea de tiempo de la implementación y los impactos obtenidos, se puede concluir que en pequeños periodos de tiempo se logran importantes resultados. Es decir, los impactos obtenidos se alcanzaron en un periodo de implementación menor a seis

meses, por lo que se supone que se podrían apalancar y potenciar si se extiende la implementación. De hecho, si bien es un desafío consolidar los cambios generados, es aún más fuerte la inmensa oportunidad que existe de potenciar los cambios y expandirse a todas las áreas de producción.

Como parte del análisis de la investigación, se propuso un modelo de implementación que considera mayor definición en aspectos metodológicos, facilitando la utilización por parte de las organizaciones. El modelo permitió incluir las políticas y valores de la empresa; la capacidad de la organización y métodos de evaluación; y propone el seguimiento continuo en implementaciones grandes y complejas. De esta forma, se desarrolló un modelo focalizado en optimizar los resultados y agilizar la implementación, el cual promete ser más eficiente, eficaz y con mejor utilización de recursos.

Por otro lado, se han encontrado variadas limitaciones y oportunidades de mejoramiento respecto la implementación realizada. Se ha reconocido, por parte de las propias organizaciones, la dificultad de compatibilizar el trabajo diario con el aprendizaje y la implementación de nuevas metodologías. Además, se ha identificado la necesidad de tener un plan de trabajo concreto, que posea información cuantitativa del avance, tanto para realizar un seguimiento de las actividades como para conocer el continuo cambio en el desempeño.

Finalmente, los futuros estudios que se pueden desarrollar pueden centrarse en complementar el análisis de esta investigación. Importantes aportes se pueden realizar respecto a la evaluación económica de las implementaciones lean, analizando el costo incurrido y cuantificando el impacto económico de las mejoras. Además, existe la oportunidad de desarrollar indicadores complementarios y herramientas de control de la implementación, con el fin de cuantificar la relación directa entre el cambio de los indicadores y el estado de la implementación.

BIBLIOGRAFIA

Ade, M., & Deshpande, V. S. (2012). Lean manufacturing and productivity improvement in coal mining industry. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2(10), 35-43.

Alarcón, L.F. (1997). Herramientas para identificar y reducir pérdidas en proyectos de construcción. *Revista de ingeniería de construcción*, 15, 37-44.

Alarcón, L.F., & Mesa, H. (2012). A modeling approach to understand performance of lean project delivery system. *Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 20*, San Diego, USA.

Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T. (2004). *Estadística para administración y economía* (8a ed.). Australia: Thomson. 884p.

Ballard, G. (2000a). *The last planner system of production control*. Ph.D. dissertation, Univ. of Birmingham, Birmingham, U.K.

Ballard, G. (2000b). *Phase Scheduling*. LCI White Paper #7, Lean Construction Institute, Berkeley, CA, USA.

Ballard, G. (2005). Construction: One type of project production system. *Proceedings for the 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 13*, Sydney, NSW. 29-35.

Ballard, G. & Howell, G. (1994). Implementing lean construction: Improving downstream preference. *Lean construction*, L. Alarcon, ed., Balkema, Rotterdam, Netherlands, 111–125.

Banco Central de Chile. (2013a). *Exportaciones mineras*. Recuperado el 11 de Julio, 2013, desde http://www.bcentral.cl/estadisticas-economicas/series-indicadores/xls/Balanza_comercial_export_min.xls

Banco Central de Chile. (2013b). *Producto interno bruto por clase de actividad económica, trimestral, volumen a precios del año anterior encadenado*. Recuperado el 10 de Julio, 2013, desde http://www.bcentral.cl/estadisticas-economicas/series-indicadores/xls/PIB_real_por_actividad.xls

Betancour, M. C. (2013). *Challenges facing the chilean mining industry*. Recuperado el 12 de Julio, 2013, desde http://www.cochilco.cl/archivos/presentaciones/20130702101738_2013%2006%2028%20-%20Challenges%20facing%20the%20mining%20industry%20VF.pdf

Buyle, M., Braet, J., & Audenaert, A. (2013). Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26 (0), 379-388.

Campero, M., & Alarcón, L. F. (1999). *Administración de proyectos civiles*. Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile. 322p.

Cochilco (2013). *Inversión, exploración e insumos estratégicos para la minería*. Santiago, Chile: Comisión Chilena del Cobre.

De Solminihac, H. (2012). *Chile país minero: Una oportunidad laboral*. Recuperado el 10 de Noviembre, 2012, desde http://www.expomin.cl/marketing/pdf/2012/presentacion_ministro_solminihac.pdf

De Valence, G. (2005). Production theory and construction productivity. *Proceedings for the 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 13*, Sydney, NSW. 135-141.

Do Amaral, T., Celestino, P., Fernandes, J., Brito, M., & Ferreira, M. (2012). Presence of lean construction principles in the civil construction market in the state of goiás. *Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 20*, San Diego, USA.

Dos Santos, A., Powell, J., Sharp, J., & Formoso, C. (1998). Principle of transparency applied in construction. *Proceedings for the 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 6*, Guarujá, Brazil.

Dunstan, K., Lavin, B., & Sanford, R. (2006). The application of lean manufacturing in a mining environment. *International Mine Management 2006, October 16 - October 18, 2006*, 145-157.

Freire, J., & Alarcón, L. F. (2002). Achieving lean design process: Improvement methodology. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(3), 248-256.

GEPUC. (2012a). *Informe avance mes 2, cierre etapa 1*. Programa de Mejoramiento de Productividad mediante Implementación de Filosofía Lean. Santiago, Chile: Centro de Excelencia de la Producción. 89p.

GEPUC. (2012b). *Propuesta programa de mejoramiento de productividad mediante implementación de filosofía lean*. Santiago, Chile: Centro de Excelencia de la Producción. 33p.

Hattingh, T., & Keys, O. (2010). How applicable is industrial engineering in mining? *Platinum in Transition 'Boom Or Bust', 4th International Platinum Conference*, Sun City, South Africa. 205-210.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (1998). *Metodología de la investigación* (2a ed.). México: McGraw-Hill. 501p.

