



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

**CATASTRO DE OPORTUNIDADES I+D EN INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA
MINERÍA DE BLOCK/PANEL CAVING**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

ERNESTO ANDRÉS LABBÉ VÁSQUEZ

**PROFESOR GUÍA:
RAÚL CASTRO RUIZ**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ELEONORA WIDZYK-CAPEHART
ERNESTO ARANCIBIA VILLEGAS**

**SANTIAGO DE CHILE
2014**

RESUMEN

La industria minera ha tenido que enfrentarse a diversos factores que la han obligado a innovar para mantener su competitividad. El aumento paulatino de los costos de operación por efecto del aumento de la profundidad y las dificultades operacionales propias de los yacimientos (disminución de las leyes, aumento de la dureza de la roca, condiciones mineralógicas adversas), ha llevado a la industria minera del cobre a emprender diversas mejoras en los procesos. Una de las formas de enfrentar este problema es la implementación de innovaciones tecnológicas que provoquen una importante reducción de los costos de operación

El objetivo de este trabajo es proponer una metodología que permita identificar oportunidades de investigación y desarrollo (I+D) con innovación tecnológica que entreguen solución a los problemas actuales y futuros para la operación minera. Esto es posible mediante un levantamiento de información de la literatura y la observación en terreno de la operación, una propuesta de etapas y actividades basadas en la investigación científica y priorización de los resultados.

La revisión de antecedentes bibliográficos permitió observar que Chile no cuenta con una cultura de innovación. Ha realizado esfuerzos pero sigue estando debajo de países como Australia y Canadá, que poseen una industria minera similar a la del país, lo cual se refleja en una inversión de cuatro y hasta cinco veces menor en I+D. Es necesario crear un proceso de gestión del cambio, es decir, gestión de la innovación y que sea un proceso cíclico realizado todos los años en las operaciones mineras.

Las actividades realizadas permitieron seguir una línea de investigación guiada y orientada a la captura de información de los expertos de cada área en una operación minera. De este modo, fue posible obtener un listado de temas de investigación para 31 potenciales iniciativas tecnológicas que pueden caer en las siguientes categorías: investigación académica, investigación aplicada o desarrollo industrial. Estas fueron priorizadas de manera preliminar según un costo estimado, una demanda de tiempo y el nivel de urgencia que solicita la operación ante este tema. El análisis de las iniciativas obtenidas se realiza con el propósito de determinar los temas de investigación de mayor interés para el Laboratorio de Block Caving, que solicita este trabajo, entendiendo que existe una necesidad de saber dónde destinar los recursos para I+D.

Es posible concluir que el método propuesto permite una captura básica de iniciativas tecnológicas que son de interés para la operación, sin embargo, es necesario robustecer esta metodología para que pueda ser implementada en una empresa minera y pueda generar un proceso de gestión de la innovación. Estas mejoras a la metodología se basan en poder asignar un valor de aporte a cada tema de investigación, lo cual es complicado de llevar a cabo debido ya que las iniciativas no son comparables entre sí en la mayoría de los casos y es necesario estandarizar este listado de temas con la ayuda del área de evaluación de proyectos.

Finalmente, como resultado final se selecciona a los diez temas de investigación de mayor potencial para el Laboratorio de Block Caving que son de interés y urgencia en la operación minera actual, indicando su prioridad para ser evaluados.

ABSTRACT

Mining industry has faced a number of factors that have forced them to innovate to stay competitive. The gradual increase in operating costs as a result of increased depth and deposit's characteristics (lower grades, increased hardness of the rock, mineralogical adverse conditions), has led to the copper mining industry to undertake various improvement processes. One way to address this problem is the implementation of technological innovations that can bring about a significant reduction in operating costs.

The aim of this paper is to propose a methodology to identify opportunities for research and development (R&D) with technological innovation that deliver solutions to current and future challenges for the mining operation. This is possible by gathering information from the literature and field observation of the operation, a proposed stages and based on scientific research results and prioritizing activities.

Review of background literature allowed to observe that Chile does not have a culture of innovation. It has made efforts but continues to be below countries like Australia and Canada, which have a similar mining industry of the country. You need to create a process of change management, i.e., management of innovation and is a cyclic process carried out every year in mining operations.

The activities allowed to continue a line of research guided and oriented to capture information from the experts in each area in a mining operation. Thus, it was possible to obtain a list of research topics for 31 potential technological initiatives that can fall into the following categories: academic research, applied research and industrial development. These were prioritized according to a preliminary cost estimate, request time and the level of urgency requesting the operation to this issue. The analysis of the obtained initiatives are performed in order to identify research topics of greatest interest to the Laboratory of Block Caving requesting this work, understanding that there is a need to know where to allocate resources to R&D .

We conclude that the proposed method allows a basic capture technology initiatives that are of interest for the operation, however, it is necessary to strengthen this methodology can be implemented in a mining company and can generate a process of innovation management. These improvements are based on the methodology to assign a value of each contribution to the research topic, which is difficult to carry out because since initiatives are not comparable in most cases and is necessary to standardize these listing topics with the help of area evaluation.

Finally, the end result is selected ten research topics of greatest potential for Block Caving Laboratory that are of interest and urgency in the current mining operation, indicating their priority for evaluation.

AGRADECIMIENTOS

A los académicos de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, por su compromiso con la ciencia y la excelencia.

A los académicos y funcionarios del Departamento de Ingeniería de Minas, por realizar el cumplimiento de su labor con el cariño que la tarea merece.

A mi familia, por su apoyo incondicional. En especial a mis padres, cada paso correcto que he dado en esta vida se debe a que he intentado parecerme un poco más a ellos.

A mi profesor guía, Dr. Raúl Castro, por su rigurosidad, entusiasmo, disposición y confianza en mi persona.

Al equipo de profesores de la comisión, por el aporte a través de sus ideas y opiniones que me entregaron de una manera clara y con la mejor disposición.

A la Superintendencia de Innovación de División El Teniente: Pedro, Juan Cristóbal, Edu Córdova, Sixto, Edu Urrutia, Marcela, Carito y Toño; por entregarme una gran cantidad de conocimientos en tan poco tiempo y darme la opción de ser parte de este gran grupo de expertos.

A mis amigos, los “Mineros difficult” que me acompañaron durante largas horas de estudio y traspase: Gabriela, Valentina, Gonzalo, Braulio, Rafael y Leopoldo. Gracias a su ayuda, la dura vida universitaria se transformó en una comedia.

A mi gran equipo minero “Los Refinos”, con los que gané cuatro campeonatos de baby fútbol e hicimos historia en el Mineirao y Bundesmina. Gracias a ustedes: Braulio, Miño, Lorca, Luengo, Víctor, Karl, René, Pato y Pipe, con los cuales viví siempre alegres momentos y espero sigan.

A mis compadres, Cone, Jaiva y Sergio, con los cuales he vivido las mejores anécdotas de mi vida universitaria. Algún día escribiré un libro con nuestras historias, para inmortalizar nuestra gran amistad.

*A mis padres,
por su amor infinito*

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: Introducción	1
1.1 Motivación de la investigación.....	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Alcances.....	5
1.5 Contenido de Capítulos	5
CAPÍTULO 2: Revisión bibliográfica	6
2.1 Quiebres tecnológicos en la minería.....	6
2.1.1 Descripción de principales quiebres	7
2.1.2 Comentarios finales	9
2.2 Concepto de innovación	9
2.2.1 Metodologías de Innovación.....	10
2.2.2 Tipos de innovación.....	15
2.3 Innovación en la Industria Minera.....	16
2.3.1 Indicadores de investigación y desarrollo.....	17
2.3.2 Centros de Innovación en Minería en Chile	19
2.4 El proceso de la investigación científica	25
2.4.1 Marco Conceptual.....	26
2.3.2 Definición del problema	26
2.3.3 Determinar la necesidad de la investigación	27
2.3.4 Determinar el objetivo de la investigación	28
2.3.5 Diseño de la investigación. Tipos de estudio.....	28
2.3.6 Método de recopilación de datos	29
2.5 Conclusiones del capítulo	29
CAPÍTULO 3: Propuesta Metodológica	30
3.1 Primera Etapa: Contexto.....	30
3.2 Segunda Etapa: Definición del Problema.....	30

3.1.1 Origen y Naturaleza del Problema.....	30
3.1.2 Análisis de antecedentes	31
3.3 Tercera Etapa: Ejes de la investigación.....	31
3.4 Cuarta Etapa: Determinación de la necesidad	31
3.5 Quinta Etapa: Identificación de Iniciativas tecnológicas	32
3.5.1 Workshop tecnológico División El Teniente / Proveedores.....	32
3.5.2 Workshop “Mine Planning” – Congreso Caving 2014.....	32
3.6 Sexta Etapa: Categorización preliminar de Iniciativas.....	33
3.7 Parámetros de categorización	33
3.8 Actividades de apoyo y herramientas.....	34
3.8.1 Focus group	34
3.8.2 Workshop estratégico	34
3.8.3 Benchmarking.....	34
3.9 Conclusiones del capítulo.....	35
CAPÍTULO 4: Aplicación de la Metodología	36
4.1 Contexto	36
4.2 El problema	36
4.2.1 Origen del problema	36
4.2.2 Análisis de antecedentes.....	38
4.3 Ejes para abordar problema	44
4.4 Necesidades	45
4.5 Iniciativas Tecnológicas	45
4.6 Categorización preliminar de iniciativas	46
4.7 Conclusiones del capítulo.....	47
CAPÍTULO 5: Resultados y análisis	48
5.1 Potenciales iniciativas tecnológicas capturadas	48
5.2 Categorización preliminar iniciativas tecnológicas.....	51
5.3 Análisis y discusión	57
CAPÍTULO 6: Conclusiones y recomendaciones	59
6.1 Conclusiones generales.....	59
6.2 Recomendaciones	61

BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	65
Anexo A: Actividad “Focus Group”	66
Anexo B: Actividad “Workshop estratégico/tecnológico”	67
Anexo 1B	67
1) Workshop Tecnológico – División El Teniente/ Proveedores	67
2) Perfil de participantes	68
Anexo 2B	69
1) Workshop “Mine Planning” – Congreso Caving 2014	69
2) Grupos y preguntas	70
3) Discusión final y conclusiones	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tendencia mundial de depósitos de cobre (Moss A., 2011)	2
Figura 2: Tendencia de razón minería subterránea/rajo, posterior a 2018 (Moss A., 2011)	3
Figura 3: Esquema objetivo general	4
Figura 4: Principales tecnologías para la operación minera creadas a lo largo de la historia	7
Figura 5: Proceso de innovación (Wang R., Chen J., Zhou G., 2004) [17].....	9
Figura 6: Procedimiento de operación de Lluvia de Ideas	11
Figura 7: Modelo de trabajo de I+D - CSIRO	21
Figura 8: Plataforma de Estrategia de Desarrollo I+D, AMTC-CSIRO	22
Figura 9: Modelo I+D+i AMTC-CSIRO.....	22
Figura 10: Esquema del Modelo de los Objetivos Integrados.....	23
Figura 11: Proceso de Investigación Científica (Namakforoosh, 2005)	25
Figura 12: Proceso de Teorización (Pádua J., 1979)	26
Figura 13: Metodología de captura de iniciativas I+D con innovación tecnológica.....	35
Figura 14: Evolución de tasas de producción diaria de grande minas subterráneas.....	37
Figura 15: Evolución de profundidad en minas subterráneas de explotación masiva.....	37
Figura 16: Operaciones de minería masiva de hundimiento actuales y futuras	39
Figura 17: Quiebres tecnológicos en la minería	41
Figura 18: Avances del conocimiento del proceso del caving [43].....	42
Figura 19: Avances del conocimiento en fragmentación [43].....	43
Figura 20: Avances en el conocimiento del flujo gravitacional [43]	43
Figura 21: Ejes de la investigación.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Significados de 5W2H	11
Tabla 2: Comparación Metodologías de Innovación	14
Tabla 3: Diferencias entre innovación radical e incremental (adaptado de Stamm, 2003)	16
Tabla 4: Índice de Innovación del Foro Económico Mundial [41]	17
Tabla 5: Comparación de algunos indicadores de I&D (adaptado de COCHILCO [42]; OECD; RICYT).18	
Tabla 6: Listado de parámetros de organización de iniciativas tecnológicas.....	33
Tabla 7: Producción en conjunto de actuales operaciones de minería masiva de hundimiento	40
Tabla 8: Producción en conjunto para futuras operaciones de minería masiva de hundimiento.....	40
Tabla 9: Necesidades detectadas en la operación minera futura	45
Tabla 10: Iniciativas tecnológicas I+D capturadas al aplicar metodología de trabajo	48
Tabla 11: Iniciativas Tecnológicas en el eje de Constructibilidad	51
Tabla 12: Iniciativas Tecnológicas en el eje de Explotabilidad	51
Tabla 13: Iniciativas Tecnológicas en el eje de Continuidad Operacional	52
Tabla 14: Iniciativas Tecnológicas de potencial Investigación Académica	52
Tabla 15: Iniciativas Tecnológicas de potencial Investigación Aplicada.....	52
Tabla 16: Iniciativas Tecnológicas de potencial Desarrollo Industrial	53
Tabla 17: Valor asignado a proyectos de investigación académica	54
Tabla 18: Valor asignado a proyectos de investigación aplicada.....	54
Tabla 19: Prioridad asignada a proyectos de investigación académica.....	55
Tabla 20: Prioridad asignada a proyectos de investigación aplicada	55
Tabla 21: Tiempo estimado de proyectos de investigación académica.....	56
Tabla 22: Tiempo estimado de proyectos de investigación aplicada	56
Tabla 23: Ranking proyectos de alta urgencia - Investigación Académica.....	57
Tabla 24: Ranking proyectos de media urgencia - Investigación Académica.....	57
Tabla 25: Ranking proyectos de baja urgencia – Investigación Académica	58
Tabla 26: Ranking proyectos de alta urgencia – Investigación Aplicada	58
Tabla 27: Ranking proyectos de media urgencia – Investigación Aplicada.....	58
Tabla 28: Ranking proyectos de baja urgencia – Investigación Aplicada.....	58
Tabla 29: Resumen temas de investigación I+D priorizados	60
Tabla 30: Programa workshop tecnológico – División El Teniente.....	67
Tabla 31: Perfil/cargo participantes de workshop tecnológico	68
Tabla 32: Programa Workshop Mine Planning – Congreso Caving 2014	69
Tabla 33: Grupos y preguntas – Workshop Mine Planning	70

CAPÍTULO 1: Introducción

1.1 Motivación de la investigación

Una nueva ola de tecnología e innovación se necesitará en el futuro, ya que el rubro minero está obligado a encontrar maneras de conseguir más con menos. La innovación siempre ha sido un factor clave de éxito de la industria, mejorando la eficiencia a través de la exploración, extracción y procesamiento. Su importancia será especialmente relevante en los próximos años debido a una tendencia negativa de los precios de los productos básicos y la industria minera se enfrenta a una nueva combinación de desafíos que ponen en peligro la rentabilidad futura del sector.

Las mejoras de productividad no se obtendrán manteniendo una mirada tradicional centrada en mover más material; la minería fue una industria que se mostró reacia a los cambios e innovación tecnológica. Esto tal vez gatillado por las grandes rentabilidades y la no necesidad de cambiar. Sin embargo, se ha llegado a un punto donde el ser empírico ya no es suficiente y se requiere cambios. En algunos casos estos deben ser estructurales o de quiebre y para eso se requiere de grandes cantidades de innovación y conocimiento.

El Laboratorio de Block Caving es un Centro de Investigación del Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile cuyo principal foco de estudio es el desarrollo de investigación de las etapas del desarrollo minero orientadas al método subterráneo de explotación Block/Panel Caving. Este laboratorio no es ajeno a este escenario desafiante al que se enfrenta la industria y es el mandante de este trabajo de investigación entendiendo la necesidad de enfocar los recursos en investigación y desarrollo (I+D) de iniciativas tecnológicas que generen innovación y sean solución a los problemas/desafíos que presentará el proceso productivo minero.

Dicho lo anterior, es necesario definir una metodología que permita llevar a cabo un proceso de gestión de captura de necesidades/oportunidades como respuesta a los desafíos presentes en la operación minera subterránea, realice una evaluación de manera conceptual para obtener futuros proyectos I+D en innovación tecnológica para el corto y mediano plazo que puedan ser potenciales ejes de estudios del laboratorio.

1.2 Antecedentes

El período transcurrido desde el año 2003 hasta el 2012 vio un notable crecimiento en los minerales de las materias primas de los mercados globales que no experimentó el medio siglo pasado [1]. El alza de los precios provocó una aceleración de las empresas mineras a construir una nueva capacidad de producción, invirtiendo fuertemente en capital. Esto ha dado lugar a ineficiencias que ahora están arraigadas estructuralmente en las operaciones mineras impidiendo lograr mejores productividades. Las ganancias de las cuarenta mayores compañías mineras del mundo cayeron un 49% en 2012, mientras que los gastos aumentaron un 9%, lo que indica una necesidad urgente de abordar los problemas en la producción que han sido pasados por alto [2].

Existe gran cantidad de evidencia para apoyar la innovación como un importante contribuidor al progreso en una empresa, la industria y el ámbito nacional. En particular, la innovación puede estar relacionada con el aumento de los niveles de productividad [3, 4].

Es posible detectar dos de los conductores globales de la industria minera en términos del aumento de costos y disminución en la producción que se detallan a continuación:

- 1) *La disminución de las leyes del mineral:* a mediados de la década de 1800 las leyes de cobre eran superiores al 10% en minas de cobre a nivel mundial. Actualmente, las operaciones mineras en Chile cuentan con leyes de mineral de cobre de menos del 1%. Según los pronósticos, las calificaciones globales de mineral de cobre pueden caer a un 0,55% posterior al 2012 y llegar a un 0,16% en el 2088 [5].
- 2) *Depósitos más profundos y minerales complejos:* la minería ahora llega regularmente a profundidades superiores a 1 kilómetro, con mega proyectos de explotación de cobre en Chile como Chuquicamata Subterránea [6] y Nuevo Nivel Mina El Teniente [7]. Por otra parte, los ingenieros de minas ya no pueden confiar en los depósitos con sencilla mineralogía y una roca secundaria de fácil fragmentación y menor granulometría; se ven obligados a hacer frente a roca primaria donde es más difícil conseguir un tamaño menor y adecuado para su transporte, exigiendo mayor robustez en los diseños de mallas de explotación y método.

Tal como lo anticipaba Allan Moss¹ el año 2011[8], el contexto mundial en el rubro minero muestra que la evolución de los yacimientos a ser explotados en los próximos años presentan dos tendencias preocupantes para el negocio: el aumento de su profundidad y la baja de ley de mineral. Al observar como ejemplo los depósitos de cobre, principal metal explotado en Chile, el escenario concuerda totalmente con lo expuesto anteriormente y se representa en la Figura 1.