Howell, G., & Ballard, G. (1998). Implementing lean construction: Understanding and action. *Proceedings for the 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 6*, Guarujá, Brasil.

Howell, G., Ballard, G., & Tommelein, I. (2011). Construction engineering - reinvigorating the discipline. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(10), 740-744.

Kidder, L., & Judd, C. (1986). *Research methods in social relations* (5a ed.). New York: Holt, Rinehart & Winston. 573p.

Klippel, A., Petter, C., & Antunes Jr., J. (2008a). Lean management implementation in mining industries. *DYNA*, 75(154), 81-89.

Klippel, A., Petter, C., & Antunes Jr., J. (2008b). Management innovation, a way for mining companies to survive in a globalized world. *Utilities Policy*, 16(4), 332-333.

Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Center for Integrated Facility Engineering. Department of Civil Engineering. Stanford University.

Kotter, J. (1995), Leading change: Why transformation efforts fail. *Harvard Business Review*, March-April, 59-66.

Leal, M., & Alarcón, M. (2010). Quantifying impacts of last planner™ implementation in industrial mining projects. *Proceedings for the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 18*, Haifa. 518-527.

Leal, M. (2010). *Impactos de la implementación del sistema last planner en obras de montaje industrial en minería*. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Macdonald, B., & Walker, R. (1975). Case study and the social philosophy of education research. *Cambridge Journal of Education*, 5(1), 2-12.

Mac-Lean, A. (2012). *Proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre 2012-2020*. Recuperado el 5 de Julio, 2013, desde http://www.cochilco.cl/descargas/presentaciones/mercados/consumo_energia_electrica_cobre.pdf

Mac-Lean, A. (2013). *Competitividad de la minería chilena*. Recuperado el 6 de Julio, 2013, desde

http://www.cochilco.cl/archivos/presentaciones/20130702160733_Presentaci%C3%B3n%20Lanzamiento%20Anuario%20Cochilco.pdf

Martín, Q. (2001). *Contrastes de hipótesis*. Madrid: La Muralla. 118p.

Nave, D. (2002). How to compare six sigma, lean and theory of constraints: A framework for choosing what's best for your organization. *Quality Progress*, March, 73-78.

Ohno, T. (1988). *The toyota production system: Beyond large-scale production* (1a ed.). Portland, Oregon: Taylor & Francis.

Ortiz, F. (2010). Reducción de tiempos de preparación: un enfoque práctico. *4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, XIV Congreso De Ingeniería De Organización*, San sebastián. 1029-1036.

Pavez, I., & Alarcón, L. F. (2008). Lean construction professional's profile (LCPP): Implementation in Chilean contractor organizations. *Proceedings for the 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 16*, Manchester. 231-240.

Pérez, V. (2013). *Perspectivas de la inversión en la minería chilena*. Recuperado el 10 de Julio, 2013, desde http://www.cochilco.cl/archivos/presentaciones/20130702161527_2013%2005%2008%20EDIFICA%202013%20VPEREZ.pdf

Rashid, M., & Heravi, G. (2012). A lean management approach for power plant construction projects: Wastes identification and assessment. *Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 20*, San Diego, USA.

Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda*. Brookline, Massachusetts: The Lean Enterprise Insitute.

Sanda, M. A., Johansson, B., & Johansson, J. (2011a). Conceptualization of the attractive work environment and organizational activity for humans in future deep mines. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 50, 1017-1023.

Sanda, M. A., Johansson, J., & Johansson, B. (2011b). Miners' tacit knowledge: A unique resource for developing human-oriented lean mining culture in deep mines. *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM2011*, Singapore. 399-404.

SERNAGEOMIN. (2013). *Anuario de la minería de Chile 2012*. Santiago, Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería.

Shukla, R., & Trivedi, M. (2012). Productivity improvement in coal mining industry by using lean manufacturing. *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development*, 6, 580-587.

Siegel, S., & Castellan, N. (1995). *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta* (4a ed.). México: Trillas. 437p.

Simons, H. (2011). *El estudio de caso: Teoría y práctica*. Madrid, España: Ediciones Morata. 262p.

Stake, R. (1998). *Investigación con estudio de casos* (4a ed.) Madrid, España: Ediciones Morata. 159p.

Wijaya, A., Kumar, R., & Kumar, U. (2009). Implementing lean principle into mining industry issues and challenges. *International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, Banff, Canada. 1-9.

Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. New York: Simon & Schuster. 351p.

Womack, J., Jones, D., & Ross, D. (1990). *The machine that changed the world: Based on the massachusetts institute of technology 5-million-dollar 5-year study on the future of the automobile*. New York: Rawson Associates. 323p.

Yin, R. (1994). *Case study research: Design and methods*. Thousand Oaks, CA: Sage. 171p.

Yin, R. (2009). *Case study research: Design and methods* (4a ed.). Los Angeles, CA: Sage. 219p.

Yingling, J. C., Detty, R. B., & Sottile Jr., J. (2000). Lean manufacturing principles and their applicability to the mining industry. *Mineral Resources Engineering*, 9(2), 215-238.

ANEXOS

ANEXO A: DETALLES DEL INDICADOR EFICIENCIA DEL TIEMPO

Las definiciones y comentarios a continuación fueron generadas por una empresa contratada por el mandante para el “Estudio de Tiempos de Empresas Contratistas de Obras”. En este estudio se puede destacar las siguientes definiciones relevantes:

- **Tiempo en postura bruto (T.EPB):** Es el tiempo transcurrido desde la llegada a la postura al inicio del turno hasta la salida desde la postura al final del turno, incluyendo el tiempo destinado a la colación, y el traslado desde y hacia el casino.
- **Tiempo en transporte y colación (T.ECTC):** Es el tiempo utilizado de ida y regreso para trasladarse entre la postura y el casino, incluyendo el tiempo destinado a colación.
- **Tiempo en postura neto (T.EPN):** Es el tiempo transcurrido desde la llegada a la postura al inicio del turno hasta la salida desde la postura al final del turno, sin considerar el tiempo destinado a la colación, y el traslado desde y hacia el casino; es decir, es el tiempo que potencialmente podría llegar a ser tiempo efectivo de trabajo.
- **Tiempo entre casa de cambio y el Barrio Cívico (T.CO.BC):** Es el tiempo transcurrido de ida y regreso entre la casa de cambio (Colon-Barahona) y el barrio cívico. **Tiempo entre el Barrio Cívico y la instalación de faena (T.BC.IN):** Es el tiempo utilizado de ida y regreso para trasladarse entre el barrio cívico y la instalación de faena.
- **Tiempo entre la instalación de faena y la postura (T.IN.PO):** Es el tiempo utilizado de ida y regreso para trasladarse entre la instalación de faena y la postura.
- **Tiempo en Codelco (T.CODELCO):** Es el tiempo transcurrido desde la llegada al barrio cívico al inicio del turno hasta la salida desde el mismo punto al final del turno.
- **Tiempo en el sistema (T.SISTEMA):** Es el tiempo transcurrido entre la salida desde la casa de cambio hasta la llegada de regreso al mismo punto.

Para el análisis del uso y distribución del tiempo se estudia cómo las empresas utilizaron el Tiempo en Postura Neto (T.EPN), considerando las siguientes categorías de actividades:

- **Actividades que agregan valor (AVA):** Son las actividades que generan valor y por medio de las cuales se logran los objetivos establecidos. Dentro de esta categoría están definidas las siguientes actividades:
 - Materialización de la obra (MO)
 - Preparación de materiales (PM)
 - Movimiento de materiales (MM)
- **Actividades de soporte (SOP):** Son las actividades que se requieren para realizar en forma complementaria las Actividades que Agregan Valor. Dentro de esta categoría están definidas las siguientes actividades:
 - Limpieza (LI)
 - Instrucciones del jefe (IJ)
 - Actividades previas o posteriores (AP)
 - Distribución de materiales (DM)
 - Trabajos de prevención de riesgos (PR)
- **Detenciones autorizadas (DAU):** Corresponden a todas las detenciones que son autorizadas por la jefatura y/o por Codelco. En esta categoría se encuentran:
 - Pausa autorizada (PA)
 - Charlas de inicio de jornada (CI)
- **Actividades que no agregan valor (NAV):** Corresponden a todas las actividades que no agregan valor y que por ende no aportan al cumplimiento de las tareas encomendadas. En esta categoría se tienen las siguientes actividades:
 - No está trabajando (XX)
 - Ausente (AU)
 - Reparación (RE)
 - Re trabajo (RT)

- Transporte improductivo de materiales (TI)

ANEXO B: SALIDAS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN SPSS

Interferencias														
Caso N°1	Resumen de prueba de hipótesis <table><tr><th></th><th>Hipótesis nula</th><th>Test</th><th>Sig.</th><th>Decisión</th></tr><tr><td>1</td><td>La distribución de Interferencias es la misma entre las categorías de Tiempo.</td><td>Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes</td><td>,001¹</td><td>Rechazar la hipótesis nula.</td></tr></table> Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05 ¹Se muestra la significancia exacta para esta prueba.					Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión	1	La distribución de Interferencias es la misma entre las categorías de Tiempo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,001 ¹	Rechazar la hipótesis nula.
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión										
1	La distribución de Interferencias es la misma entre las categorías de Tiempo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,001 ¹	Rechazar la hipótesis nula.										
Caso N°2	Resumen de prueba de hipótesis <table><tr><th></th><th>Hipótesis nula</th><th>Test</th><th>Sig.</th><th>Decisión</th></tr><tr><td>1</td><td>La distribución de Interferencias es la misma entre las categorías de Tiempo.</td><td>Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes</td><td>,005¹</td><td>Rechazar la hipótesis nula.</td></tr></table> Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05 ¹Se muestra la significancia exacta para esta prueba.					Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión	1	La distribución de Interferencias es la misma entre las categorías de Tiempo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,005 ¹	Rechazar la hipótesis nula.
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión										
1	La distribución de Interferencias es la misma entre las categorías de Tiempo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,005 ¹	Rechazar la hipótesis nula.										
Caso N°3	Resumen de prueba de hipótesis <table><tr><th></th><th>Hipótesis nula</th><th>Test</th><th>Sig.</th><th>Decisión</th></tr><tr><td>1</td><td>La distribución de Interferencias es la misma entre las categorías de Tiempo.</td><td>Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes</td><td>,286¹</td><td>Retener la hipótesis nula.</td></tr></table> Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05 ¹Se muestra la significancia exacta para esta prueba.					Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión	1	La distribución de Interferencias es la misma entre las categorías de Tiempo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,286 ¹	Retener la hipótesis nula.
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión										
1	La distribución de Interferencias es la misma entre las categorías de Tiempo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,286 ¹	Retener la hipótesis nula.										

	Confiabilidad de programa										
Caso N°1	Resumen de prueba de hipótesis<table><tr><th></th><th>Hipótesis nula</th><th>Test</th><th>Sig.</th><th>Decisión</th></tr><tr><td>1</td><td>La distribución de conf_programa es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.</td><td>Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes</td><td>,607¹</td><td>Retener la hipótesis nula.</td></tr></table> Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05 ¹Se muestra la significancia exacta para esta prueba.		Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión	1	La distribución de conf_programa es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,607 ¹	Retener la hipótesis nula.
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión							
1	La distribución de conf_programa es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,607 ¹	Retener la hipótesis nula.							
Caso N°2	Resumen de prueba de hipótesis<table><tr><th></th><th>Hipótesis nula</th><th>Test</th><th>Sig.</th><th>Decisión</th></tr><tr><td>1</td><td>La distribución de conf_programa es la misma entre las categorías de Tiempo.</td><td>Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes</td><td>,020¹</td><td>Rechazar la hipótesis nula.</td></tr></table> Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05. ¹Se muestra la significancia exacta para esta prueba.		Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión	1	La distribución de conf_programa es la misma entre las categorías de Tiempo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,020 ¹	Rechazar la hipótesis nula.
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión							
1	La distribución de conf_programa es la misma entre las categorías de Tiempo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,020 ¹	Rechazar la hipótesis nula.							
Caso N°3	Resumen de prueba de hipótesis<table><tr><th></th><th>Hipótesis nula</th><th>Test</th><th>Sig.</th><th>Decisión</th></tr><tr><td>1</td><td>La distribución de conf_programa es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.</td><td>Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes</td><td>1,000¹</td><td>Retener la hipótesis nula.</td></tr></table> Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05 ¹Se muestra la significancia exacta para esta prueba.		Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión	1	La distribución de conf_programa es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	1,000 ¹	Retener la hipótesis nula.
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión							
1	La distribución de conf_programa es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	1,000 ¹	Retener la hipótesis nula.							