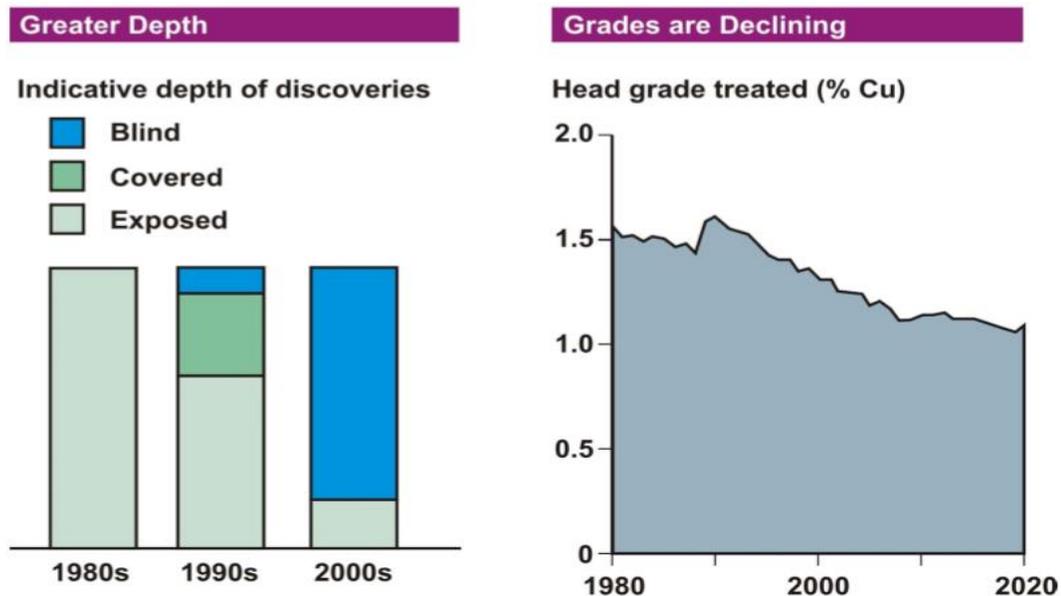


Figura 1: Tendencia mundial de depósitos de cobre (Moss A., 2011)

Sumado al escenario descrito, el contexto de la industria minera actual presenta otra tendencia; si en la actualidad la cantidad de operaciones mineras que operan por rajo es considerablemente mayor a la operada por minería subterránea, esta razón puede cambiar sustancialmente y tender a una proporción similar en los próximos años. La Figura 2 muestra la tendencia que se pronostica para el año 2018 [8]. La realidad de un gran porcentaje de las operaciones mineras de rajo es que

¹ Gerente General Rio Tinto Copper 2011.

cuentan con mayores reservas a las consideradas en el proyecto original pero debido a la profundidad y aumento de la razón entre el material estéril y mineral no es factible explotarlas. Por lo tanto, caen en tomar la decisión del proceso de cierre o estudiar la posibilidad de una transición de operación a cielo abierto a algún método de explotación subterráneo.

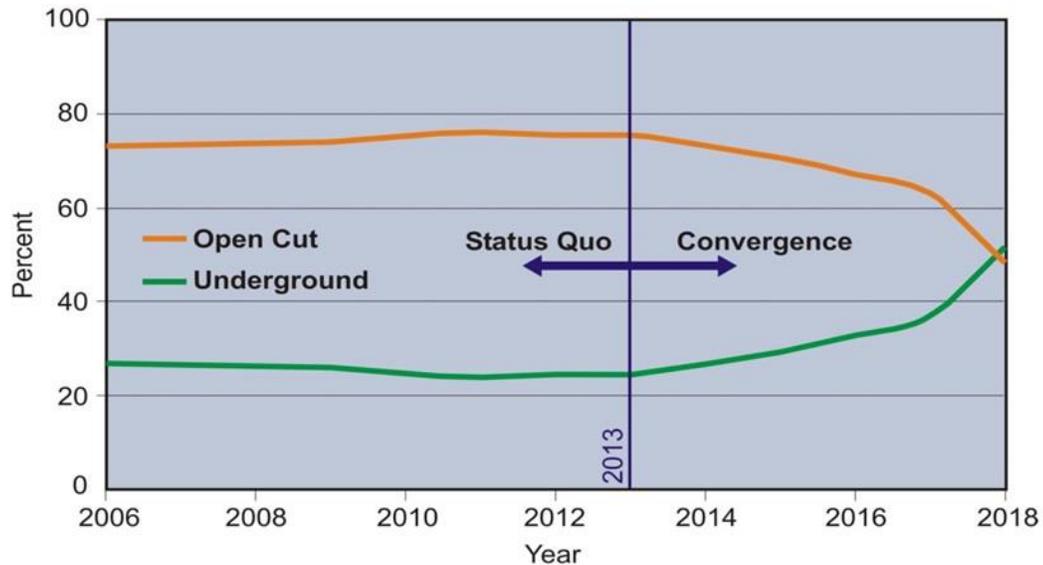


Figura 2: Tendencia de razón minería subterránea/rajo, posterior a 2018 (Moss A., 2011)

El pasado y reciente crecimiento de la industria minera en Chile fue impulsado principalmente por un aumento de los precios. Los costos laborales en Chile aumentaron y se asemejaron con los costos laborales en los EE.UU. y Canadá, sin embargo la productividad no creció en línea con este aumento. Cuestiones tales como la disminución de las leyes del mineral y el acceso a recursos energéticos e hídricos han sido las principales causas y de particular importancia para el rubro.

El panorama deja de ser alentador cuando el objetivo de la industria se proyecta a duplicar la actual producción de mineral considerando los desafíos mencionados al comienzo del subcapítulo 2.1 de antecedentes. La idea de aumentar la productividad se ve subordinada ante los altos y bien establecidos estándares de seguridad, generando limitantes y aumentos en los tiempos de espera en procesos sólo por el concepto de obtener una operación segura. Como consecuencia, surge la visión de automatizar y robustecer los procesos con el fin de mitigar lo anterior y es aquí donde la innovación se transforma en la herramienta para lograr una utilización eficiente de la tecnología en cada área.

La innovación ha logrado generar grandes quiebres tecnológicos en la historia de la minería pero la tendencia del desarrollo utilizando esta herramienta ha sido siempre mediante un crecimiento incremental y existen pocos casos que han generado un real salto en la curva de costos y producción. Ha transcurrido más de una década sin observar un nuevo quiebre tecnológico, aunque los esfuerzos no han sido pocos, por lo tanto, los problemas que deben considerar los futuros proyectos mineros se encuentran identificados y es inminente destinar recursos en I+D con el propósito de encontrar un futuro quiebre de innovación para la minería.

En este contexto, esta investigación busca desarrollar un modelo para la búsqueda y gestión de iniciativas tecnológicas permitiendo mediante una captura de información, revisión del escenario actual y los problemas que presenta el proceso minero definir líneas de investigación y desarrollo en innovación tecnológica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

El objetivo principal de este estudio, es generar un levantamiento de información para definir un catastro de oportunidades de Investigación y Desarrollo como solución a problemas operacionales en minería de hundimiento. Este catastro debe contar con una metodología que respalde el proceso y que pueda ser aplicado a otras áreas de interés futuras.

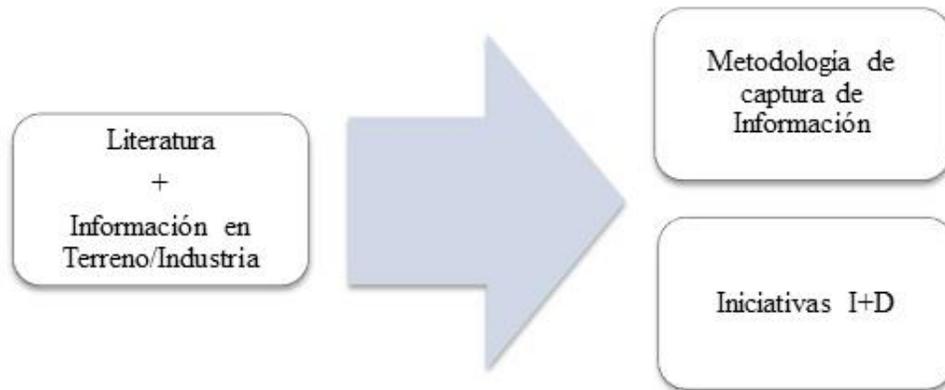


Figura 3: Esquema objetivo general

1.3.2 Objetivos específicos

1. Recopilación información de la literatura y observación en terreno detectando los problemas presentes en la operación.
2. Entender el proceso minero desde una perspectiva global, entendiendo sus etapas y con búsqueda a las zonas críticas en la operación.
3. Diseñar una metodología para la captura de iniciativas de investigación y desarrollo en innovación tecnológica aplicada a minería de hundimiento.
4. Llevar a cabo actividades de captura de información científicas, adaptándolas para lograr el levantamiento de datos y para la priorización de las ideas obtenidas.
5. Identificar iniciativas de I+D con potencial desarrollo en el Laboratorio de Block Caving.

1.4 Alcances

1. El levantamiento de iniciativas se aplica al proceso minero en el área de mina; se excluye el área de exploración y los procesos de la planta y fundición.
2. El trabajo de investigación se aplica a minería subterránea de hundimiento.
3. El trabajo de investigación es aplicado al proceso de explotación y minería del cobre.
4. Las actividades realizadas e información requerida en pos del cumplimiento de los puntos anteriores fueron proporcionados por División El Teniente, Codelco, Chile.

1.5 Contenido de Capítulos

Los contenidos de esta investigación se discuten en los siguientes capítulos:

1. *Capítulo 1:* Corresponde a la introducción del trabajo. Se exponen la motivación del trabajo, objetivos, alcances y la metodología de investigación.
2. *Capítulo 2:* Se exponen los antecedentes bibliográficos que permiten entender el contexto en que se sitúa el trabajo describiendo: los principales quiebres tecnológicos que ha realizado la industria minera, el concepto de innovación y los distintos tipos de esta, las metodologías para innovar existentes, los principales indicadores de I+D en el rubro, las estrategias de algunos centros de I+D en el país y finalmente el proceso de investigación científica en pos del desarrollo de esta investigación.
3. *Capítulo 3:* Describe la propuesta metodológica que se aplicará para el desarrollo del trabajo de investigación definiendo el objetivo de cada etapa, los parámetros de categorización y las actividades de apoyo o herramientas a utilizar.
4. *Capítulo 4:* Se aplica la metodología y se describe en detalle el desarrollo de cada etapa descrita en el Capítulo 3 obteniendo los primeros análisis y recolección de información de este trabajo.
5. *Capítulo 5:* Se presenta el catastro de potenciales iniciativas tecnológicas obtenidas y su posterior categorización.
6. *Capítulo 6:* Conclusiones generales y recomendaciones de trabajo futuro.

CAPÍTULO 2: Revisión bibliográfica

En el presente capítulo se describe el estudio y revisión bibliográfica realizada de los principales temas que motivan el desarrollo de la investigación.

2.1 Quiebres tecnológicos en la minería

La innovación tecnológica es la transformación de una idea en producto nuevo o mejorado, introducido en el mercado, o un procedimiento operacional nuevo o mejorado, usado en la industria o el comercio.

Los objetivos principales de la innovación tecnológica son:

1. Aumentar la productividad.
2. Aumentar la rentabilidad.
3. Disminuir los costos asociados a los procesos.
4. Incrementar nivel de seguridad en los procesos
5. Disminuir el impacto en el medio ambiente

La industria minera ha enfrentado diversos factores que la han obligado a innovar para mantener su competitividad. En este sentido, el aumento paulatino de los costos de operación por efecto del aumento de la profundidad de explotación en las faenas mineras y las consecuentes dificultades operacionales propias de los yacimientos (disminución de las leyes, aumento de la dureza de la roca, condiciones mineralógicas adversas), ha llevado a la industria minera del cobre a emprender diversas mejoras en los procesos. Una de las formas de enfrentar este problema es la implementación de innovaciones tecnológicas que conlleven a una importante reducción de los costos de operación [9].

La literatura señala dos tipos de innovaciones tecnológicas, una de ellas es la innovación incremental, definida como el mejoramiento sucesivo de los productos y procesos de la cadena del valor, y la otra es la innovación radical (quiebre tecnológico), la que incursiona en tecnologías de alto impacto [10].

Particularmente, la minería del cobre no se caracteriza por ser una industria generadora de nuevas tecnologías, sino más bien a lo largo de su historia se ha destacado por ser adaptadora o receptora de innovaciones tecnológicas de otras industrias mineras.

Durante el siglo XIX, la base tecnológica de la minería del cobre fue adaptada principalmente de la industria del hierro y carbón. En este siglo se crearon grandes tecnologías en las áreas de operaciones unitarias en la mina, entre las que se destacan: perforadora rotatoria manual (1885), chancador de rodillos (1832), chancador de mandíbulas (1886) y chancador giratorio (1883), como también aguas abajo en las etapas de la cadena que se realiza en la planta concentradora y fundición [10].

Una visión resumida de los avances en las distintas áreas se ilustra en la Figura 4.

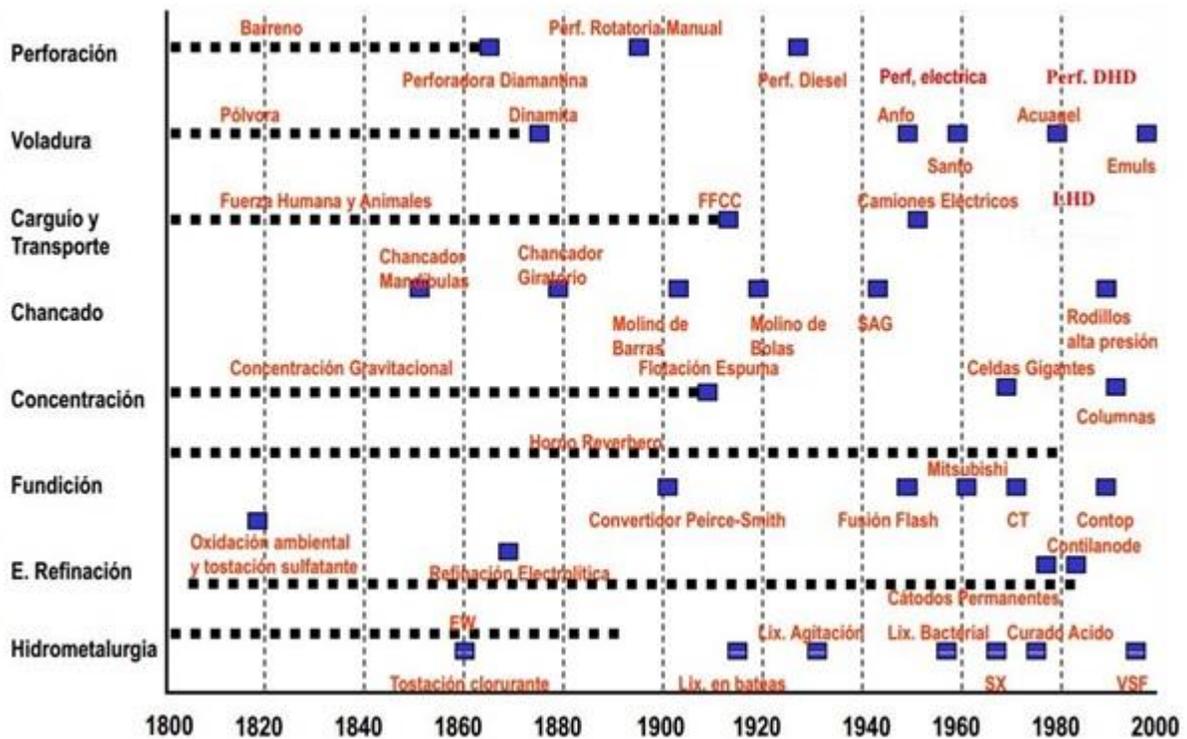


Figura 4: Principales tecnologías para la operación minera creadas a lo largo de la historia (Antezano T., 2010) [11]

En la Figura 4, es posible observar que en las áreas de los procesos de la mina, particularmente en la operación unitaria de perforación, el tiempo promedio transcurrido entre cada cambio tecnológico es de aproximadamente 40 años. Para el caso de la operación de voladura existe un gap de 70 años entre la dinamita y el ANFO, pero posteriormente los avances se realizan en un tiempo promedio de 15 años. Finalmente, esta estadística es peor para el caso del carguío y transporte con 30 años entre cada salto tecnológico.

Durante el siglo XX, el principal motivo que impulsó la adaptación y desarrollo de tecnologías en la minería del cobre, fue la drástica disminución de las leyes de los yacimientos. En principio estos tenían leyes por sobre el 4%, llegando a valores de 2%, e incluso en algunos casos bajaron a menos de 1%. Como consecuencia de lo anterior, emergió la adaptación y desarrollo de importantes quiebres tecnológicos tales como: flotación de minerales, explotación a cielo abierto, conversión CPS, fundición FLASH, método Block Caving, Electro-obtención/extracción por solventes, Lixiviación en pilas on-off y Pre-acondicionamiento [9].

2.1.1 Descripción de principales quiebres

2.1.1.1 Método de explotación block caving

A fines del siglo XIX, el método de explotación de Block Caving fue desarrollado en las minas de hierro de Menominee Ranges. A comienzos de siglo XX, se aplicó este método de explotación en las minas de cobre ubicadas en el Oeste de Estados Unidos. Durante el año 1940, la mina El Teniente introduce este método a sus operaciones. Sin embargo, en el año 1982, se

implementó en este yacimiento una variante evolucionada, denominada Panel Caving, a consecuencia del aumento de la dureza de la roca del yacimiento, por efecto de su profundización. Posteriormente, esta variante sufre modificaciones a fin de controlar los fenómenos de “estallidos de rocas”, surgiendo con esto el Panel Caving con hundimiento previo y hundimiento avanzado [12].

2.1.1.2 Método de explotación a cielo abierto

El método de explotación de rajo abierto representó una importante plataforma para el desarrollo de tecnologías basadas en economías de escala. Como consecuencia de su aplicación, las principales minas productoras de cobre aumentaron fuertemente su explotación de mineral. Un ejemplo de lo anterior es Utah Copper, que aumentó desde los 15.000 a 75.000 toneladas por día de mineral (tpd) entre los años 1910 y 1940. Por su parte, la mina Chuquicamata, en el año 1927 ya explotaba a razón de 20.000 tpd y en 1950 alrededor de 50.000 tpd [13].

2.1.1.3 Flotación de minerales sulfurados

No sólo la explotación a cielo abierto y explotación subterránea por Block Caving constituyeron la base del significativo aumento de producción de cobre, sino también la invención de la flotación. Ésta reemplazó al método de concentración gravitacional. John Marsden señala además que, dicha tecnología, fue otro de los quiebres tecnológicos de esa época, puesto que permitió aumentar la recuperación de metales desde 64%, la cual se obtenía mediante concentración gravitacional, a cifras en torno al 90% [13].

La flotación fue patentada por Francis Elmore en el año 1898. No obstante, sólo recién en 1905 se aplicó a escala industrial, reconociendo a Central Mill de Broken Hill en Australia como la primera faena productiva en aplicar comercialmente el proceso de flotación para el proceso de recuperación de zinc, tal como se conoce en la actualidad.

En la década de los 30, más del 50% de la producción de cobre de Estados Unidos se generaba mediante el proceso de flotación. Asimismo, más del 65% de la producción mundial de cobre (dominada por Estados Unidos y Chile) provenía de este tipo de plantas.

2.1.1.4 Electro-obtención y Extracción por solventes

En relación al proceso de electro-obtención (EW) de minerales oxidados de cobre, los primeros en aplicar esta tecnología en el cobre, fueron Ajo, Arizona y Chuquicamata (1915) [14]. Por otro lado, la tecnología de extracción por solventes (SX) fue creada por la industria del uranio, durante la segunda guerra mundial. Posteriormente fue adaptada para el tratamiento de una variedad de metales, entre ellos el cobre.