	Productividad										
Caso N°1	Resumen de prueba de hipótesis<table><tr><th></th><th>Hipótesis nula</th><th>Test</th><th>Sig.</th><th>Decisión</th></tr><tr><td>1</td><td>La distribución de Productividad es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.</td><td>Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes</td><td>,026¹</td><td>Rechazar la hipótesis nula.</td></tr></table> Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05 ¹Se muestra la significancia exacta para esta prueba.		Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión	1	La distribución de Productividad es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,026 ¹	Rechazar la hipótesis nula.
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión							
1	La distribución de Productividad es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,026 ¹	Rechazar la hipótesis nula.							
Caso N°2	Resumen de prueba de hipótesis<table><tr><th></th><th>Hipótesis nula</th><th>Test</th><th>Sig.</th><th>Decisión</th></tr><tr><td>1</td><td>La distribución de Productividad es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.</td><td>Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes</td><td>,224¹</td><td>Retener la hipótesis nula.</td></tr></table> Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,04 ¹Se muestra la significancia exacta para esta prueba.		Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión	1	La distribución de Productividad es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,224 ¹	Retener la hipótesis nula.
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión							
1	La distribución de Productividad es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,224 ¹	Retener la hipótesis nula.							
Caso N°3	Resumen de prueba de hipótesis<table><tr><th></th><th>Hipótesis nula</th><th>Test</th><th>Sig.</th><th>Decisión</th></tr><tr><td>1</td><td>La distribución de Productividad es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.</td><td>Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes</td><td>,548¹</td><td>Retener la hipótesis nula.</td></tr></table> Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,04 ¹Se muestra la significancia exacta para esta prueba.		Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión	1	La distribución de Productividad es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,548 ¹	Retener la hipótesis nula.
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión							
1	La distribución de Productividad es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,548 ¹	Retener la hipótesis nula.							

	Avance físico										
Caso N°1	Resumen de prueba de hipótesis <table><tr><th></th><th>Hipótesis nula</th><th>Test</th><th>Sig.</th><th>Decisión</th></tr><tr><td>1</td><td>La distribución de Avance_físico es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.</td><td>Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes</td><td>,036¹</td><td>Rechazar la hipótesis nula.</td></tr></table> Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05 ¹Se muestra la significancia exacta para esta prueba.		Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión	1	La distribución de Avance_físico es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,036 ¹	Rechazar la hipótesis nula.
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión							
1	La distribución de Avance_físico es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,036 ¹	Rechazar la hipótesis nula.							
Caso N°2	Resumen de prueba de hipótesis <table><tr><th></th><th>Hipótesis nula</th><th>Test</th><th>Sig.</th><th>Decisión</th></tr><tr><td>1</td><td>La distribución de Avance_físico es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.</td><td>Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes</td><td>,181¹</td><td>Retener la hipótesis nula.</td></tr></table> Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05 ¹Se muestra la significancia exacta para esta prueba.		Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión	1	La distribución de Avance_físico es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,181 ¹	Retener la hipótesis nula.
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión							
1	La distribución de Avance_físico es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,181 ¹	Retener la hipótesis nula.							
Caso N°3	Resumen de prueba de hipótesis <table><tr><th></th><th>Hipótesis nula</th><th>Test</th><th>Sig.</th><th>Decisión</th></tr><tr><td>1</td><td>La distribución de Avance_físico es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.</td><td>Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes</td><td>,167¹</td><td>Retener la hipótesis nula.</td></tr></table> Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05 ¹Se muestra la significancia exacta para esta prueba.		Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión	1	La distribución de Avance_físico es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,167 ¹	Retener la hipótesis nula.
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión							
1	La distribución de Avance_físico es la misma entre las categorías de Tiempo_largo.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,167 ¹	Retener la hipótesis nula.							

ANEXO C: ENCUESTA DE LA IMPLEMENTACIÓN

Encuesta de la Implementación: “Programa de Mejoramiento de Productividad mediante Implementación de Filosofía LEAN”

Esta encuesta está orientada a todos los profesionales que participaron y/o estuvieron involucrados activamente en el proceso de implementación. Para responder la encuesta, debe leer atentamente todas las preguntas y responder la totalidad de éstas. Además, considere su opinión general del tema, incluso en aquellas preguntas que no está seguro.

Empresa:

Proyecto:

Cargo:

Fecha:

1. Desempeño global

De acuerdo a su percepción general, considere el proyecto antes y después de la implementación. Según esto, evalúe si ha impactado positiva o negativamente la implementación realizada de acuerdo a los siguientes aspectos, relacionados al desempeño global del proyecto:

	Impacto altamente negativo	Impacto negativo	Impacto levemente negativo	No hubo impacto	Impacto levemente positivo	Impacto positivo	Impacto altamente positivo
Seguridad							
Calidad							
Plazos							
Costos							
Avance físico							
Productividad							
Interferencias							

2. Gestión del proyecto

De acuerdo a su percepción general, considere el proyecto antes y después de la implementación. Según esto, evalúe si ha impactado positiva o negativamente la implementación realizada de acuerdo a los siguientes aspectos, relacionados a la gestión y organización:

	Impacto altamente negativo	Impacto negativo	Impacto levemente negativo	No hubo impacto	Impacto levemente positivo	Impacto positivo	Impacto altamente positivo
Trabajo en equipo							
Participación							
Comunicación							
Compromiso							
Planificación							
Control (seguimiento de act.)							
Supervisión							
Aprendizaje y mejoramiento							
Identificación de restricciones							
Liberación de restricciones							

3. Compromiso con la implementación

Tomando en cuenta su percepción general, ¿cómo cree que ha sido el nivel de compromiso con la implementación realidad? (Considere su compromiso personal, el de su empresa y el mandante).