En la minería del cobre, la primera faena que utilizó la tecnología de extracción por solventes fue Bluebird (1968) y recién en el año 1987, fue implementada en la mina Chuquicamata. El auge de la aplicación de ambas tecnologías se produce alrededor del año 1980. En este año la aplicación SX-EW representaba alrededor del 3% de la producción mundial de cobre, aumentando a 8% en el año 1987. Mientras que en los años 1994 y 2000 la producción representó cerca del 18% de la producción mundial [13].

2.1.2 Comentarios finales

En la actualidad, la Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco) ha obtenido interesantes y auspiciosos resultados y avances en el desarrollo de sus tecnologías dirigidas a enfrentar estos desafíos técnicos. La empresa ha sido pionera en la minería mundial en el desarrollo de dos áreas fundamentales: la Bio-Hidrometalurgia y la minería subterránea continua. Estas tecnologías le generarían a la Corporación nuevas oportunidades de negocio dentro de la industria [9]. Asimismo, si los resultados de los programas tecnológicos son positivos, se crearían grandes potenciales de valor en la empresa, puesto que tendría, en primera instancia, una reducción de costo de operación equivalente a US\$ 75 millones por año en minería subterránea, y por otro lado, se posibilitaría el procesamiento recursos mineros de baja ley cercanos a los 50.000 millones de toneladas [15].

Entre los años 2000 y 2003, los gastos destinados a innovación e investigación tecnológica por Codelco han situado a la Corporación entre las empresas productoras de cobre que asignaron una mayor cantidad de recursos a dichas iniciativas. Cabe consignar que solamente en ese período la compañía gastó alrededor de US\$ 66 millones, en comparación a los US\$ 67 millones de la empresa polimetálica Phelps Dodge. Por otra parte, la minería chilena no ha estado ausente del proceso de desarrollo tecnológico, sin embargo, le queda mucho camino por recorrer para llegar a las cifras de inversión de países como Canadá, el cual destinó durante el año 2000 US\$ 217 millones [9], en comparación a los US\$ 51,6 millones [16] invertidos ese mismo año por la minería de nuestro país.

2.2 Concepto de innovación

El concepto de innovación significa una acción de avance, que puede reestructurar los conocimientos y experiencia relacionada para obtener un logro nuevo y valioso. El proceso de pensamiento de innovación puede ser representado como el esquema mostrado en la Figura 5.

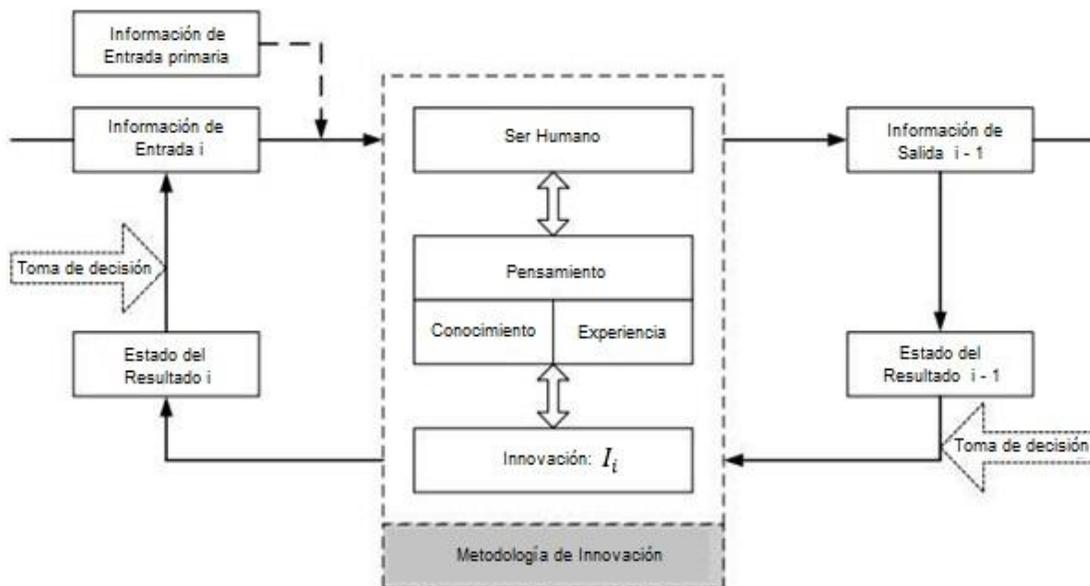


Figura 5: Proceso de innovación (Wang R., Chen J., Zhou G., 2004) [17]

En términos generales, el proceso de innovación es un modelo cíclico. Basándose en el conocimiento y la experiencia, "la entrada de información primaria" puede transformarse en la salida de información "con la acción de innovación I ". " Rs " significa el "estado del resultado" de pensar. Luego, en un ciclo de pensamiento de innovación, se puede conseguir lo siguiente:

$$Rs_i = I_i + Rs_{i-1}$$

Diferentes metodologías de innovación tienen variadas formas de organizar el conocimiento y la experiencia para hacer frente a la entrada de información. Desde 1930 hasta 1980, han surgido más de 300 metodologías de innovación. Actualmente, hay algunos métodos comunes para la innovación aplicada en distintos ámbitos, tales como *BS*, *5WIH*, *Asociación Biónica*, *Trasplante de Tecnología*, etc. Todos tienen su fuerza y su debilidad, por lo tanto es significativo conocer las características de cada uno que serán descritas a continuación [17].

2.2.1 Metodologías de Innovación

A continuación se introduce y explica brevemente las metodologías de innovación más utilizados en la industria describiendo su construcción, aplicación e impacto en la dificultad del problema. A pesar del gran número de métodos que se registran, muchos se superponen o dirigen a la misma clase de problemas. Por lo tanto, se describen lo más representativos.

2.2.1.1 Brainstorming (Lluvia de Ideas)

Introducido en 1953 por Alex Osborne, la lluvia de ideas es una técnica de tres pasos para la generación de ideas:

- 1) Un pequeño grupo de personas, por lo general menos de ocho personas, se les da un enunciado del problema.
- 2) Las personas proponen ideas que vienen a la mente, estimuladas por el enunciado del problema en sí o por las aportaciones de los demás participantes.
- 3) Las ideas son evaluadas y seleccionadas, a menudo en combinación con un proceso de afinidad.

Una regla fundamental de la lluvia de ideas es que la crítica y el debate de las ideas no están permitidos durante la fase de generación de ideas, ya que interrumpen el flujo de las ideas; todos y cada idea se registra. Esta metodología cree que la innovación no es un proceso lógico y depende de la intuición y la inspiración de los participantes. No hay una regla esencial para las actividades de invención. La búsqueda de las soluciones a los problemas depende de la gran cantidad de ideas posibles. La cantidad de ideas posibles es la premisa para la posibilidad de obtener las soluciones con buena calidad.

Desde su nacimiento, la lluvia de ideas se ha aplicado ampliamente en muchos campos, como la innovación tecnológica, la gestión, la innovación del mercado y de la invención, etc., debido a su fácil operación y la ciencia. El procedimiento de funcionamiento de *BS* se puede dividir en cinco pasos representados en la Figura 6 [33, 34].



Figura 6: Procedimiento de operación de Lluvia de Ideas

Un ejemplo de la aplicación de este método es que los gerentes suelen aplicar Brainstorming como un método eficaz para recoger valiosas sugerencias de los empleados para reducir el costo.

2.2.1.2 “5W1H”

Sugiere que un problema puede analizarse sobre la base de 6 aspectos, los cuáles son: por qué, qué, quién, cuándo, dónde y cómo. La esencia de 5W1H es analizar el problema de forma sistemática, incluyendo la esencia del objeto (qué), la esencia del sujeto (quién), las formas de existencia de problemas en el tiempo y en el espacio (cuándo, dónde) y la solución del problema (Cómo).

Sobre la base de la mejora de 5W1H, el “cómo” se puede dividir en “cómo” y “cuánto”. “Cómo” significa la manera de resolver el problema. “Cuánto” significa el grado del problema a resolver. Entonces se le llama 5W2H. Los significados de 5W2H se describen en la Tabla 1 [35].

Tabla 1: Significados de 5W2H

	QUÉ	QUIÉN	CUANDO	DONDE	POR QUÉ	CUANTO	CUÁNTO CUESTA
PROBLEMA	Objeto		Tiempo	Lugar	Razón	Manera de hacerlo	Grado en que se hace
TÁCTICA	Análisis	Manipulador			Principio		

El procedimiento de 5W2H puede seguir los siguientes pasos:

1. Analizar el problema en 7 aspectos:
 - a. ¿Por qué es necesaria la innovación? [¿Por qué]
 - b. ¿Cuál es el objetivo de la innovación? [Cuándo]
 - c. ¿Quién asume la labor de innovación? [Quién]
 - d. ¿Cuándo para lograr la innovación? [Cuándo]
 - e. ¿Dónde está el lugar para comenzar la tarea? [Donde]
 - f. ¿Cómo lidiar con el problema? [Cómo]
 - g. ¿Cuánto hay que resolver el problema? [Cuánto cuesta]
2. Haga una lista de las preguntas.
3. Discuta las preguntas de buscar la solución.

La aplicación de esta metodología se evidencia en la industria del marketing en donde las empresas evalúan mediante preguntas el porqué de los malos desempeños en ventas llegando en muchas ocasiones a encontrar la solución en las preguntas “quién” y “cómo” obteniendo como solución una evaluación del comportamiento del cliente y una re-estructuración o cambio físico de la tienda de ventas.

2.2.1.3 Asociación biónica

Como una especie de metodología de la innovación, la asociación biónica requiere que el ser humano observe el comportamiento de los organismos y utilice el sistema de organismos de referencia para establecer el sistema de tecnología artificial para resolver los problemas. Esta metodología puede producir ideas de innovación de alto nivel. Este método puede lograrse mediante los siguientes pasos [36]:

- 1) Observar el comportamiento de los organismos cuidadosamente. Tome los fenómenos de los organismos como los objetos de asociación.
- 2) Analizar los mecanismos de los fenómenos del sistema de organismos.
- 3) Analizar el problema práctico. Desarrollar una idea biónica en un método o producto de solución de problemas.

Un ejemplo de aplicación para esta metodología es el desarrollo de cámaras especiales que pueden tomar miles de fotos de manera sincrónica basada en múltiples ojos de un saltamontes.

2.2.1.4 Método de combinación

Es la combinación de más de dos elementos de la tecnología en conjunto para obtener un nuevo producto. Esos elementos de la tecnología son generalmente unidad de sustancia, técnicas, principios, estructuras, funciones y así sucesivamente. Debido a que los elementos por separado se han aplicado en diferentes dominios, la combinación de esos elementos de la tecnología es un método con gran posibilidad. La idea de la combinación de innovación es más factible. De acuerdo con sus características, se pueden clasificar en 6 tipos [37]:

- 1) *Combinación de tecnología*: Significa combinar los diferentes elementos de la tecnología para conseguir un nuevo rendimiento de un producto.
- 2) *Combinación de materiales*: Diversos materiales se combinan entre sí para obtener un nuevo material con un nuevo carácter. El nuevo material siempre se puede cumplir con el nuevo requisito de la ingeniería.
- 3) *Combinación de productos*: Más de dos productos se combinan para conseguir un nuevo producto con más funciones.
- 4) *Combinación Suit*: Con el fin de obtener un nuevo producto portátil, los productos con diferentes estándares pueden ser combinados en base a la estructura del re-diseño.
- 5) *Combinación de funciones*: Muchas funciones diferentes se combinan entre sí para conseguir un nuevo producto con múltiples funciones.
- 6) *Estructura combinación*: Sobre la base de la estructura de re-combinación, un nuevo producto con la función compuesta puede ser obtenido.

Aplicaciones de esta metodología se realizan en la industria siderúrgica en donde, por ejemplo, una aleación especial con función de memoria de forma se puede conseguir con la combinación de titanio y níquel.

2.2.1.5 *Innovación de reversa*

Basado en el análisis de producto existente, un nuevo producto puede ser diseñado por ejemplo mejorando el mismo producto. Este tipo de método de la innovación se llama “innovación inversa”. Esta metodología se emplea ampliamente en Japón y Corea. Se trata de un método muy eficaz para variados casos.

Aplicaciones de esta metodología se pueden observar en la industria del retail con la idea de reducir radicalmente el tamaño de grandes tiendas a puntos de ventas pequeños pero situados en puntos estratégicos. También se tienen ejemplos en la industria de la medicina con nuevos procesos en cirugía y nuevos productos medicinales.

2.2.1.6 *Trasplante de tecnología*

Consiste en trasplantar una tecnología avanzada de un dominio en otros dominios o trasplantar una avanzada tecnología de un producto en otros productos para conseguir un nuevo producto con un rendimiento maravilloso. Este tipo de método de la innovación se llama trasplante de la tecnología [38].

Un ejemplo de la aplicación de esta metodología es la transferencia del proceso de pre-acondicionamiento del macizo rocoso para la recuperación de pozos de petróleo llevado a la industria minera con fines de reducción de la granulometría del mineral y sismicidad.

2.2.1.7 *TRIZ*

TRIZ (el acrónimo ruso de la teoría) es el enfoque sistemático basado en el conocimiento para la innovación. Desarrollado en la antigua Unión Soviética por Genrich S. Altshuller (1926-1998) y su escuela, esta metodología se ha extraído de un análisis de los inventos más innovadores en diferentes industrias, tecnologías y campos de la ingeniería [39].

Implica un análisis sistemático del sistema que debe mejorarse y la aplicación de una serie de directrices para la definición del problema. TRIZ clasifica problemas innovadores y ofrece métodos de resolución de problemas correspondientes a cada clase de problema. Puede proporcionar algunas herramientas útiles para el análisis del problema como [40]:

- Resultado ideal final.
- Leyes de ingeniería de sistemas de la evolución.
- La matriz de Altshuller.
- Los principios de Separación.
- 76 soluciones estándar.
- Efectos, etc.

Actualmente, esta metodología se aplica ampliamente en el dominio de tecnología para la innovación de productos, sobre todo para los dominios mecánicos, electrónicos y constructivos. La aplicación de TRIZ en la gestión y la economía es relativamente débil.

La comparación entre las metodologías de innovación mencionadas se resume en la Tabla 2 considerando 6 parámetros que permitan obtener ventajas y desventajas entre ellas.

Tabla 2: Comparación Metodologías de Innovación

Método / Aspecto	PODER DE INNOVACIÓN	PATRÓN DE PENSAMIENTO	GENERADOR DE IDEA	CALIDAD DE LA IDEA DE INNOVACIÓN	TRADUCCIÓN DE LA IDEA A LA PRÁCTICA	EXPERTO EN
BRAINSTORMING	Intuición y divergencia de pensamiento	Pensamiento en todas las direcciones	Grupo de pensamiento	Cantidad produce calidad	Generalmente no trivial	Gestión del Mercado, Tecnología
SW1H	Cuestionamiento sistemático	En 6 aspectos de un problema	Individual	Generalmente encuentra los principales conflictos	Dependen el operador	Gestión del Mercado, Tecnología
ASOCIACIÓN BIÓNICA	Intuición e inspiración	Inspiración basada en el comportamiento de los organismos	Individual	Por lo general, se puede obtener una buena idea	Dependen el operador	Principalmente en el dominio de la tecnología
MÉTODO DE COMBINACIÓN	Resultado de la combinación	Combinando dos cosas	Individual	Por lo general, se puede obtener una idea factible.	Relativamente fácil de implementar	Principalmente en el dominio de la tecnología
INNOVACIÓN REVERSA	Ideas desde un producto existente	Mejorando el producto existente	Usualmente a través de un grupo	Por lo general, se puede obtener una idea factible.	Relativamente fácil de implementar	Principalmente en el dominio de la tecnología
TRASPLANTE DE TECNOLOGÍA	Trasplante de tecnología	Aplicación de la tecnología de otra forma	Individual	Por lo general, se puede obtener una idea factible.	Relativamente fácil de implementar	Dominio tecnológico
TRIZ	Siguiendo las reglas de innovación	Por pasos, científica, lógica, analógica	Individual	Por lo general, se puede obtener una idea perfecta basada en el análisis de los efectos.	Fácil de implementar, debido a su carácter científico	Principalmente en el dominio de la tecnología

Cada una de las metodologías de innovación presentadas tiene sus fortalezas y debilidades. Que una u otra entregue mejores o peores resultados dependerá del área o industria en la que se aplica.

En el caso de la minería, el método de combinación y trasplante de tecnología son los que utilizan con mayor frecuencia y han generado mejoras incrementales en los distintos procesos. Sin embargo, el objetivo y motivación de este trabajo es poder encontrar un cambio que genere innovación radical, es decir, logren mejoras de un alto porcentaje en indicadores como productividad, seguridad y disminución de costos operacionales. La transferencia tecnológica ha logrado buenos avances en la industria minera, un claro ejemplo es la transferencia del pre-acondicionamiento del macizo rocoso desde la industria del petróleo para poder mejorar la granulometría del mineral y disminuir el estado tensional de esfuerzos que generan sismicidad.

Finalmente, la lluvia de ideas es utilizada generalmente en los “workshops” tecnológicos o seminarios de innovación que realizan las empresas en donde se busca generar un intercambio de ideas, sin el formato original del método, pero obteniendo la visión y propuestas de los distintos expertos de cada área que participa. Para fines de este trabajo, se optará por utilizar la lluvia de ideas como herramienta de innovación para generar cambios potentes en los procesos.

2.2.2 Tipos de innovación

Una de las definiciones de innovación comúnmente utilizadas por distintos investigadores es: “una innovación es la introducción de un nuevo o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización de lugar de trabajo o las relaciones exteriores” [19]. Clasificar el tipo de innovación, ha llevado el interés de muchos estudios e investigaciones donde el aporte fue contribuir al desarrollo de la innovación. Para el presente trabajo, el criterio de clasificación, es según su *naturaleza* y el *grado de novedad* de la innovación.

Según la naturaleza de la innovación, esta se clasifica en tecnológica y organizativa.

2.2.2.1 Naturaleza tecnológica (innovación del producto e innovación del proceso)

Una *innovación de producto*, es la introducción al mercado de un nuevo bien o servicio con un alto grado de mejora, respetando sus características y el uso básico.

Una *innovación de proceso*, se conoce a la implementación de un método de producción o una distribución de un nuevo proceso con un alto grado de mejora.

2.2.2.2 Naturaleza Organizativa (innovación de Marketing e innovación organizacional)

Una *innovación de marketing*, es la implementación de un nuevo método de comercialización que experimenta importantes mejoras en el diseño o presentación, posicionamiento, promoción o precio del producto.

Una *innovación organizacional*, se considera al conjunto de novedades y cambios introducidos en áreas de diseño, organización, información y control, financiamiento, métodos de trabajo y relaciones externas en la organización.

Según el grado de originalidad y novedad de la innovación, la literatura académica propone habitualmente una distinción entre innovaciones radicales e incrementales.

2.2.2.3 Grado de innovación incremental

Se trata de pequeños cambios dirigidos a mejoras o incrementar la funcionalidad del producto, servicio o proceso pero pueden tener un cierto grado de novedad. Frecuentemente son mejoras de un producto ya existente elaborado por la empresa o la competencia.

2.2.2.4 Grado de innovación radical

Este tipo de innovaciones suponen una novedad y totalmente distinta a lo que ya existe. Además son innovaciones que crean nuevos productos o procesos que no pueden entenderse como una evolución normal de lo ya existente. En el presente estudio nos centraremos específicamente a revisar la literatura sobre las innovaciones según su grado de novedad (innovaciones radicales e incrementales), centrándonos en las preguntas de investigación.

La diferencia entre innovaciones radicales e incrementales “acorde a ciertos parámetros”, como la vigencia, trayectoria de desarrollo, generación de la idea y reconocimientos de oportunidades, procesos y recursos y capacidades, equipos y estructura de desarrollo y clasificación [20], se resume en la Tabla 3.

Tabla 3: Diferencias entre innovación radical e incremental (adaptado de Stamm, 2003)

	INCREMENTAL	RADICAL
Vigencia	Corto Plazo: 1 a 2 años	Largo plazo: normalmente entre 5 a 10 años.
Trayectoria de desarrollo	Desde la concepción de la idea hasta la comercialización ; altos niveles de incertidumbre	Discontinua, interactiva, costosa; por lo general este tipo de innovaciones tiene altos niveles de incertidumbre.
Generación de las ideas y reconocimiento de oportunidades	Flujo continuo de mejoras incrementales; eventos críticos anticipados con tiempo, por los trabajadores, proveedores o clientes.	Las ideas surgen a menudo de manera y fuentes inesperadas, el propósito pueden cambiar sobre la marcha.
Proceso	Puede ser formal y establecido por fases.	Es un proceso formal y estructurado. Tener en consideración que esto puede obstaculizar en vez de ayudar.
Recursos y capacidades	Las competencias y habilidades necesarias tiende a estar dentro del equipo de trabajo y la mayoría de empresas se preocupan por este tipo de innovaciones.	Existe dificultad para predecir las competencias y habilidades requeridas; por lo general se necesita experiencia adicional externa y flexibilidad.
Equipo de trabajo	Los equipos pueden asignarse roles claramente definidos, en función de las habilidades.	En este tipo de innovaciones las habilidades son requeridas, a los equipos se les tiene que dar flexibilidad y asignar recursos.
Estructura de desarrollo	Normalmente un equipo inter-funcional funciona dentro de una unidad de negocio.	Se originan en oficinas de Investigación y desarrollo, suele ser gestionado por la persona que propone innovación.

La competitividad de las empresas requiere abordar estos dos tipos de innovación en distintos horizontes; la innovación incremental debe servir como una estrategia para ser competitivos a corto plazo, mientras que la radical para asegurar la competitividad en largo plazo.

Por lo tanto, es posible afirmar que ambas son claves para sostener la competitividad empresarial en el tiempo.

2.3 Innovación en la Industria Minera

A continuación se analizarán algunos indicadores de Investigación y Desarrollo (I&D) que muestran la posición que presentan los países como Australia, Canadá y Chile, con el interés de dar una perspectiva general del estado del país respecto a otros países de igual envergadura minera y su posición relativa respecto a los mismos.

2.3.1 Indicadores de investigación y desarrollo

Un buen indicador a analizar podría ser el Índice Tecnológico que entrega el Informe de Competitividad Global 2013 – 2014 del Foro Económico Mundial [41], donde se muestra una indicación del avance de los países respecto de su capacidad de innovación. Este índice es calculado en base a información obtenida a través de encuestas y estadísticas (indicadores) a partir de tres subíndices: a) innovación, b) transferencia tecnológica y c) Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC).

Cada subíndice está compuesto por los siguientes temas:

- a) Innovación: adopción de tecnologías por las compañías, gastos en I&D, colaboración con universidades locales, patentes en Estados Unidos por cada millón de habitantes, etc.).
- b) Transferencia tecnológica: importancia de la inversión extranjera directa (IED) como fuente de nueva tecnología y del licenciamiento tecnológico extranjero como un medio común para adquirir nueva tecnología.
- c) Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC): acceso a internet en los colegios, TIC como prioridad en los colegios, eficiencia de los programas de promoción de TIC; marco regulatorio bien definido, y algunos indicadores: N° de celulares, usuarios y servidores de internet, líneas telefónicas, computadores personales por cada 100 habitantes.

Según esta índice, Suiza lidera el ranking de Innovación, debido a sus fortalezas en la captura de nuevas tecnologías, el registro de patentes, su institucionalidad pública y el gasto en I&D por parte de las empresas. Le siguen países como Singapur, Finlandia, Alemania y EE.UU., entre otros. Los países mineros como Australia y Canadá, también ocupan puestos de avanzada, 14 y más abajo 24, respectivamente. Por su parte, Chile, se encuentran en lugares rezagados para este índice, como se muestra en la siguiente Tabla 4.

Tabla 4: Índice de Innovación del Foro Económico Mundial [41]

País/Economía	Ranking	Puntaje (1 a 7)
<i>Suiza</i>	1	5.67
<i>Singapur</i>	2	5.61
<i>Finlandia</i>	3	5.54
<i>Alemania</i>	4	5.51
<i>EE.UU.</i>	5	5.48
Canadá	14	5.20
Australia	21	5.09
Chile	34	4.61

A continuación se analizan en detalle algunos indicadores de I&D, que pueden explicar la posición de Chile respecto a países mineros como Australia y Canadá en el Índice de Competitividad Global.

La Tabla 5 muestra una comparación de los indicadores para los países mencionados.

Tabla 5: Comparación de algunos indicadores de I&D (adaptado de COCHILCO [42]; OECD; RICYT)

Ítem	Chile	Canadá	Australia
<i>Gasto (US\$ millones)</i>	907	29,223	20,469
<i>Gasto per cápita (US\$/habitante)</i>	53.06	856.3	912.7
<i>%PIB en I&D</i>	0.42	1.80	2.20
<i>Financiamiento por sectores (%)</i>			
<i>Gobierno</i>	43.5	27.17	34.6
<i>Industria</i>	41.3	45.50	61.9
<i>Ejecución por Sectores (%)</i>			
<i>Gobierno</i>	9.8	11.20	12.4
<i>Industria</i>	45.1	50.30	58.4
<i>Educación Superior</i>	35.6	38.03	26.6
<i>Nº Investigadores (tiempo completo)</i>	11,491	221,350	137,489

Nota: Datos año 2010

Según la Tabla 3, Chile aún no ha pasado la barrera del 1% de su PIB destinado a I&D, a pesar de un aumento en el gasto, desde aproximadamente US\$ 150 millones en 1990, US\$ 395 millones en el año 2000 y US\$ 900 millones en el año 2010.

Al comparar al país contra Canadá y Australia, que son naciones relevantes en la actividad minera mundial, se refleja una importante brecha en la inversión, superando los 2 puntos en algunos casos. En este sentido, un distrito minero mundial debería tener como característica un mayor grado de inversión en innovación y desarrollo tecnológico, como única forma de adquirir factores especializados que permita al país diferenciarse frente a sus competidores.

Además de la apreciable brecha que muestra la asignación del PIB en I&D, otro parámetro importante es el Gasto per Cápita que realizan los países en el ámbito científico, el cual muestra una tendencia similar al análisis anterior. Este indicador elimina las dudas que puedan existir con relación a que países más industrializados gastan más en I&D, sólo por el hecho de tener un mayor PIB. Aquí la diferencia es mucho mayor que la anterior, ya que cuando Chile gasta aproximadamente US\$ 50 por persona, países como Australia o Canadá lo hacen en valores sobre los US\$ 800.

Por otro lado, si se piensa que el desarrollo tecnológico en minería debiera ser generado a través de una alianza pública-privada, inmediatamente se tendría que analizar el papel que están ocupando ambos sectores en la I&D. Para este caso, los resultados muestran una clara diferencia con otras economías, donde el sector privado es el mayor contribuyente en el gasto de I&D.

Un dato interesante, es que en Chile, el Estado es la principal fuente de recursos, pero son la industria y las universidades quienes ejecutan en mayor parte estos recursos. En este sentido, el Estado debiera generar políticas que incentiven un rol más importante por parte del empresariado en una actividad tan importante para el país, que contribuya al aumento de la productividad y competencia de sus propias empresas.

Por otra parte, en los últimos años, la aplicación del gasto se ha realizado básicamente en ciencia básica y aplicada. En el caso de Chile, la Industria realizó más de un 60% de su gasto en investigación aplicada y sólo un 30% en desarrollo tecnológico a diferencia de países desarrollados

como EE.UU. en donde el gasto es superior al 61% en este sector. La investigación básica es más fuerte en los sectores Educación Superior y Estado, aunque todo indica que la investigación aplicada favorece más al crecimiento que la investigación básica

2.3.2 Centros de Innovación en Minería en Chile

A continuación, se presentan los principales centros de innovación tecnológica del país describiendo las estrategias de desarrollo que persiguen cada uno de estos organismos.

2.3.2.1 Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia

La Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco) ha sido la compañía minera que ha impulsado sostenidamente la Investigación e Innovación Tecnológica (I&IT) en sus operaciones. En el periodo de la década pasada, la empresa invirtió directamente en proyectos más de US\$ 240 millones, donde un 32% fue destinado a estudios en el área minera, 21% a fundición, 16% a hidrometalurgia, 12% a plantas concentradoras, 4% a refinería y 16% a otras áreas [26].

El crecimiento de la I&IT se debe principalmente a la promulgación de la “Política de Investigación e Innovación Tecnológica de Codelco-Chile”, en el año 1996. Esta se compone de los siguientes lineamientos:

- Posicionamiento en el primer nivel de uso de la tecnología disponible en el mercado.
- I&IT en forma sistemática y permanente en áreas donde el mercado no ofrece una respuesta integral.
- Perfeccionamiento de la organización y de la gestión de I&IT.
- Desarrollo y especialización técnica de profesionales.
- Acuerdos de cooperación.
- Protección del patrimonio tecnológico.

Como resultado de esta política, se generaron distintas iniciativas de innovación, como la creación del Instituto de Innovación de Minería y Metalurgia (IM2), en 1998, y el desarrollo de programas corporativos tecnológicos. El IM2 se crea como una sociedad anónima cerrada en consideración a la necesidad de contar en este rubro con una organización que tenga una identidad propia que le permita actuar con plena autonomía y sin restricciones de carácter presupuestario, salvo las que provengan de su organización y administración interna; y la conveniencia que representa contar con capacidad propia de investigación e innovación en minería y metalurgia

Los programas tecnológicos implementados tienen el propósito de desarrollar tecnologías donde el mercado no ofrece soluciones a los desafíos técnicos de la empresa, mediante la evaluación y validación de desarrollos tecnológicos tanto a escala piloto como comercial.

2.3.2.2 Centro Avanzado de Tecnología para la Minería

El Centro Avanzado de Tecnología para la Minería (AMTC por su sigla en inglés) fue creado en marzo de 2009, luego de ser seleccionado por CONICYT como Centro Científico y Tecnológico de Excelencia de su Programa de Financiamiento Basal.

El AMTC pertenece a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, y tiene por misión generar investigación multidisciplinaria de clase mundial, transferir nuevas tecnologías y formar capital humano avanzado respondiendo a los desafíos de una minería que asegure el bienestar y el desarrollo para Chile y el mundo. Para esto, el Centro cuenta con el fuerte apoyo de CODELCO y de BHP Billiton Metales Base, ambos miembros de su directorio, y un grupo humano compuesto por diversos investigadores, organizados en los siguientes grupos de investigación:

- Geo-Recursos y Exploración Aplicada
- Caracterización y Modelamiento Geo-Metalúrgico de Yacimientos
- Planificación Minera
- Diseño Minero Subterráneo
- Automatización y Robótica
- Procesamiento de Imágenes y Reconocimiento de Patrones
- Energía para la Minería
- Agua, Medio Ambiente y Sustentabilidad
- Metalurgia Extractiva

Esta alianza se ha logrado extender por 5 años más y además aumentará sus ejes de investigación.

2.3.2.3 CSIRO Chile

CSIRO es la agencia científica nacional de Australia y uno de los organismos de investigación más grandes y diversos del mundo. El área de minería de CSIRO adopta un enfoque integrado de la innovación en toda la cadena de valor del proceso minero, incluyendo la exploración, extracción, procesamiento y producción de metal para incrementar la base de recursos minerales, aumentar la productividad de la industria minera y reducir su impacto ambiental, tanto en Australia como en el mundo.

A través de la investigación focalizada y el trabajo conjunto con las mejores organizaciones de investigación y socios globales de la industria ha creado vínculos entre la investigación, la industria y la comunidad para hacer frente a los retos claves de la industria como la energía, el agua, la productividad, la seguridad, el reciclaje, el desempeño ambiental y la responsabilidad social para aumentar la sostenibilidad a largo plazo del sector minero.

CSIRO cuenta con un modelo de trabajo y agenda de I+D como sistema de gestión para la innovación y con el objetivo de identificar las tecnologías relevantes, acceder a tales tecnologías de una manera costo-efectiva y desarrollar capacidades locales para adaptar y desplegar dichas tecnologías. Este “modelo” se representa en la Figura 7.

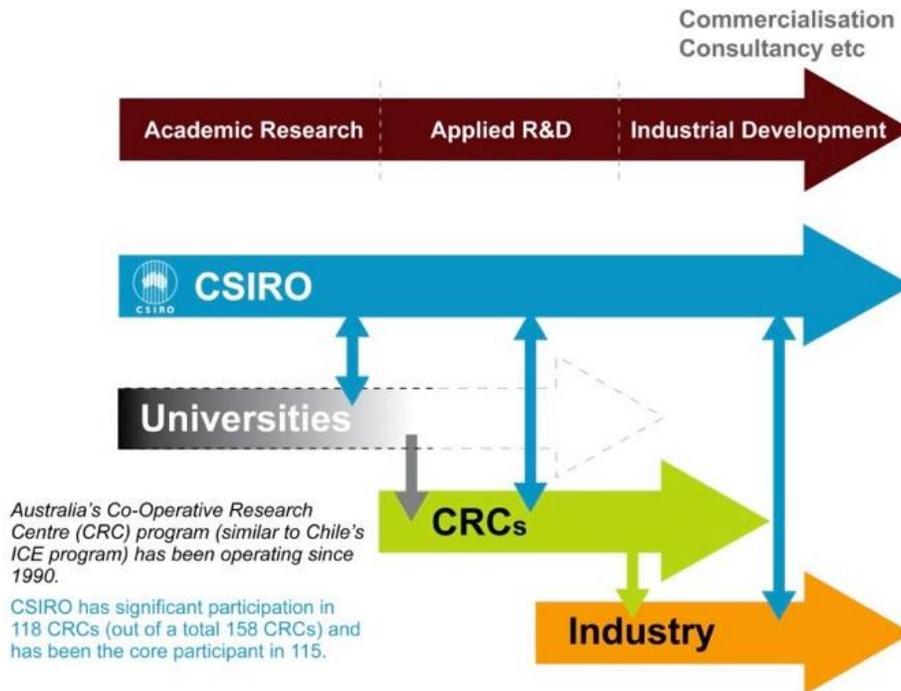


Figura 7: Modelo de trabajo de I+D - CSIRO

2.3.2.4 AMTC-CSIRO

Ante la necesidad de generar una red de I+D nacional que permita impulsar la Innovación en Minería en Chile, en 2011 se estableció el CSIRO Chile Centro de Excelencia Internacional en Minería y Procesamiento de Minerales, que se centra en los siguientes lineamientos:

- Procesamiento de minerales de baja ley
- Minería más segura y eficiente
- El procesamiento limpio
- La creación de productos minerales de valor añadido.

Dentro de los objetivos que busca esta alianza se encuentra la formación de capacidades locales para desarrollar tecnología e innovación en el área minera, el desarrollo de prototipos industriales en los diferentes grupos de investigación con claros aportes de valor a la industria minera y el incentivo al trabajo con proveedores de la minería.

Como consecuencia a lo anterior, se define una plataforma para llevar a cabo la estrategia del desarrollo tecnológico (apoyado por la experiencia adquirida en Australia) y así conseguir el modelo de investigación, desarrollo e innovación de este organismo. Ambos procesos son representados mediante esquemas en las Figuras 8 y 9.

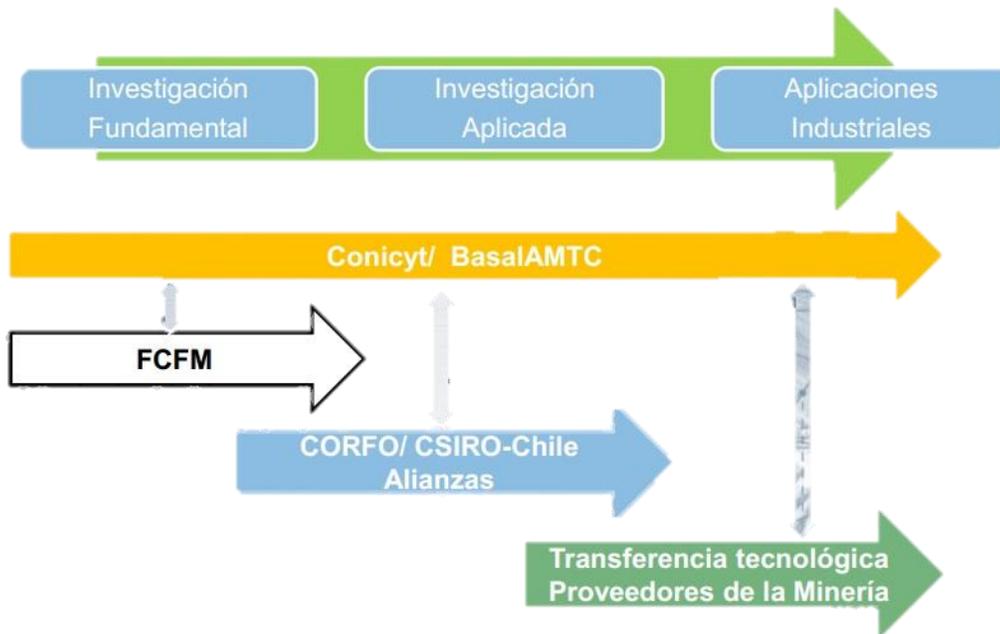


Figura 8: Plataforma de Estrategia de Desarrollo I+D, AMTC-CSIRO



Figura 9: Modelo I+D+i AMTC-CSIRO

2.3.2.5 Advanced Innovation Center (AIC)

La creación del AIC nace en agosto del 2010, por Alfredo Zolezzi, con la presentación ante la Casa Blanca de un proyecto muy simple: que la tecnología espacial y los científicos de los programas de la NASA pudieran ponerse al servicio de la comunidad y generar soluciones prácticas para mejorar la calidad de vida de las personas. Sus instalaciones se encuentran en Viña del Mar, Chile.

El proyecto AIC genera innovación aplicando el Modelo de los Objetivos Integrados que, a partir de la conjugación de ciencia avanzada, industria y modelamiento teórico matemático, permite crear, calcular y diseñar una tecnología que rompe los paradigmas de la innovación, pues la validación y certificación de sus aplicaciones impactan no sólo el ámbito de la industria sino también el humanitario.