	Nulo	Bajo	Significativo	Alto
Personal				
Empresa				
Mandante				

4. Metodología

Considerando su opinión, evalúe la importancia en el éxito de la implementación las distintas acciones realizadas, identificando si participó o no en éstas:

	Nula	Baja	Significativa	Alta	¿Participó?
Plan comunicacional (afiches, folletos, etc.)					
Implementación de Last Planner®					
Talleres de personas (trabajo en equipo)					
Taller de <i>LEAN</i> (talleres inicial)					
Taller de identificación de pérdidas (fallas)					
Aplicación de VSM (análisis de un proceso)					
Gestión visual (paneles, pizarras, etc.)					
Coordinación operacional					

Considere el caso de implementaciones futuras, evalúe la importancia de la participación de los siguientes actores en las actividades a realizar:

	Nula	Baja	Significativa	Alta
Mandante				
Administrador de Contrato				
Jefe de OCCC				
Jefe de Minería				
Jefe de Of. Técnica				
Jefe de Terreno				
Jefe de Turno				
Jefes de Nivel				
Jefe de mantenimiento				
Jefe de Adquisiciones				
Jefe de Servicios				
Encargado de Calidad				
Prevencionista de Riesgos				
Subcontratos				
Otros:				

A su juicio, ¿cuáles son las principales barreras que dificultaron la implementación?:

Barrera 1	
Barrera 2	
Barrera 3	

Si pudiera dar recomendaciones a la implementación, ¿Cuáles serían?:

Sugerencia 1	
Sugerencia 2	
Sugerencia 3	

Considerando su opinión personal, ¿cuáles son los aspectos positivos que más valora y destaca de la implementación?:

Aspecto 1	
Aspecto 2	
Aspecto 3	

5. Opinión general

Evalúe su nivel de satisfacción de acuerdo a la implementación realizada. (Utilice una escala de notas 1 al 7, considerando 1 como mínima satisfacción y 7 como máxima satisfacción).

	Nota (1 a 7)
Talleres iniciales	
Herramientas utilizadas (Last Planner®, talleres, plan comunicacional, VSM, paneles, etc.)	
Gestión de personas	
Beneficios de la implementación	
Capacidad para continuar con lo aprendido	

Si pudiera tomar la decisión de continuar con la implementación o repetir una instancia de este estilo, ¿consideraría su utilización en un proyecto futuro?

	Nunca más	Indiferente	Sólo si está disponible	Trataría de usarlo	Siempre lo usaría
Implementación futura					

¡Muchas gracias!

ANEXO D: MODELO PROPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN *LEAN*