La Figura 10 grafica la sucesión de hitos del Modelo de los Objetivos Integrados, considerando el valor del proyecto (creciente), la incertidumbre (decreciente) y el impacto potencial a lo largo del tiempo, sumado a la implementación de un “showcase” o prueba piloto, esbozando finalmente la viabilidad de una implementación o fase comercial.

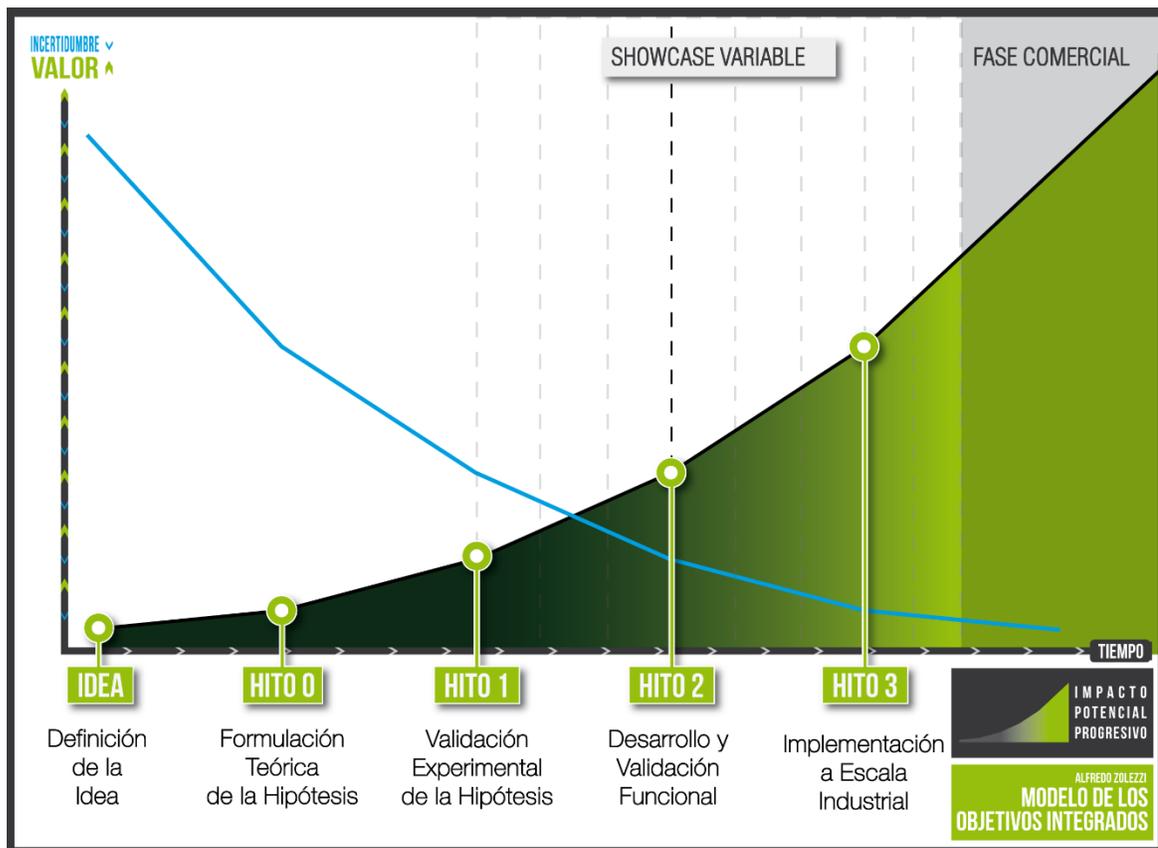


Figura 10: Esquema del Modelo de los Objetivos Integrados

Las principales áreas de innovación del AIC son energía, agua, medio ambiente y recursos naturales, superconductividad, física avanzada aplicada, nanotecnología, biotecnología, electromagnetismo, electrónica y computación.

2.3.2.6 Laboratorio de Block Caving

El Laboratorio Block Caving (BCL) fue creado el año 2008 siendo su principal área de estudio el desarrollo de investigación de las etapas del desarrollo minero orientadas al método subterráneo de explotación Block/Panel Caving. Las herramientas de investigación utilizadas por este laboratorio incluyen el modelamiento numérico, los modelos físicos a escala y el back análisis de información de terreno.

Los objetivos de este laboratorio son investigar los procesos mineros que constituyen las características distintivas de la explotación masiva subterránea, como el flujo gravitacional de roca hundida, la fragmentación de la roca, el hundimiento, entre otros. Asimismo se pretende formar en sus dependencias a los ingenieros y científicos de la minería del futuro de Block Caving.

Dentro de sus áreas de competencia se cuenta con:

- Modelamiento físico de sistemas mineros.
- Modelamiento numérico de la mecánica del caving y flujo gravitacional.
- Simulación de sistemas mineros.
- Modelamiento numérico en geo-mecánica.
- Desarrollo de tecnologías para diseño y planificación minera.
- Transferencia de conocimientos a la industria a través del Diploma de Ingeniería en Block Caving.

Actualmente, el laboratorio se enfoca principalmente en dos líneas de proyectos: Investigación fundamental e Investigación aplicada. Estos se mencionan a continuación:

- Políticas de tiraje para Goldex Mine
- Simulación de Caving
- Proyecto Modelamiento a escala de Minería Continua
- Proyecto Flujo gravitacional bajo confinamiento en minas de Block y Panel Caving
- Proyecto Protocolo de alerta sísmico
- Proyecto Mecanismo de Caving
- Proyecto Estudio de fragmentación con el método Synthetic Rock Mass
- Modelación numérica de flujo gravitacional
- Efectos de los mecanismos de dilución en la estimación de reservas de la Mina Chuquicamata Subterránea
- Diseño de mallas Nuevo Nivel Mina El Teniente
- Modelación física de la minería continua Fase 1

A pesar de la envergadura de proyectos en los que participa, el Laboratorio de Block Caving no se considera aún, ni cuenta con la infraestructura respecto a capacidad de un Centro Tecnológico de Innovación. Como consecuencia de lo anterior, no se ha implementado un modelo de investigación y desarrollo estratégico que gestione, identifique y capture iniciativas tecnológicas como potenciales proyectos para el centro.

2.4 El proceso de la investigación científica

El proceso investigativo, consiste en programar la investigación de acuerdo a un orden lógico, al mismo tiempo que emplea estrategias que orienta el modo de desarrollar el trabajo investigativo.

“Para llevar a cabo una investigación científica hay que realizar numerosas actividades, unas en forma secuencial, otras en forma simultánea y tomar varias decisiones en diferentes etapas (...) por lo que hay necesidad de planificar todo el proceso” (Namakforoosh, 2005).

En la Figura 11 se muestran las principales etapas del proceso de investigación. Para alcances del trabajo de memoria, sólo interesa entender las tres primeras etapas del proceso descrito, ya que estas son utilizadas en la propuesta metodológica del documento.

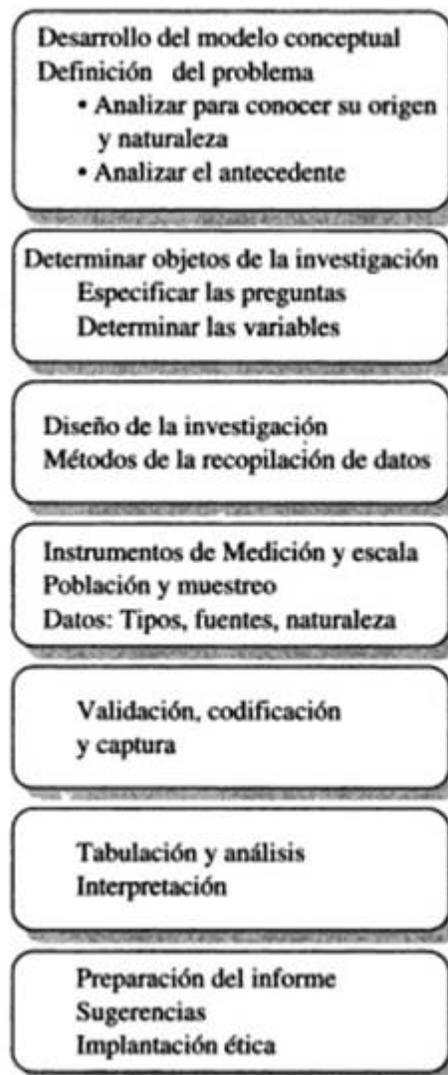


Figura 11: Proceso de Investigación Científica (Namakforoosh, 2005)

2.4.1 Marco Conceptual

La primera tarea del investigador es traducir el problema de la realidad y eso puede hacerse sólo si la teoría es implícita o explícita. Dentro del antecedente del problema de la investigación hay que expresar el marco conceptual o marco teórico.

La Figura 12 muestra un esquema para representar un proceso de teorización que considera tres etapas principales: la teoría, los métodos empíricos para la recolección y la realidad [21, 22].

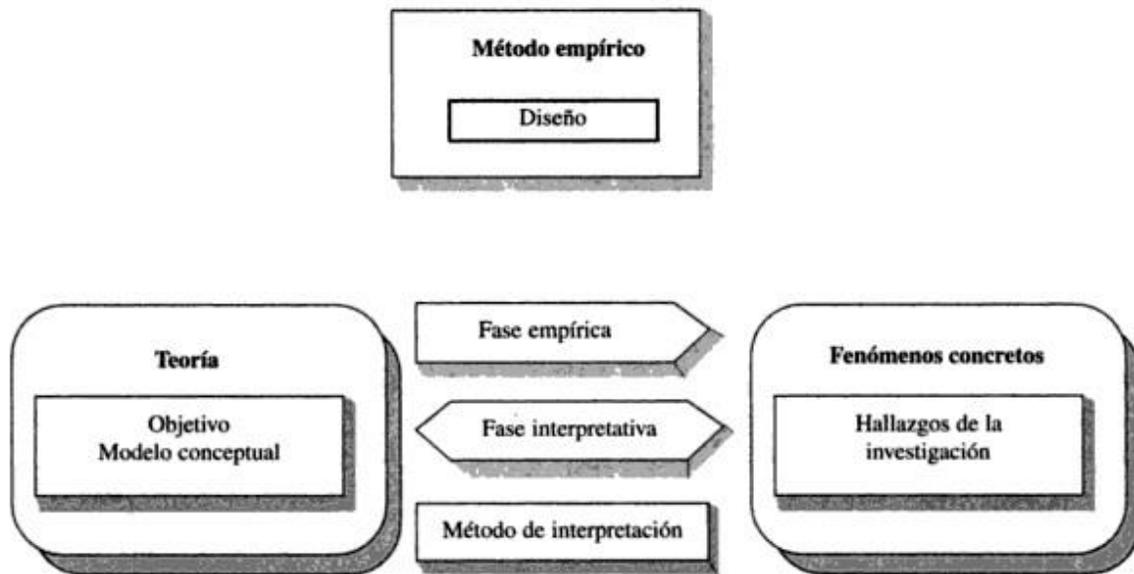


Figura 12: Proceso de Teorización (Pádúa J., 1979)

2.3.2 Definición del problema

Esta etapa es una de las principales en el proceso de investigación. Un problema es un estímulo intelectual llamado por una respuesta en la forma de investigación científica [23]. No todos los estímulos intelectuales se pueden investigar científicamente. Se debe preguntar si es investigable este problema. Por ejemplo, las observaciones subjetivas no se pueden estudiar científicamente. Para que una pregunta sea investigable, ésta debe ser de naturaleza tal que la observación y la recopilación de datos en el mundo real puedan dar una respuesta.

El problema consta de dos partes:

1. *Título del problema:* Es la presentación racional de lo que se investigará, da el pie de partida para al plan de la investigación y debe presentar una idea clara y precisa del problema.
2. *Planteamiento del problema:* Se origina a partir de una necesidad de tomar decisiones. El planteamiento establece la dirección del estudio para lograr ciertos objetivos de manera que los datos pertinentes se recopilen teniendo en mente esos objetivos con el fin de darles el significado que corresponda [24].

Para definir el problema, es clave distinguir los síntomas de su situación, es decir, el error en general ocurre porque el investigador estipula el síntoma en vez del problema que lo genera.

2.3.2.1 Análisis del problema. Su origen y naturaleza

La primera etapa de este análisis es elaborar una lista de todos los elementos del problema que ya se conocen y todos los elementos que se conocerán. Esta lista permite captar sub-problemas si es que existen. Es importante identificar el problema apropiadamente, porque no distinguir los síntomas de sus causas específicas y definir el problema de una forma muy amplia o reducida, puede causar resultados incorrectos en la toma de decisiones [25].

2.3.2.2 Análisis de antecedentes

Esta es una segunda actividad que tiene por objetivo conocer las decisiones específicas en el ámbito del problema. El análisis de antecedentes es una tarea del investigador, quien debe realizar entrevistas informales a los empleados, clientes, leer documentos y libros de la empresa.

En general, el análisis de antecedentes es como un tipo de investigación exploratoria cuyo propósito es la generalización de ideas y perspectivas. Busca poner al problema en perspectiva respecto a su alcance y a sus propiedades. Además proporciona flexibilidad a la investigación respecto a su beneficio potencial, sus costos y el tiempo que se requiere para el proyecto.

Para lograr lo anterior, se realizan las siguientes actividades:

1. *Análisis situacional:* El objetivo es observar rápidamente el medio ambiente interno y externo de la organización para identificar consecuencias potenciales y prácticas de la investigación.
2. *Revisión de la literatura:* Permite estimular la perspectiva conceptual de la investigación para un análisis más adecuado. Con la información obtenida de la revisión es posible, en ocasiones, resolver el problema destinado a la investigación.
3. *Opinión de los expertos:* Discutir el problema con investigadores experimentados que manejan el tema o han realizado estudios al respecto es una forma conveniente de analizar los antecedentes. Esta discusión es informal.

2.3.3 Determinar la necesidad de la investigación

Después de identificar, definir el problema y analizar los antecedentes es necesario preguntar: ¿es necesaria una investigación cuantitativa? La respuesta, en ocasiones, puede ser negativa por las siguientes razones:

1. Se resuelve el problema con la información recopilada en los antecedentes.
2. Un estudio cualitativo puede contestar las preguntas.
3. No es posible recopilar datos confiables, o el costo es muy elevado.

2.3.4 Determinar el objetivo de la investigación

Los objetivos señalan los elementos del marco conceptual que se deben investigar. Se expresan en términos de los objetivos de la empresa, describen las perspectivas de la investigación y lo que se espera de los resultados de esta.

Se debe tener en cuenta factores como:

1. ¿Qué información se necesita?
2. ¿A quién se debe informar de los resultados de la investigación?
3. ¿Quién utilizará los resultados?

Además, las siguientes preguntas deben ser contestadas con plena claridad:

1. ¿Qué información se busca?
2. ¿Cuánta información se necesita?
3. ¿Cuándo se necesita?
4. ¿Con qué grado de confiabilidad se debe producir?
5. ¿Qué nivel administrativo la utilizará?

2.3.5 Diseño de la investigación. Tipos de estudio

2.3.5.1 Estudio exploratorio

Su objetivo es generar descripciones generales del problema. No tiene hipótesis formales y utiliza métodos suaves como entrevistas. La idea es obtener un conocimiento más amplio respecto al problema en estudio. Un estudio cualitativo puede ser un buen ejemplo.

2.3.5.2 Estudio Descriptivo

Se encuentra entre el estudio exploratorio y el causal. Supone que se conocen las variables pertinentes al problema. Sus hipótesis son de tipo general, por lo tanto, sus resultados tienden a ser comparaciones de características generales.

2.3.5.3 Estudio causal

Este estudio es el más exigente. Se deben conocer las variables pertinentes y la relación entre ellas. Se centra en dos aspectos:

1. Confirmar o desaprobar las relaciones hipotéticas.
2. Estimar los parámetros y la fuerza de estas relaciones.

La investigación exploratoria forma parte introductoria de la descriptiva o causal ya que selecciona qué datos recolectar y la forma en que se dará la información. Antes de gastar tiempo, dinero y esfuerzo en recolectar datos, conviene analizar los que se tienen y evaluar su utilidad en la investigación [25].

2.3.6 Método de recopilación de datos

Los datos se pueden obtener (en el supuesto de que se necesiten) por observación, interrogatorio y simulación.

2.3.6.1 Observación

La forma obvia de recopilar datos es observar el comportamiento en un escenario natural, en una situación controlada o en una observación directa. La observación se puede realizar de manera discreta, para que la operación o procesos no se vean afectados, pero también se puede realizar de manera abierta mediante un proceso personal o remoto. La ventaja de realizar esta actividad de manera directa es que la información también se obtiene de manera directa.

2.3.6.2 Interrogatorio

Es el método más conocido para la recopilación de datos. En muchos casos, estudios de observación se complementan con la aplicación de un cuestionario en una encuesta. Este método es menos costoso y puede cubrir áreas que no se pueden someter a observación.

2.3.6.3 Simulación

En este método se utilizan datos históricos existentes y modelos para proyectar comportamientos del sistema. Se utiliza como base un modelo del sistema y se proyectan resultados para diferentes escenarios hipotéticos simulando los resultados reales. Su ventaja es que pueden dar respuesta a las preguntas sin tener que recopilar nuevos datos. Como desventaja puede ocurrir que el modelo no se encuentre bien calibrado generando resultados mal estimados.

2.5 Conclusiones del capítulo

La revisión bibliográfica desarrollada en este capítulo presenta una revisión histórica del aporte de la innovación en la industria minera. Se destacan algunos de los principales quiebres tecnológicos que han marcado grandes aportes al desarrollo de este sector y se destaca que las proyecciones debiesen apuntar a descubrir nuevos saltos en automatización y reducción de tamaño del macizo.

Se cuenta con variadas herramientas que permiten el fomento de innovación y la industria minera debiese aprovechar estos elementos con el objetivo de crear un proceso de gestión de la innovación, que se sea parte inminente de cada operación minera para finalmente adquirir una cultura de innovación. Países líderes en minerías como Australia y Canadá cuentan con esta cultura mencionada; en Chile existe conciencia de la necesidad de fomentar este concepto y ha tomado medidas en las últimas décadas, sin embargo, aún se encuentra al debe en este ámbito.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo realizar un análisis detallado del estado y las dificultades presentes en la operación minera subterránea. La metodología propuesta busca permitir la captura de iniciativas tecnológicas y poder priorizarlas según los requerimientos de la industria con el fin de destinar de manera óptima los recursos en I+D.

CAPÍTULO 3: Propuesta Metodológica

En el presente capítulo se presentan las etapas que componen una metodología para la captura de iniciativas de I+D con innovación tecnológica. Cada una de las etapas a realizar y las actividades y/o herramientas a utilizar se describen en detalle a continuación.

3.1 Primera Etapa: Contexto

Esta primera etapa no demanda gran cantidad de tiempo para la investigación, pero es importante que el resultado sea bien definido. El motivo de la investigación es determinar el o los problemas presentes en la operación e identificar iniciativas tecnológicas que entreguen potencial solución a estos problemas. Sin embargo, la operación se compone de una cadena de procesos que no se encuentran en el aire, sino que están inmersos en un contexto que se compone de un desempeño histórico y en variados casos, de una tendencia que es posible detectar. El contexto quedará definido según lo posible de concluir de los antecedentes bibliográficos.