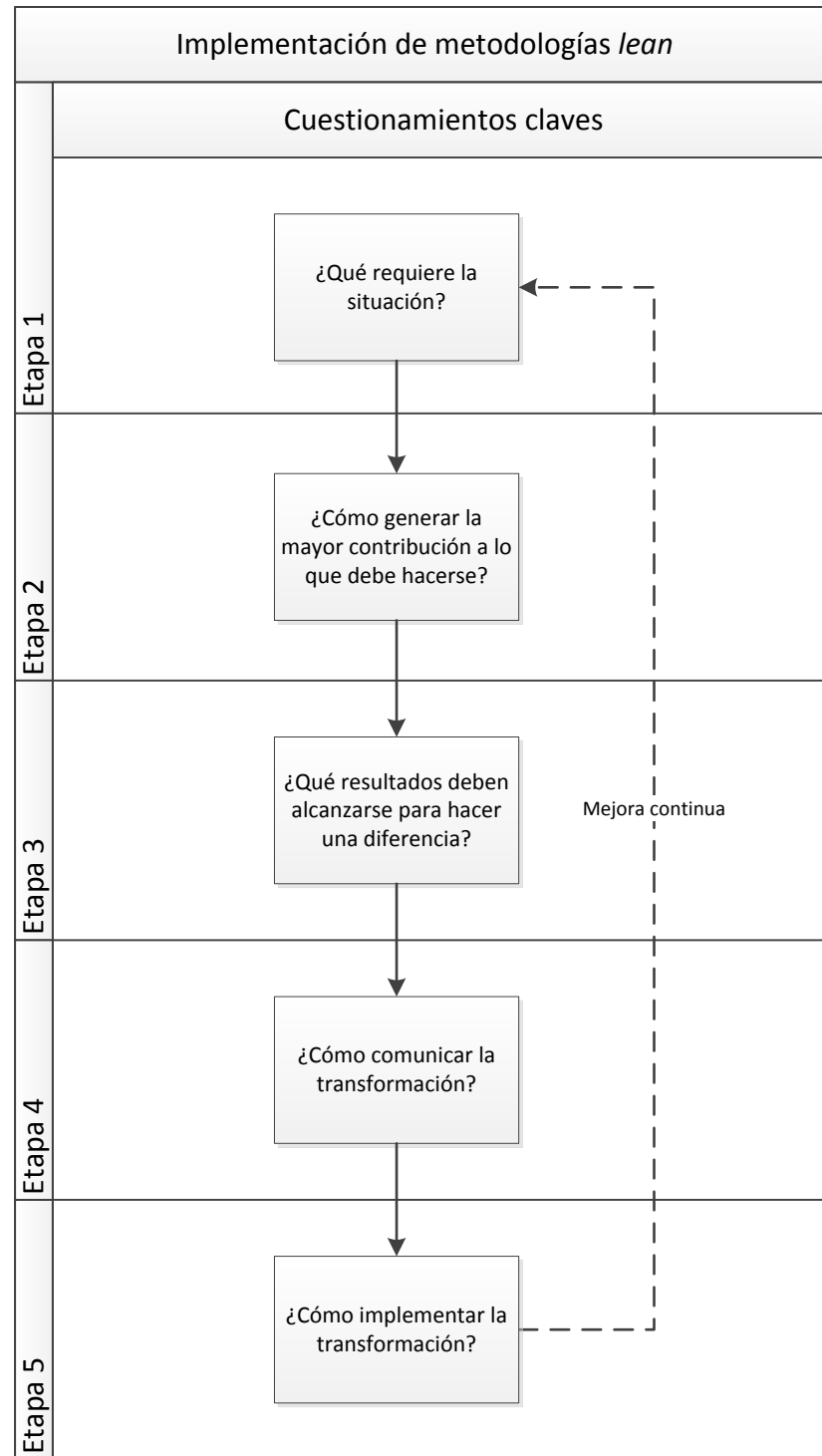


Diagrama general del modelo propuesto

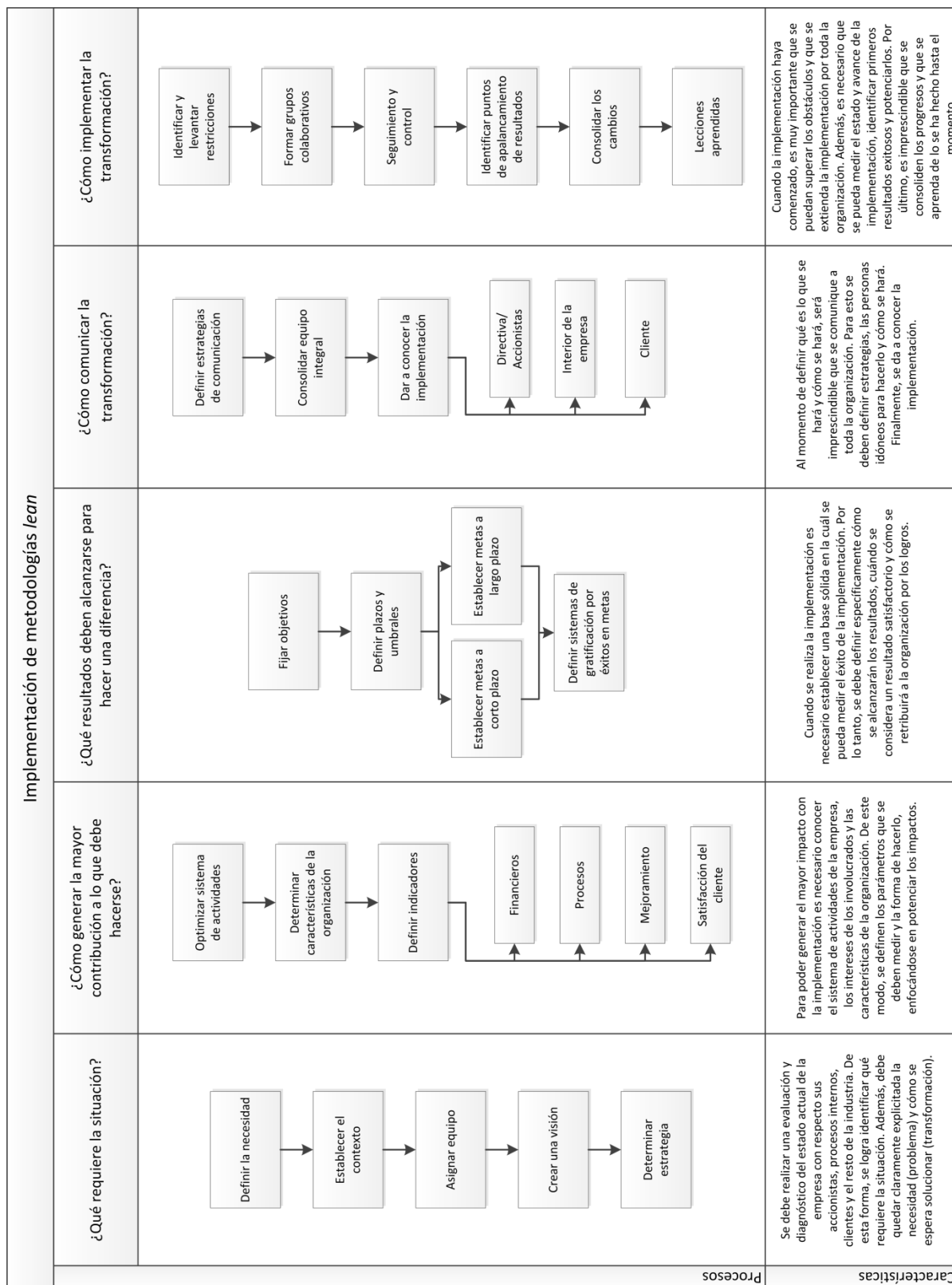
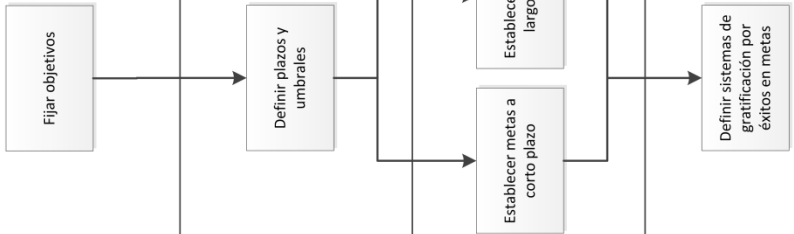