3.2 Segunda Etapa: Definición del Problema

Esta es la segunda etapa y en ella se plantea una pregunta que debe ser investigable, es decir, que la observación y recopilación de datos en el mundo real puedan dar una respuesta. Es importante tener claro las prioridades y los conceptos o terminología que maneja la empresa. El problema se definirá en dos partes:

- a) *El título del Problema:* Debe presentar una idea precisa y clara del problema.
- b) *El planteamiento del Problema:* Plantea la dirección del estudio a fin de lograr ciertos objetivos de modo que la recopilación de información tenga enfoque en ellos.

Para poder identificar el título del problema y plantearlo de manera correcta, es necesario llevar a cabo dos actividades principales, las cuales incluyen sub-actividades necesarias el desarrollo de las primeras. El cumplimiento de estas entrega como resultado la definición del problema.

3.1.1 Origen y Naturaleza del Problema

La primera actividad de este análisis es identificar todos los elementos del problema que se conocen; es decir, poder detectar las diferencias existentes entre el desempeño logrado en los procesos y las metas que no han sido alcanzadas. No olvidar que el motivo de este trabajo de memoria es identificar problemas que aquejan la operación minera, por lo tanto, en esta primera etapa es necesario realizar un benchmarking (ver Capítulo 3.8.3) en donde se observen, al menos, los parámetros que se presentan a continuación:

- 1) *Brechas en productividad.*
- 2) *Tendencias en los costos operacionales.*
- 3) *Key Performance Indicators (KPI) críticos.*

De este modo, los tres parámetros de comparación a utilizar en el proceso de benchmarking permitirán estimar una posición relativa de la operación respecto al estándar de la industria en operaciones equivalentes/comparables, dado el o los problemas que esta presenta.

3.1.2 Análisis de antecedentes

En esta segunda actividad es necesario llevar un análisis de los antecedentes disponibles en la literatura e historial de la operación. Las actividades que se pueden desarrollar (al menos desarrollar una) en esta etapa y sus objetivos se describen a continuación:

- 1) *Análisis Situacional*: Determinar por qué y cómo surgió el problema de investigación.
- 2) *Revisión de la literatura*: Estimular la perspectiva conceptual de la investigación para un análisis más adecuado.
- 3) *Opinión de los expertos*: Recopilar la experiencia observada desde la perspectiva de un experimentado en el tema que ya ha realizado estudios al respecto.

3.3 Tercera Etapa: Ejes de la investigación

La definición de los ejes o conductores de la investigación permite organizar y delinear desde una perspectiva global las áreas en donde está definido el problema o la forma en que se abordará el problema. De este modo, permite desglosar en “partes” el problema para facilitar la identificación de las necesidades.

Las partes pueden ser definidas de variadas formas; es posible dar una mirada desde la ingeniería de proyectos, separación según áreas del proceso o el detalle de un solo eslabón de la cadena, entre otras opciones. El investigador escoge la forma en pos de los alcances de la investigación o como retroalimentación de lo observado y compartiendo objetivos de la empresa.

3.4 Cuarta Etapa: Determinación de la necesidad

El determinar la o las necesidades requiere de un conocimiento y estudio mayor del proceso que se está investigando. Las necesidades encontradas deben explicar los síntomas que son causales del o los problemas que motivan a esta investigación. Por lo tanto, la interacción con los expertos en cada área del proceso minero es de suma relevancia en esta etapa.

La actividad que permite lograr el objetivo de etapa es la “sesión de grupo” (*Focus Group*) adaptada para esta investigación, que se describe brevemente a continuación:

1. Consiste en un grupo de 8 a 12 personas y un moderador (investigador).
2. Los participantes deben ser expertos de las distintas áreas (en este caso, en el proceso minero se tienen áreas como Planificación, Geo-mecánica, Proyectos, Innovación, entre otras).
3. El investigador elabora un breve cuestionario (una vez definido el contexto, antecedentes, ejes y problema) que deben responder los participantes en una primera instancia; posteriormente, se discuten las ideas planteadas y se archivan respuestas globales y acordadas para las preguntas planteadas.

3.5 Quinta Etapa: Identificación de Iniciativas tecnológicas

En esta etapa es posible utilizar dos tipos de actividades de investigación que cumplen con el objetivo de poder recolectar información estratégica desde los expertos de las distintas áreas que son de interés para este trabajo.

3.5.1 *Workshop tecnológico División El Teniente / Proveedores*

Se realiza un taller tecnológico en División El Teniente, Codelco, en donde las reglas básicas de esta actividad (capítulo 3.8) han sido adaptadas para esta investigación y se describen a continuación:

- 1) Consiste en un grupo de 8 a 12 personas y un moderador (investigador).
- 2) Los participantes deben ser expertos de las distintas áreas (en este caso, en el proceso minero se tienen áreas como Planificación, Geo-mecánica, Proyectos, Innovación, entre otras). El detalle del perfil de los expertos participantes se encuentra en el Anexo B.
- 3) El investigador elabora un breve cuestionario (una vez definido el contexto, antecedentes, ejes y problema) que deben responder los participantes en una primera instancia; posteriormente, se discuten las ideas planteadas y se archivan respuestas globales y acordadas para las preguntas planteadas.
- 4) La duración de esta actividad es de aproximadamente de 3:30 horas cuyo formato se describe en el Anexo B.

3.5.2 *Workshop “Mine Planning” – Congreso Caving 2014*

Esta actividad cuenta con la ventaja de contar con un espectro más variado de expertos en distintas disciplinas enfocados al estudio e investigación de los parámetros críticos para la planificación de una mina subterránea de hundimiento.

Las reglas y procedimiento de la actividad son menos flexibles que la actividad descrita anteriormente (capítulo 3.4.1) y se resumen de manera general a continuación:

- 1) El taller se divide en cuatro sesiones.
- 2) Cada dos presentaciones se realiza una sesión de debate (Los temas abordados se encuentran disponibles en el Anexo B).
 - a. 25 min para cada presentación.
 - b. 50 minutos para cada sesión de discusión.
- 3) Los debates se desarrollan en 5 grupos de siete participantes (el detalle de los participantes y las preguntas se encuentra disponible en el Anexo B), considerando:
 - a. 15 minutos para la discusión en grupo.
 - b. 5 minutos por presentaciones de grupo (para el resto de participantes).
 - c. 10 minutos para la discusión de cierre.

3.6 Sexta Etapa: Categorización preliminar de Iniciativas

En la etapa final, se cuenta con un listado de iniciativas tecnológicas con potencial aporte al desarrollo de proyectos futuros y mejoras en la actual operación. El resultado final de este nivel es una organización de las iniciativas según los parámetros descritos en el siguiente capítulo 3.7.

De este modo, es posible asignar una categoría, prioridad e inversión tiempo/costo a cada proyecto con el fin de optimizar los recursos que se destinan al estudio y desarrollo de este.

3.7 Parámetros de categorización

Es necesario organizar las iniciativas de innovación tecnológica según el estado de investigación y desarrollo que requieren, su valor asociado para que pueda ser realizado, el tiempo de implementación o estudio y la prioridad que se le asocia dado los requerimientos de la operación.

La Tabla 6 resume los parámetros a ser considerados indicando los valores o rangos que pueden tomar cada uno de estos, de este modo, se facilita la categorización y cualquier iniciativa que se quiera analizar puede ser incluida en cada uno de los cuatro ítems de evaluación.

El producto del ejercicio anterior es una primera categorización general pero resulta ser representativa y suficiente para el análisis que motiva esta investigación de memoria.

Tabla 6: Listado de parámetros de organización de iniciativas tecnológicas

PARÁMETRO	RANGO
<i>Tipo</i>	Investigación Académica I+D Aplicada Desarrollo Industrial
<i>Valor</i>	< 100 KUS\$ 100 KUS\$ - 1 MUS\$ 1 MUS\$ - 10 MUS\$ > 10 MUS\$
<i>Tiempo</i>	1-6 meses 6-12 meses 12-24 meses > 24 meses
<i>Prioridad</i>	Alta Media Baja

3.8 Actividades de apoyo y herramientas

Las actividades que sirven de apoyo para la recopilación de información, llevadas a cabo (adaptadas para la investigación) se describen a continuación.

3.8.1 Focus group

El modelo clásico de focus group implica un grupo de entre seis y doce participantes, sentados en círculo, en torno a una mesa, en una sala preferentemente amplia y cómoda. Los grupos de discusión, además, cuentan con la presencia de un moderador, encargado de guiar la interacción del grupo e ir cumplimentando los pasos previstos para la indagación. Se busca que las preguntas sean respondidas en el marco de la interacción entre los participantes del grupo, en una dinámica donde éstos se sientan cómodos y libres de hablar y comentar sus opiniones. La duración promedio de un focus group es de noventa a ciento veinte minutos [27].

Para alcances de la investigación, el rol de moderador lo asume el investigador y las preguntas/ideas que direccionan las discusiones, son las obtenidas en las etapas anteriores del método de captura de iniciativas propuesto.

3.8.2 Workshop estratégico

Es un taller de trabajo intensivo, de 8 a 10 horas diarias de trabajo dividido en diferentes bloques de no más de 3 horas de duración, con intervalos de 20 minutos entre cada uno para que los asistentes puedan distenderse, descansar, conversar y tomar algo. Una de sus características es que se puede convocar a personas de una misma o diversas profesiones formando así grupos interdisciplinarios para que intercambien experiencias y opiniones durante el evento. Otra de sus particularidades es que son coordinados o dirigidos por un especialista o representante del tema que se convoca en el taller. El rol del coordinador es primordial ya que es quien se encarga de llevar adelante los distintos disparadores para que ocurra el intercambio entre los asistentes.

Para alcances de la investigación, el rol de coordinador es llevado por el investigador con la oportunidad de poder guiar los temas en dirección a favorecer el desarrollo de las etapas del modelo de captura de iniciativas propuesto.

3.8.3 Benchmarking

"Benchmarking es un proceso sistemático y continuo de evaluación de los productos, servicios y procedimientos de trabajo de las organizaciones que son reconocidas como representantes de las mejores prácticas, con el propósito es el mejoramiento organizacional"(Spendolini, 2005) [27].

Para alcances de la investigación se busca realizar un benchmarking competitivo, cuyo objetivo es identificar información específica acerca de productos, los procesos y los resultados comerciales de sus competidores y compararlos con los de su organización. Este tipo de benchmarking es de gran utilidad cuando se busca obtener la posición relativa de la organización en la industria.

3.9 Conclusiones del capítulo

El capítulo presentado describe una propuesta metodológica que detalla cada una de las etapas y las actividades que deben ser realizadas para poder obtener el resultado final; el trabajo de memoria espera como resultado final un listado de iniciativas de investigación y desarrollo en innovación tecnológica.

La Figura 13 presenta un esquema que resume el proceso de la metodología propuesta para el trabajo de memoria.



Figura 13: Metodología de captura de iniciativas I+D con innovación tecnológica

CAPÍTULO 4: Aplicación de la Metodología

4.1 Contexto

Al realizar una revisión bibliográfica de la situación actual de la industria y operaciones mineras es posible sintetizar que el contexto que envuelve este trabajo de memoria como se presenta a continuación:

La industria minera de Chile se encuentra en una situación complicada. Por un lado, la minería ha llevado al país a mejoras significantes en progreso y economía, haciendo que este esté considerado dentro de una economía avanzada. Chile es el mayor productor de mineral de cobre en el mundo, sin embargo, el aumento de los costos, la baja en la calidad de los depósitos minerales, la disminución de la productividad, el aumento de la presión social de comunidades y la sustentabilidad, están obstaculizando la rentabilidad y la capacidad del sector para mantener esta competitividad a nivel mundial [29].

Dicho lo anterior, la industria minera puede optar por continuar su curso actual y hacer frente a estos desafíos a través de soluciones a corto plazo que ofrecen mejoras incrementales. Por otro lado, puede identificar las oportunidades en innovación radical que generen efectivo cambio en las prácticas actuales y proyectos futuros a nivel mundial con el fin de forjar una nueva trayectoria ascendente para el crecimiento económico, tanto para la industria y el país.

De este modo, los avances en investigación científica y desarrollo en innovación tecnológica pueden hacer frente a los desafíos que no sólo obstaculiza la productividad de la industria, sino del país. Es entonces necesario impulsar el crecimiento de un nuevo sector de servicios mineros que ayude a diversificar la industria y entender la necesidad de nuevas formas de llevar a cabo los procesos en la minería forjando cambios que serán vitales para asegurar que Chile sigue siendo un jugador clave dentro de la cadena de valor de la minería mundial en las próximas décadas.

4.2 El problema

Como fue descrito en el capítulo anterior, la definición del problema se conforma de dos partes generales: el título del problema y su planteamiento en pos de dar una dirección al análisis de antecedentes de la literatura.

4.2.1 Origen del problema

Esta etapa del proceso requiere de un análisis comparativo del estado de la operación minera, para alcances de este trabajo de memoria corresponde a la operación subterránea de Chile, con respecto a los estándares mundiales de proyectos de similares métodos de explotación y características de yacimiento mineral. Siguiendo la metodología propuesta, se realiza un benchmarking de los principales proyectos de explotación subterránea masiva mundial en fase de estudio/desarrollo o ad-ports de comenzar su producción en los próximos años con el fin de detectar la realidad de los proyectos a realizar en Chile.

Se evalúa la producción objetivo y la profundidad estimada para cada proyecto. Los resultados de esta primera evaluación exploratoria se resumen en las Figuras 14 y 15 respectivamente.

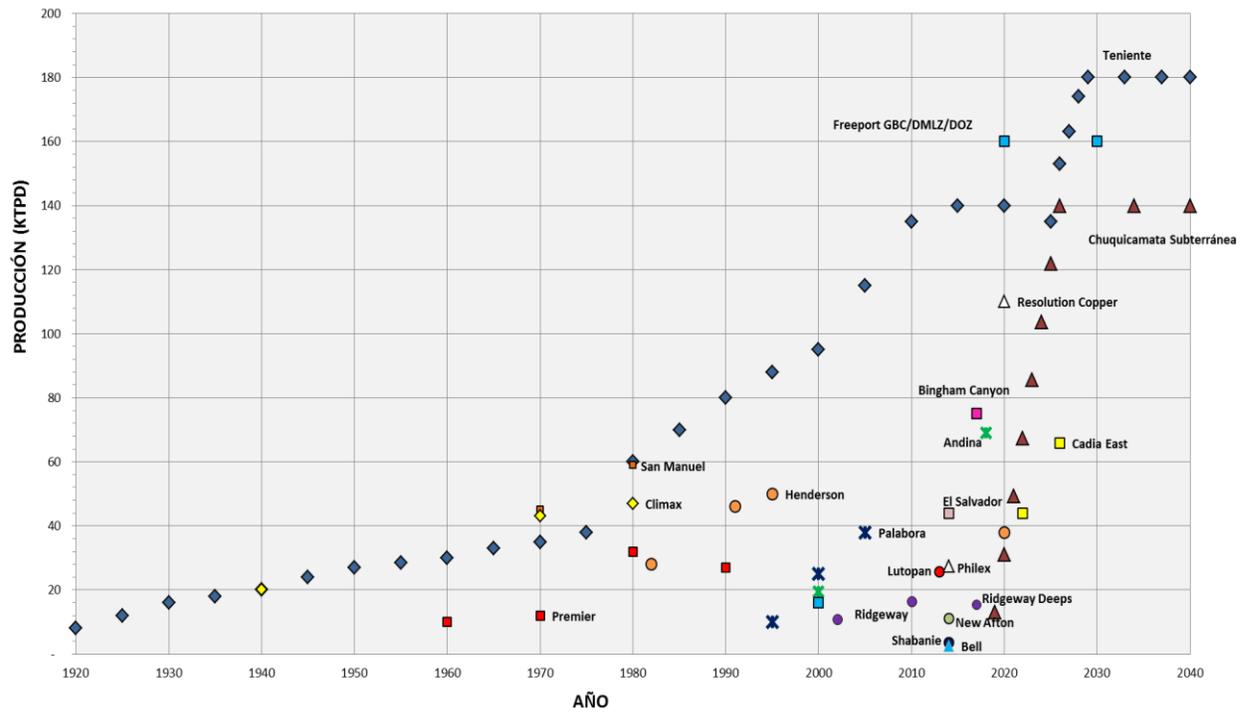


Figura 14: Evolución de tasas de producción diaria de grande minas subterráneas (Actualizado de Brown E. 2004)

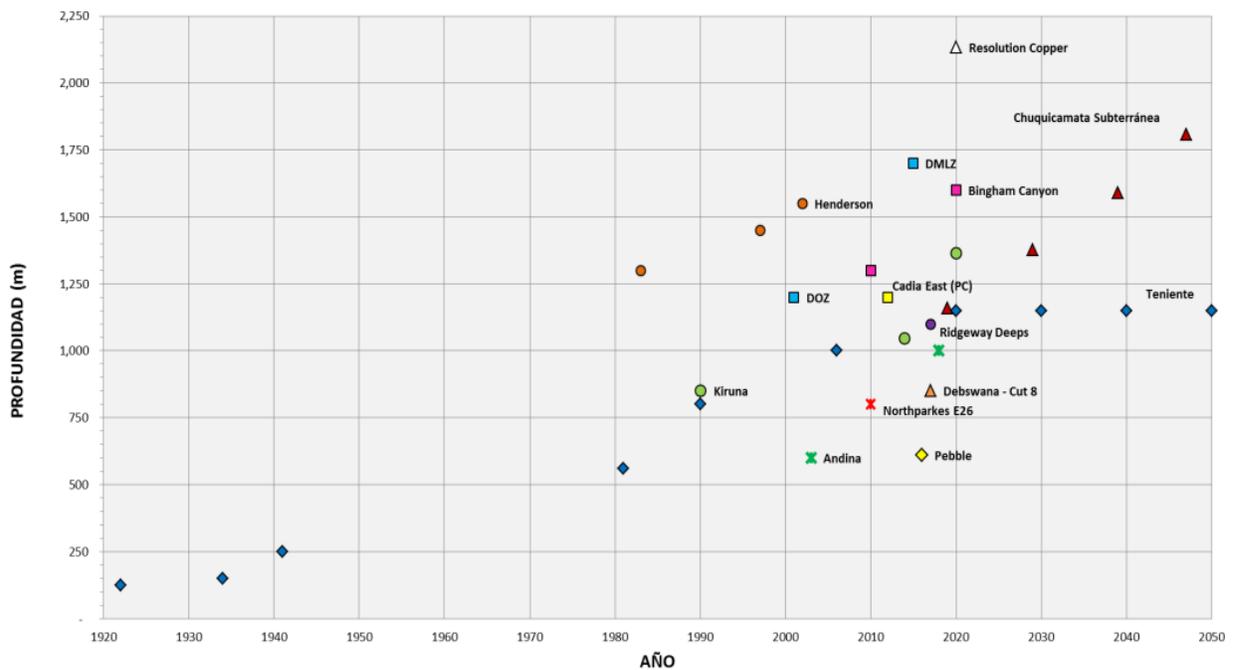


Figura 15: Evolución de profundidad en minas subterráneas de explotación masiva (Actualizado de Brown E., 2004)

El análisis muestra que los proyectos futuros en Chile, en particular Nuevo Nivel Mina de División El Teniente [7] y Chuquicamata Subterráneo de División Chuquicamata [6], presentan una posición relativa liderando tanto para las proyecciones de producción como profundidad, lo cual indica una apuesta ambiciosa y desafiante por parte de ellos.