Diagrama ampliado del modelo propuesto

Implementación de metodologías <i>lean</i> - ¿Qué requiere la situación?					
Procesos	Preguntas	Metodologías/Herramientas	Participantes	Entregables	
Definir la necesidad	¿Existen problemas cuya solución sea urgente? ¿Cuáles? ¿Se está conforme con la visión, rentabilidad, competitividad y estrategia de la empresa? ¿Qué se desea mejorar a nivel estratégico y a nivel operacional?	Taller ejecutivo	- Facilitador - Ejecutivos de la alta dirección	- Problemas a resolver - Directrices de la transformación - Solución general	
Establecer el contexto	¿Cuál es el camino recorrido? ¿Cuál es la estructura organizacional? ¿Cómo es la cultura interna y externa? ¿Cómo son los procesos actuales? ¿Cuál es el estado de la industria?	- Recopilación de documentación interna y externa - Entrevistas semi-estructuradas - VSM a nivel estratégico - Diagrama causa-efecto - Diagrama de Pareto	- Facilitador - Ejecutivos de la alta dirección - Ejecutivos colaboradores	- Diagnóstico integral documentado - Listado de posibles riesgos - Solución general modificada	
Asignar equipo	¿Se poseen los recursos para formar un equipo? ¿Es el equipo poderoso y empoderado? ¿Tiene el equipo la capacidad para liderar la transformación? ¿Quiénes deberían estar en el equipo considerando la necesidad y el contexto?	Taller ejecutivo	- Facilitador - Ejecutivos de la alta dirección	Equipo líder de la transformación	
Crear una visión	¿Cómo se pueden alinear esfuerzos? ¿Cómo cambia la visión actual respecto a las necesidades y el contexto? ¿Cómo debe ser la visión para lograr el éxito? ¿Cuáles son los valores de la empresa?	- Taller ejecutivo - Aplicación de 5 porqués - Identificación de ideologías centrales	- Equipo líder de la transformación - Ejecutivos de la alta dirección	Visión actualizada	
Determinar estrategia	¿Qué se debe hacer para materializar la solución? ¿Qué pasaría si nada se hace? ¿Cómo cambiará el sistema de actividades? ¿Cómo se puede discretizar el problema y la solución? ¿Cómo son los factores críticos? (Tiempo, organización, comunicación, aprendizaje) ¿Cuál es el negocio? ¿Cuál debería ser?	- Taller colaborativo - Análisis FODA - Discretización de estrategias (global, funcional y operacional)	- Equipo líder de la transformación - Jefes de departamentos	- Estrategia actualizada - Plan de acción - Fases de trabajo	

Etapa 1 del modelo propuesto

Implementación de metodologías <i>lean</i> - ¿Cómo generar la mayor contribución a lo que debe hacerse?				
Procesos	Preguntas	Metodologías/Herramientas	Participantes	Entregables
<pre> graph TD A[Optimizar sistema de actividades] --> B[Determinar características de la organización] B --> C[Definir indicadores] C --> D[Financieros] C --> E[Procesos] C --> F[Mejoramiento] C --> G[Satisfacción del cliente] </pre>	¿Cuáles son las actividades que permiten el desarrollo del negocio? ¿Qué actividades agregan valor? ¿Cuáles no? ¿Cuáles actividades son críticas? ¿Es correcto el funcionamiento del sistema? ¿Cómo se podría mejorar?	- Talleres interactivos en distintos niveles de la empresa - Mapeo del flujo de valor (VSM)	- Equipo líder de la transformación - Trabajadores de distintos departamentos y niveles (grupo integral)	- Mapa del flujo de valor a nivel estratégico y operacional; estado actual y estado futuro - Oportunidades de mejora del sistema de actividades
	¿Cuáles son las competencias técnicas? ¿Cuáles son las competencias sociales? ¿Cómo es la cultura de la empresa? ¿Cuáles son los principales intereses personales? ¿Qué aspectos se deben potenciar? ¿Qué aspectos se deben mejorar?	- Entrevistas semi-estructuradas - Encuestas - Evaluación y análisis de LCPP (Lean Construction Professional Profile)	- Equipo líder de la transformación - Trabajadores de distintos departamentos y niveles (grupo integral)	- Fortalezas - Debilidades - Competencias a potenciar - Competencias a desarrollar
	¿Qué procesos se deberían medir? ¿Cómo? ¿Es correcta la forma de medir los procesos actuales? ¿Se podría mejorar? ¿Cómo? ¿Qué indicadores se deberían controlar para optimizar el sistema de actividades conforme a las características de la organización? ¿Qué indicadores se deben controlar para lograr una transformación exitosa?	- Taller colaborativo - Análisis del sistema de gestión actual	- Equipo líder de la transformación - Ejecutivos de la alta dirección - Jefes de departamento	- Oportunidades de mejora al sistema de gestión - Indicadores (mediciones) principales - Intereses de los principales involucrados (accionistas, empresa y cliente)
Etapa 2 del modelo propuesto				

Implementación de metodologías <i>lean</i> - ¿Qué resultados deben alcanzarse para hacer una diferencia?					
Procesos	Preguntas	Metodologías/Herramientas	Participantes	Entregables	
	¿Qué actividades se deben realizar para materializar la solución conforme a la estrategia adoptada? ¿Es coherente la forma de controlarla? ¿Se pueden medir? ¿Cómo? ¿Cuál es el propósito de los indicadores seleccionados anteriormente? ¿Porqué se eligieron? ¿Existen barreras que se deban eliminar para lograr la implementación? ¿Cómo se pueden eliminar? ¿Tienen el foco correcto los objetivos seleccionados? ¿Cuál es el plazo que se dispone para realizar la implementación? ¿Cuál es plazo que se necesita? ¿Cuál es el plazo en que se hará? ¿Son los recursos disponibles suficientes para el plazo? ¿Se debe modificar alguno? ¿Cómo? ¿Cuáles son los criterios para definir el éxito de la implementación? ¿Cuáles son los umbrales de los indicadores seleccionados que definen una transformación exitosa? ¿Cuáles son las mejoras en el desempeño que se necesitan a corto plazo? ¿Cuáles son las mejoras en el desempeño que se necesitan a largo plazo? ¿Es posible planificar y crear triunfos de corto plazo que potencien la transformación? ¿Qué pasaría si no se logran ciertas metas en los momentos indicados? ¿Cómo se pueden celebrar las mejoras en el desempeño? ¿Es posible que parte de los beneficios de la transformación se distribuya en la propia organización para aumentar el compromiso? ¿Cómo se hará? ¿Cómo se puede motivar a la organización a seguir trabajando por la transformación?	- Taller colaborativo - Matriz causa-efecto - Análisis modal de fallos y efectos	- Equipo líder de la transformación - Jefes de departamentos	- Objetivos de la transformación - Actividades e instancias de trabajo - Actividades de soporte - Recursos a utilizar	
		- Taller colaborativo - Análisis de los intereses de los principales involucrados (accionistas, empresa y cliente) - Nivelación de recursos - Asignación de recursos	- Equipo líder de la transformación - Jefes de departamentos	- Programa de trabajo - Estándar de transformación (criterios y umbrales) - Modificación de recursos	
		- Taller colaborativo - Análisis de escenarios (establecer sentido de urgencia)	- Equipo líder de la transformación - Jefes de departamentos	- Metas a corto plazo - Metas a largo plazo	
		- Taller colaborativo - Análisis de costos	- Equipo líder de la transformación - Jefes de departamentos	- Sistema de gratificación - Propuesta de incentivos	