Por un lado, División Chuquicamata alcanza el segundo lugar en este listado de proyectos para el caso de la profundidad con casi 2000 metros (sólo es superado por Resolution Copper [30] que supera esta cifra).

Para el caso de División El Teniente este lidera la producción esperada alcanzando las 180.000 toneladas de mineral por día seguido de Freeport con los proyectos de Grasverg Block Cave, Deep Mill Level Zone y Deep Ore Zone [31].

Por lo tanto, la operación subterránea futura en Chile hace frente a estos dos metas ambiciosas como lo son la “mega-productividad” y profundidades que hace un par décadas atrás era impensable o simplemente considerado como inviable.

Por ejemplo, la profundidad trae asociado los siguientes desafíos:

- Transporte de mineral/marina
- Desarrollo de labores en condiciones de altos esfuerzos; requerimientos de sistemas/técnicas de soporte y construcción adecuados.
- Temperatura.
- Transporte de usuarios a la mina subterránea.

Por otro lado, las altas tasas de productividad implican algunos desafíos tecnológicos como:

- Aumento de capacidad productiva de sistemas de manejo de materiales.
- Área abierta requerida para aumentar la producción.
- Mayor cantidad de área a ser desarrollada por año.

4.2.2 Análisis de antecedentes

La literatura indica como principales desafíos técnicos que deben superar los futuros proyectos de explotación masiva subterránea a: mayor profundidad de las reservas, promedio de depósitos de menor grado (ley) y satisfacer la demanda de una mayor productividad [32].

Debido a la profundidad surgen problemas que pueden afectar a los proyectos que se deben ser evaluados y superados, como por ejemplo: “malas” estimaciones de las reservas, el acceso al yacimiento, una roca más dura, tensiones del macizo rocoso superiores, ambiente de trabajo intenso (ventilación, temperatura y humedad), una mayor demanda de energía, distancias más largas para transporte de material a la superficie y eficaz horas de trabajo debido al transporte del personal desde y hacia la superficie.

Es claro que el futuro predominantemente se asocia con la explotación de yacimientos de menor calidad. Los costos operacionales de explotación minera de hundimiento han ido en aumento en los últimos años con el uso de las prácticas actuales y se estiman en un rango de 7 USD por tonelada hasta 12 USD.

La minería masiva subterránea continuará experimentando una demanda de mayor productividad [33]. Esto se ve agravado por la explotación de yacimientos de menor ley promedio. Con el fin de ser económicamente rentable en estas condiciones, se requerirán del doble de la actual productividad.

Existe una gran cantidad de futuras operaciones con proyecciones a altas tasas de producción en distintas partes del planeta presentadas en la Figura 16 (color rojo).

Al considerar la producción que alcanzan en conjunto sólo los principales proyectos (los mostrados en mapa) que actualmente se encuentran en operación (color azul), la cantidad de mineral explotado asciende a las 200 millones de toneladas al año, sin embargo, la producción proyectada para los proyectos con un comienzo posterior al 2015 alcanza una cifra de 530 millones de toneladas. Esto anterior avala la tendencia y necesidad descrita.



Figura 16: Operaciones de minería masiva de hundimiento actuales y futuras

Las Tablas 7 y 8 muestran las operaciones consideradas para el análisis comparativo de la situación actual y futuras junto a las respectivas producciones.

Tabla 7: Producción en conjunto de actuales operaciones de minería masiva de hundimiento

MINA	PAIS	PRODUCCIÓN [MTPA]
<i>Ridgeway Deeps</i>	Australia	5.6
<i>Northparkes</i>	Australia	3.65
<i>El Teniente</i>	Chile	47.5
<i>El Salvador</i>	Chile	16.0
<i>Andina</i>	Chile	10.0
<i>Henderson Lv 7210</i>	EEUU	11.7
<i>Bell</i>	Canada	0.9
<i>Shabanie</i>	Zimbawe	1.3
<i>DOZ – Freeport</i>	Indonesia	29.2
<i>Lutopan</i>	Filipinas	9.4
<i>Philex</i>	Filipinas	10
<i>Palabora</i>	Sudáfrica	14.6
<i>New Afton</i>	Canada	4.0
TOTAL		448,808 [ton/día]

Tabla 8: Producción en conjunto para futuras operaciones de minería masiva de hundimiento

MINA	PAIS	PRODUCCIÓN [MTPA]
<i>Grasberg Underground</i>	Indonesia	58.4
<i>Deep Mill Level Zone (DMLZ)</i>	Indonesia	29.2
<i>KUCING LIAR</i>	Indonesia	36.5
<i>Oyu Tolgoi</i>	Mongolia	32.9
<i>Chuquicamata Subterranea</i>	Chile	51.1
<i>Nuevo Nivel Mina (DET)</i>	Chile	65.7
<i>Cadia East</i>	Australia	25.6
<i>North Parkes SC</i>	Australia	30.0
<i>Resolution Copper</i>	EEUU	40.2
<i>Bingham Canyon Underground</i>	EEUU	26.5
<i>Carrapateena</i>	Australia	12.5
<i>Golpu</i>	Papua New Ginea	22.0
<i>Argyle Underground</i>	Australia	9.5
<i>New Afton</i>	Canadá	4.0
<i>Pebble PLP</i>	Alaska	73.0
<i>Alemao SC</i>	Brasil	0.4
TOTAL		1,417,267 [ton/día]

Es posible concluir que los problemas de profundidad requerirán de soluciones de ingeniería con el fin de ser capaces de extraer en estas nuevas condiciones adversas (descritas anteriormente) no experimentadas en la operación actual.

Para proyectos futuros con depósitos de menor grado, será necesario el desarrollo y aplicación de tecnologías, con el fin de garantizar que operacionalmente, la minería de “caving” sigue siendo de bajos costos. De otro modo, los depósitos de baja ley serán considerados poco rentables utilizando prácticas operativas actuales.

Los niveles de productividad esperados sólo se podrán lograr mediante la aplicación de nuevas tecnologías con sistemas de producción continua y automatizada optimizando los tiempos y rendimientos de turnos en la operación.

Para concluir este análisis de antecedentes, un buen análisis es observar las dos grandes tendencias mencionadas de manera histórica, observando el aporte que ha generado la innovación tecnológica en el desarrollo de la industria minera. Para ello, se realiza un levantamiento de los grandes quiebres tecnológicos que han agregado valor y generado saltos en el progreso y cumplimiento de los objetivos que ha afrontado esta industria en el tiempo, específicamente, la minería del cobre.

A continuación, la Figura 17 muestra un gráfico que resume lo anterior, con una tendencia clara en la disminución de las leyes promedio de los yacimientos cupríferos y en donde la producción ha podido mantener una pendiente ascendente sólo gracias innovaciones radicales que generaron saltos y cambios en las prácticas desarrolladas en el proceso minero.

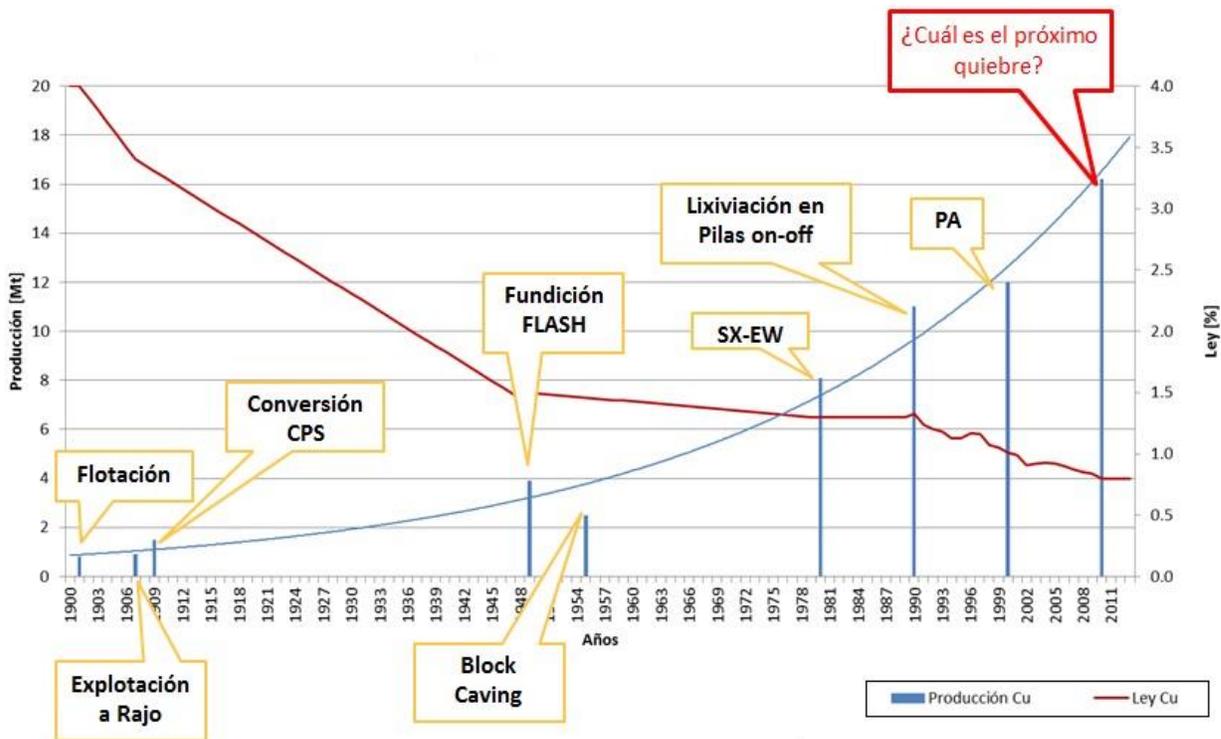


Figura 17: Quiebres tecnológicos en la minería

Al observar la Figura 17, es importante explicar que la tendencia positiva de la producción se compone en promedio de mejoras continuas aplicadas al proceso minero, sin embargo, los quiebres tecnológicos que se mencionan han generado saltos que se han mantenido en el tiempo y que permiten esta evolución positiva de la industria.

Para el caso de la fragmentación y el flujo gravitacional se observa que los avances en la última década han sido logrados de la mano de la industria mediante pruebas a nivel mina y de la investigación con la creación de modelos numéricos y físicos a escala de laboratorio (ver Figura 19 y 20).

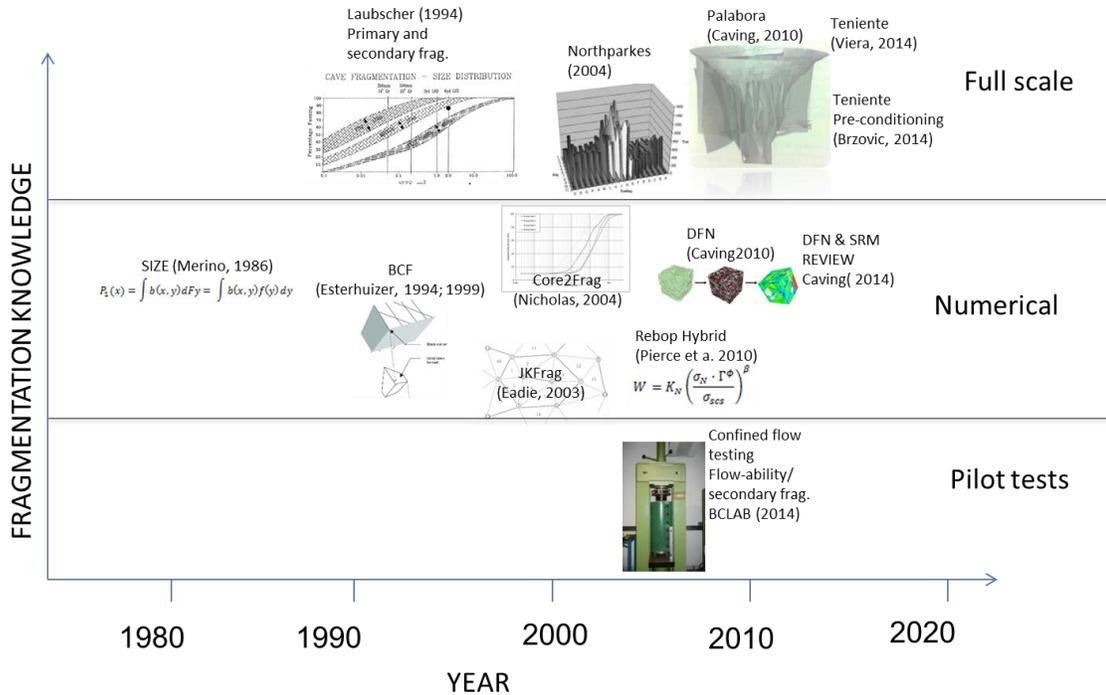


Figura 19: Avances del conocimiento en fragmentación [43]

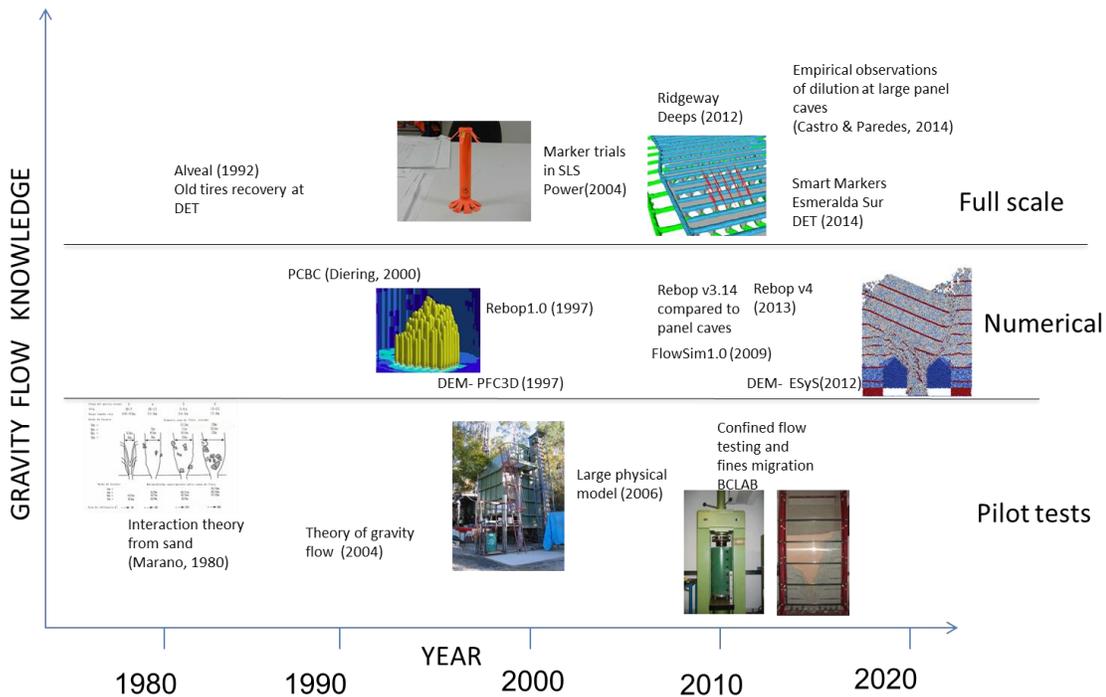


Figura 20: Avances en el conocimiento del flujo gravitacional [43]

Entender los fundamentos de cada uno de estos conceptos ha permitido obtener parámetros de gran importancia para la planificación de una mina de block/panel caving. Avances en conceptos como radio hidráulico, ritmo de propagación, dirección de avance, ángulo de subsidencia para el caso del caving (por mencionar algunos). Mayor entendimiento de la distribución del tamaño de partícula en función del tiraje y frecuencia de colgadura para el caso de la fragmentación. Finalmente, los avances para el flujo gravitacional de mineral han permitido entender los conceptos de zona interacción de elipsoides de flujo, recuperación primaria, entrada de dilución, riesgo de estallido de barro, ritmo y ángulo del tiraje. Sin embargo, estos estudios han aportado al mejoramiento incremental en la gestión del cómo llevar a cabo el proceso de extracción, asegurando cumplir las metas de productividad y seguridad en la operación. Por lo tanto, es necesario tomar una visión más panorámica del avance que ha logrado el conocimiento y para ello se observará el problema desde lo global, para luego observar de manera detallada dónde es necesario avanzar y de qué forma.

La visión global entonces, permite observar la tendencia a la baja de calidad de los yacimientos; este escenario ha sido abordado y solucionado mediante un aumento continuo de las tasas de producción permitiendo que el sector minero de potencie y siga liderando económicamente en la industria mundial. Por lo tanto, la pregunta es: ¿Qué problema o desafío preocupa tanto a los expertos y hace urgente la necesidad de un quiebre tecnológico, o al menos, un aumento en los recursos destinados a investigación y desarrollo en las áreas de innovación? La respuesta es evidente y ha sido presentada durante todo el análisis general.

El principal problema que enfrenta el futuro de la minería subterránea es el aumento de profundidad que trae consigo una serie de dificultades y necesidades que se abordarán en las siguientes etapas de este proceso. Se concluye esta etapa de definición entendiendo que la operación minera subterránea actual se enfrenta un escenario futuro de *minería profunda*, siendo este, el principal problema de esta investigación.

4.3 Ejes para abordar problema

Todo proyecto de explotación minera no está ajeno a cumplir con tres hitos que son generales y necesarios de estudiar y monitorear para asegurar la operación y cumplir el gran propósito de este negocio que es la extracción de mineral. Estas etapas críticas se pueden definir como: la construcción de toda la infra-estructura para la operación, la puesta en marcha del proyecto y el velar por la continuidad de la explotación.

Dicho lo anterior, se han definido tres ejes con los cuales se abordará el problema de esta investigación, los cuales han sido definidos como:

- 1) Constructibilidad
- 2) Explotabilidad
- 3) Continuidad Operacional

Sin embargo, cada una de estas etapas críticas se cruza con un cuarto eje presente durante toda la vida operacional de los proyectos y en cada etapa, proceso, área que compone la explotación de mineral. Este eje es la “seguridad” que limita cada una de las decisiones a las que se enfrentan los proyectos.

Cada uno de los tres ejes definidos se puede dividir en sub-ejes, como se presenta en la Figura 21.

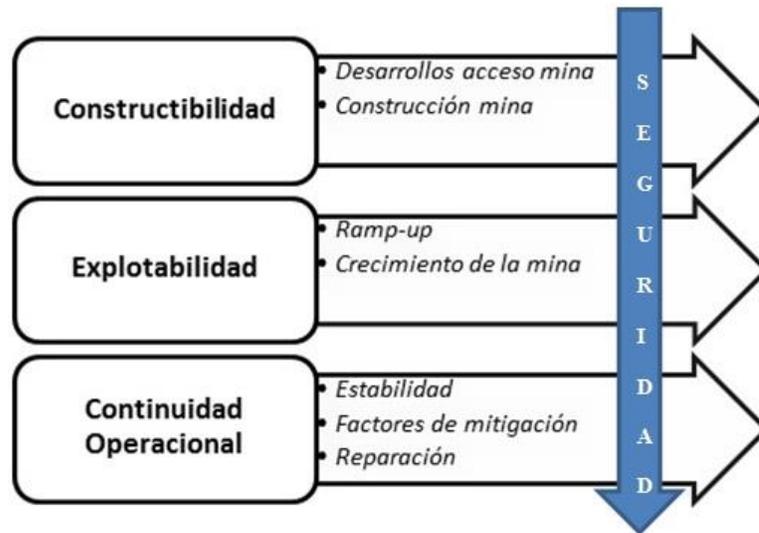


Figura 21: Ejes de la investigación

4.4 Necesidades

Para el cumplimiento de esta etapa se lleva a cabo la actividad denominada “focus group”, para lo cual se solicitó a los expertos de las áreas de Planificación, Innovación, Geomecánica, Excelencia Operacional, Proyectos y Operación Mina de División El Teniente, Codelco, participar de ella cuyo moderador es el investigador a cargo de este trabajo.