Etapa 3 del modelo propuesto

Implementación de metodologías <i>lean</i> - ¿Cómo comunicar la transformación?					
Procesos	Preguntas	Metodologías/Herramientas	Participantes	Entregables	
<pre> graph TD A[Definir estrategias de comunicación] --> B[Consolidar equipo integral] B --> C[Dar a conocer la implementación] C --> D[Directiva/ Accionistas] C --> E[Interior de la empresa] C --> F[Cliente] </pre>	¿Cómo se debería dar a conocer la transformación? ¿Cuáles son los canales de comunicación más eficaces y eficientes en la empresa? ¿Quiénes son los que deben conocer la transformación? ¿Existen actores más relevantes? ¿Están todas las áreas de trabajo consideradas? ¿Cuáles faltan? ¿Qué les interesa saber a los involucrados?	- Taller colaborativo - Análisis FODA	Equipo líder de la transformación	- Estrategias de comunicación - Plan de comunicación - Programa de comunicación	
	¿Quiénes son los que deberían dar a conocer la transformación? ¿Quiénes son los más escuchados dentro de sus áreas de trabajo? ¿Quiénes pueden apoyar difundiendo la transformación? ¿Existen comunicadores en todas las áreas de trabajo consideradas? ¿Quiénes faltan?	- Taller colaborativo - Análisis de las características de la organización	- Equipo líder de la transformación - Jefes de departamentos	Equipo integral	
	¿Qué se debe hacer para que toda la organización se entere de la transformación? ¿Qué ejemplos se pueden dar para potenciar el compromiso con la transformación? ¿Qué barreras impiden el correcto conocimiento de la transformación? ¿Cómo se pueden solucionar? ¿Cómo se puede la desconfianza y el miedo al cambio? ¿Qué les interesa a los accionistas? ¿Cómo se debe comunicar? ¿Qué les interesa a los trabajadores dentro de la empresa? ¿Cómo se debe comunicar? ¿Qué le interesa al cliente? ¿Cómo se debe comunicar?	- Clases expositivas - Talleres interactivos - Parfleto informativos - Gestión visual (Afiches, paneles, etc.)	- Toda la organización - Cliente - Accionistas	Sistema de comunicación	

Etapa 4 del modelo propuesto

Implementación de metodologías <i>lean</i> - ¿Cómo implementar la transformación?					
Procesos	Preguntas	Metodologías/Herramientas	Participantes	Entregables	
Identificar y levantar restricciones	¿Qué problemas se encuentran que impiden avanzar en la transformación? ¿Cómo se pueden solucionar? ¿Existen agentes externos que dificultan la transformación? ¿Cómo se pueden eliminar o apaciguar?	- Talleres colaborativos - Entrevistas semi-estructuradas a diferentes actores - Diagrama causa-efecto - Aplicación de 5 porqués	- Equipo líder de la transformación - Muestra heterogénea de la organización	- Restricciones más relevantes - Plan de acción para liberar restricciones - Responsables	
Formar grupos colaborativos	¿Quiénes deben ser facultados para que potencien la transformación? ¿Quiénes lideran cada área de la organización? ¿Cómo se puede promover la iniciativa?	- Taller colaborativo - Análisis mediante redes neuronales <i>Team building</i> - Eventos <i>kaizen</i>	- Equipo líder de la transformación - Jefes de departamentos	Grupos colaborativos	
Seguimiento y Control	¿Cómo se desarrolla la transformación según lo planificado? ¿Se pueden anticipar problemas? ¿Qué medidas preventivas se pueden tomar? ¿Existen problemas que se deban solucionar? ¿Qué medidas correctivas se deben tomar?	- Metodología A3 respecto a la transformación - Gestión visual - Análisis de indicadores - Evaluación de implementación (cumplimiento de objetivos, metas, programa, etc.)	Equipo líder de la transformación	- Medidas preventivas - Medidas correctivas - Actualización de la implementación (objetivos, programa, metas, etc.)	
Identificar puntos de apalancamiento de resultados	¿Qué resultados han sido los más satisfactorios? ¿Cómo se pueden potenciar esos resultados? ¿Existen resultados que se puedan extender a otras áreas de la empresa? ¿Cómo se puede hacer? ¿A qué se deben las mejoras en el desempeño? ¿Cómo se puede aprovechar el éxito para hacer más cambios?	- Taller colaborativo - Coincidencia de patrones - Relaciones causales - Series temporales - Análisis estadístico	- Equipo líder de la transformación - Grupos colaborativos	Puntos de apalancamiento	
Consolidar los cambios	¿Cómo se puede demostrar la mejora que se ha obtenido? ¿Qué cambios han contribuido a la mejora de desempeño? ¿Cómo se pueden consolidar los cambios en el sistema de actividades?	- Taller colaborativo - Estandarización	- Equipo líder de la transformación - Jefes de departamento	- Nuevos estándares de trabajo - Actualización del sistema de actividades	
Lecciones aprendidas	¿Cuáles han sido las características positivas de la transformación? ¿Qué aspectos se pueden mejorar? ¿Qué se desea para el futuro? ¿Cómo sea desea ver la empresa?	Taller de lecciones aprendidas	- Equipo líder de la transformación - Actores relevantes	- Mejoras metodológicas a la implementación - Aspectos a mejorar	

Etapa 5 del modelo propuesto