El cuestionario de preguntas que se utilizó en está disponible en el Anexo A. Posterior a la discusión guiada bajo el problema planteado y los ejes de la investigación, las necesidades críticas detectadas en la operación se resumen en la Tabla 9.

Tabla 9: Necesidades detectadas en la operación minera futura

Necesidades en la Operación - División El Teniente
<i>Productividad</i>
<i>Altos Esfuerzos</i>
<i>Roca Dura y mayor granulometría</i>

4.5 Iniciativas Tecnológicas

El desarrollo de esta etapa consta de dos actividades investigativas y orientadas a la captura de información de interés:

Un “Workshop tecnológico estratégico” en donde participan las áreas de Planificación, Innovación, Geomecánica, Excelencia Operacional, Proyectos y Operación Mina de División El Teniente, Codelco (mayor información del perfil de los expertos en capítulo de Anexo 1B).

Además participa la empresa proveedora de explosivos y fortificación Orica. Se realizan breves presentaciones de las prácticas pasadas y desafíos futuros que enfrenta la operación, como de servicios que puede ofrecer Orica (estructura y contenido de la actividad en Anexo 1B).

Posterior a las presentaciones de ambas partes, se da lugar a la entrega de un cuestionario con las necesidades que enfrenta la operación, los ejes transversales y el problema principal, para que luego de ser respondido, dar paso a un brainstorming moderado por el investigador de este trabajo del cual se obtiene un listado de ideas y potenciales soluciones a los desafíos planteados durante toda la actividad.

El listado de ideas es archivado por el investigador y está compuesto por un compilado de las ideas propuestas por los expertos de División El Teniente, como por las soluciones propuestas por los proveedores. El listado de iniciativas y el cuestionario de la actividad se encuentran disponibles en el Capítulo 5 de análisis.

La segunda actividad, corresponde a un la participación en un “Workshop mine planning”, realizado en el Congreso Internacional Caving 2014, del cual se recolectó información referente a las necesidades de conocimiento e investigación para la planificación minera de una mina de block/panel caving. La estructura de la actividad y el contenido de esta se encuentra en el capítulo Anexo 2B.

Los resultados obtenidos permiten capturar potenciales iniciativas de investigación y desarrollo ante las necesidades descritas, sin embargo, los temas concuerdan con las iniciativas obtenidas en la actividad llamada “workshop estratégico” realizado en División El Teniente, por lo que el conjunto de resultados se considera un subconjunto de los ya obtenidos en la actividad anterior. Finalmente, los resultados entregados en el capítulo 5 son representativos y resumen lo esencial de este trabajo de investigación.

4.6 Categorización preliminar de iniciativas

El objetivo de este trabajo de título es la captura de iniciativas I+D con innovación tecnológicas mediante una metodología aplicada a la búsqueda de soluciones para los problemas detectados en la operación minera subterránea. Con ello, poder entregar un listado de iniciativas con potencial aporte a la industria y que generen temas de investigación para el Laboratorio de Block Caving.

De este modo, es posible poder optimizar los recursos que dispone el laboratorio en iniciativas que sean estratégicas según los objetivos que se plantee este centro de investigación.

Para lograr lo anterior, es necesario categorizar las ideas obtenidas respecto al estado de investigación que requiere. Para ello se utilizan los parámetros de categorización descritos en el capítulo 3.7. Estos son validados en la operación mediante “entrevista experto” con los representantes de las áreas de operación.

4.7 Conclusiones del capítulo

La metodología propuesta se compone de etapas que permiten definir de buena manera un determinado problema, identificar sus causas y situarlo en un contexto. Cada una de las actividades realizadas no tienen gran complejidad de implementación, sin embargo, la dificultad radica en poder generar estas instancias en donde los expertos de cada área y disciplina pueden intercambiar y discutir ideas en pos de fomentar soluciones para los desafíos operacionales de los próximos años.

Un rol fundamental cumple el contar con una metodología que permita generar un procedimiento o proceso “estándar” que siguiendo sus respectivas etapas, concluya y obtenga resultados, al menos, generales y con potencial desarrollo e investigación.

El rol que juega la innovación en la entrega de soluciones diferentes ante problemas actuales y futuros que enfrentará la minería es de real importancia. Por lo tanto, el poder gestionar esta captura de iniciativas de innovación tecnológica y conceptualizar un modelo entrega valor y aporta a fomentar una cultura de innovación que se encuentra en pañales, pero se encuentra en crecimiento y con proyecciones a ser la única alternativa para permitir que los proyectos mineros futuros sigan siendo factibles y un motor para la economía nacional y mundial.

CAPÍTULO 5: Resultados y análisis

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos luego de aplicar la metodología de captura de iniciativas tecnológicas propuesta, tras el desarrollo de las actividades y análisis de información, con la respectiva investigación guiada.

5.1 Potenciales iniciativas tecnológicas capturadas

Luego de llevar a cabo cada etapa de la metodología propuesta para este trabajo, es posible detectar 31 iniciativas tecnológicas, resumidas en la Tabla 8.

Tabla 10: Iniciativas tecnológicas I+D capturadas al aplicar metodología de trabajo

Iniciativas Tecnológicas Workshop	
<i>1. Rediseño de Métodos de Socavación</i>	Diseñar y validar nuevos métodos de socavación evaluando distintos escenarios como convencional, avanzado y previo, socavación alta y baja, nuevos diagramas de disparo y distintas dimensiones de pilar corona y batea.
<i>2. Rediseño de geometría de Malla</i>	Re-diseñar, evaluar y validar nuevas geometrías de malla de extracción: Distancia calle-calle, zanja-zanja, calle-zanja, posición de piques de traspaso, etc.
<i>3. Equipos semiautónomos</i>	Entender logística operaciones y requerimientos funcionales de equipos que trabajen de manera semi-autónoma eliminar el riesgo potencial al que se exponen los operadores de equipos, pero se cumpla con las metas de productividad.
<i>4. Equipo BoxHole</i>	Estudiar y validar técnicas de desarrollo vertical rápido mediante el equipo boxhole.
<i>5. Caracterización Geológica de Puntos de Extracción</i>	Evaluar la factibilidad técnica de enriquecer el proceso de planificación mina-planta, a través de la captura y modelamiento de la caracterización geológica de los sectores productivos mina.
<i>6. Marcadores de Flujo de materiales inteligentes</i>	Estudiar y validar un sistema de marcadores inteligentes que permite entender el comportamiento del caving a través de la entrega en tiempo real de su posición (in situ en el macizo).
<i>7. Colapso geomecánico</i>	El propósito es investigar, desarrollar y generar estudios de ingeniería que ayuden al entendimiento del fenómeno, generar guías de diseño y evaluar las técnicas de rehabilitación.

<p><i>8. Aplicación de Debilitamiento Dinámico con Explosivos</i></p>	<p>Desarrollar y probar la tecnología del DDE en la mina, desarrollando diseños de perforación y tronadura (PyT) y levantando iniciativas de desarrollo que permitan consolidar esta técnica. Estableciendo criterios de diseño, impactos en la minería realizada (sísmica, fragmentación, granulometría, velocidad de conexión) y efecto en las reglas del caving (velocidad de extracción, propagación, etc</p>
<p><i>9. LHD distintas capacidades</i></p>	<p>Estudio de optimización de tamaño de LHD para un sector determinado de la mina dada la fragmentación, frecuencia de colgaduras y productividad objetivo.</p>
<p><i>10. Sistema reconocimiento Polines</i></p>	<p>Implementación de un sistema de monitoreo automático, inalámbrico, en línea y en tiempo real del estado de operación de los polines/poleas de las correas transportadoras.</p>
<p><i>11. Sondajes direccionales</i></p>	<p>Incorporación de sondajes direccionados para estudio de caveback y fracturamiento hidráulico en el preacondicionamiento del macizo rocoso.</p>
<p><i>12. Estudio Hidrofracturamiento MR</i></p>	<p>Análisis de parámetros que condicionan la propagación de las estructuras en roca. Definición de estándares de Hidrofracturamiento.</p>
<p><i>13. Monitoreo Propagación FH</i></p>	<p>Implementación sistema de monitoreo y desarrollo de metodología de QA/QC para fracturamiento hidráulico utilizando sistema de monitoreo móvil en terreno.</p>
<p><i>14. Monitoreo Propagación Subsistencia</i></p>	<p>Monitoreo de sectores estratégicos de la mina en donde habrá subsidencia con fines de validación de área de seguridad y aumento de recuperación de áreas limitadas por zonas de seguridad.</p>
<p><i>15. Monitoreo Propagación Cave-back</i></p>	<p>Monitorear la propagación del cave-back mediante el uso de marcadores para poder determinar el quiebre exacto de la columna.</p>
<p><i>16. Modelos de Propagación Caving</i></p>	<p>Generar nuevo modelos que puedan predecir el comportamiento del caving para una determinada malla de extracción, tipo de roca y tipo de yacimiento.</p>
<p><i>17. Minería Autónoma 24/7</i></p>	<p>Generar estudios que permitan entender y conceptualizar como lograr el objetivo de explotar la mina de manera continua.</p>

<p>18. <i>Equipo semi-autónomo descuelgue de piques y zanjas</i></p>	<p>Diseñar, construir y probar experimentalmente, un prototipo descolgador que actúe de forma remota desde fuera de la línea de fuego disminuyendo el riesgo a la exposición personal – buscando probar un equipo jumbo que realiza la actividad de carga de explosivos en suspensión para descolgar un punto los puntos de extracción.</p>
<p>19. <i>Re-diseño de la Preparación Minera</i></p>	<p>Incorporación de tecnologías mineras al proceso de preparación minera (TCAD, Pitram, SpatialDash, Mine24d-EPS)</p>
<p>20. <i>Fotogrametría Digital ADAM</i></p>	<p>Aplicación de fotogrametría digital en labores de desarrollo mina.</p>
<p>21. <i>Plataforma de visualización 4D desarrollos</i></p>	<p>Conceptualización, desarrollo e implementación de un sistema global de monitoreo, control y reportabilidad de la mina El Teniente.</p>
<p>22. <i>Detección de altura de colgadura de piques de traspaso</i></p>	<p>Estudiar y generar prototipo de instrumentación que logre determinar de manera correcta la altura de colgadura de piques de traspaso.</p>
<p>23. <i>Técnicas de De-stressing (en la frente)</i></p>	<p>Estudiar y validar la implementación</p>
<p>24. <i>Modelamiento Numéricos</i></p>	<p>Avanzar en modelos numéricos</p>
<p>25. <i>Opciones de optimización de FH</i></p>	<p>Análisis de parámetros que condicionan la propagación de las estructuras en roca. Pruebas de cubos roca, bajo compresión triaxial, monitoreo microsísmico de propagación de fractura hidráulica.</p>
<p>26. <i>Estudios de Explosivos de menor diámetro y mayor energía</i></p>	<p>Estudiar fundamentos y validar factibilidad de realizar el proceso de tronadura de con menores diámetros y mayor energía.</p>
<p>27. <i>Diseño optimizado para el PA</i></p>	<p>Estudiar, incorporar y validar nuevas técnicas para el preacodicionamiento.</p>
<p>28. <i>Carga automática de explosivos</i></p>	<p>Validación y filosofía operacional de carga automática para explosivos.</p>
<p>29. <i>Rapid Development: Drill, Electronics, Emulsion, Bolting</i></p>	<p>Estudio, rediseño, validación y filosofía operacional para poder realizar desarrollos en horizontales en menor tiempo.</p>
<p>30. <i>Mejora en equipos de perforación negativa</i></p>	<p>Estudiar vulnerabilidad y proponer mejoras.</p>
<p>31. <i>Estudio de explosivos sin taco</i></p>	<p>Estudiar la viabilidad de realizar el proceso de tronadura de explosivos sin taco.</p>

5.2 Categorización preliminar iniciativas tecnológicas

Como primer paso, es necesario organizar las iniciativas según el eje de investigación al que pueden entregar soluciones. Para ellos se identifica la cantidad de potenciales proyectos I+D que abarca cada eje.

Tabla 11: Iniciativas Tecnológicas en el eje de Constructibilidad

Eje	Iniciativa Tecnológica
<i>Constructibilidad</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rapid Development 2. Equipo BoxHole 3. Sondajes direccionales 4. Re-diseño de la Preparación Minera 5. Fotogrametría Digital ADAM 6. Plataforma de visualización 4D desarrollos 7. Técnicas de De-stressing (en la frente) 8. Rapid Development: Drill, Electronics, Emulsion, Bolting 9. Mejora en equipos de perforación negativa
TOTAL	9 Iniciativas Tecnológicas

Tabla 12: Iniciativas Tecnológicas en el eje de Explotabilidad

Eje	Iniciativa Tecnológica
<i>Explotabilidad</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rediseño de Métodos de Socavación 2. Rediseño de geometría de Malla 3. Equipos semiautónomos 4. Caracterización Geológica de Puntos de Extracción 5. Marcadores de Flujo de materiales inteligentes 6. Aplicación de Debilitamiento Dinámico con Explosivos 7. LHD distintas capacidades 8. Estudio Hidrofracturamiento MR 9. Monitoreo Propagación FH 10. Monitoreo Propagación Cave-back 11. Modelos de Propagación Caving 12. Minería Autónoma 24/7 13. Equipo semi-autónomo descuelgue de piques y zanjas 14. Opciones de optimización de FH 15. Estudios de Explosivos de menor diámetro y mayor energía 16. Diseño optimizado para el PA 17. Carga automática 18. Estudio de explosivos sin taco
TOTAL	18 Iniciativas Tecnológicas

Tabla 13: Iniciativas Tecnológicas en el eje de Continuidad Operacional

Eje	Iniciativa Tecnológica
<i>Continuidad</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colapso geomecánico 2. Sistema reconocimiento Polines 3. Monitoreo Propagación Subsistencia 4. Detección de altura de colgadura de piques de traspaso 5. Modelamiento Numéricos
TOTAL	5 Iniciativas Tecnológicas

Un análisis de mayor interés es identificar la cantidad de iniciativas pueden ser parte de una investigación académica, investigación aplicada o parte de un desarrollo industrial.

Tabla 14: Iniciativas Tecnológicas de potencial Investigación Académica

Nivel de I+D	Iniciativas Tecnológicas	Eje
<i>Investigación Fundamental</i>	1. Técnicas de De-stressing (en la frente)	Constructibilidad
	2. Rediseño de Métodos de Socavación	Explotabilidad
	3. Modelos de Propagación Caving	Explotabilidad
	4. Opciones de optimización de FH	Explotabilidad
	5. Diseño optimizado para el PA	Explotabilidad
	6. Carga automática	Explotabilidad
	7. Estudio de explosivos sin taco	Explotabilidad
	8. Monitoreo Propagación Subsistencia	Continuidad

Tabla 15: Iniciativas Tecnológicas de potencial Investigación Aplicada

Nivel de I+D	Iniciativas Tecnológicas	Eje
<i>Investigación Aplicada</i>	1. Técnicas de De-stressing (en la frente)	Constructibilidad
	2. Rediseño de geometría de Malla	Explotabilidad
	3. Marcadores de Flujo de materiales inteligentes	Explotabilidad
	4. Aplicación de Debilitamiento Dinámico con Explosivos	Explotabilidad
	5. Estudio Hidrofracturamiento MR	Explotabilidad
	6. Monitoreo Propagación FH	Explotabilidad
	7. Monitoreo Propagación Cave-back	Explotabilidad
	8. Minería Autónoma 24/7	Explotabilidad
	9. Equipo semi-autónomo descuelgue de piques y zanjas	Explotabilidad
	10. Modelos de Propagación Caving	Explotabilidad
	11. Opciones de optimización de FH	Explotabilidad
	12. Diseño optimizado para el PA	Explotabilidad
	13. Carga automática	Explotabilidad
	14. Colapso geomecánico	Continuidad
	15. Sistema reconocimiento Polines	Continuidad
	16. Monitoreo Propagación Subsistencia	Continuidad
	17. Detección de altura de colgadura de piques de traspaso	Continuidad

Tabla 16: Iniciativas Tecnológicas de potencial Desarrollo Industrial

Nivel de I+D	Iniciativas Tecnológicas	Eje
<i>Desarrollo Industrial</i>	1. Técnicas de De-stressing (en la frente)	Constructibilidad
	2. Equipo BoxHole	Constructibilidad
	3. Sondajes direccionales	Constructibilidad
	4. Re-diseño de la Preparación Minera	Constructibilidad
	5. Fotogrametría Digital ADAM	Constructibilidad
	6. Plataforma de visualización 4D desarrollos	Constructibilidad
	7. Rapid Development: Drill, Electronics, Emulsion, Bolting	Constructibilidad
	8. Mejora en equipos de perforación negativa	Constructibilidad
	9. Equipos semiautónomos	Explotabilidad
	10. Caracterización Geológica de Puntos de Extracción	Explotabilidad
	11. LHD distintas capacidades	Explotabilidad
	12. Marcadores de Flujo de materiales inteligentes	Explotabilidad
	13. Monitoreo Propagación Caving	Explotabilidad
	14. Estudios de Explosivos de menor diámetro y mayor energía	Explotabilidad
	15. Colapso geomecánico	Continuidad
	16. Detección de altura de colgadura de piques de traspaso	Continuidad
	17. Modelamiento Numéricos	Continuidad

Al organizar las iniciativas es posible observar que muchas de ellas pueden ser incluidas en más de una categoría de nivel de investigación y desarrollo (como nombre de la iniciativa pero no como objetivo), lo cual indica el potencial que tiene el proyecto y por el contrario, los parámetros de categorización no son excluyentes en ese ítem. Es decir, existen proyectos con un alcance mayor ya que abarcan la interacción de la academia mediante el know-how que entregan las universidades, la operación al requerir el uso y prueba de tecnologías en la mina y finalmente el aporte de proveedores cuando es necesario desarrollar un prototipo pero a escala industrial y con un potencial bien estimado.

Sin embargo, para alcances de este trabajo de memoria, las iniciativas que son de mayor interés incluyen los potenciales proyectos que requieren de una investigación académica y aplicada, ya que en estas áreas es posible la participación de la investigación de un laboratorio. Los proyectos de desarrollo industrial quedan para el alcance de empresas proveedoras de tecnologías a gran escala.

Dicho esto, es necesario abordar en mayor profundidad las iniciativas presentadas en las Tablas 14 y 15 estimando el costo asociado a cada una y la prioridad que los problemas en la operación le asignan a la realización de cada uno de estos estudios.

Para llevar a cabo lo anterior, se solicita la ayuda de los representantes de la Superintendencia de Innovación de División El Teniente, Codelco. Realizando una “encuesta experto” se presenta el listado de iniciativas para poder asignar un valor de inversión “estándar” en dólares y una prioridad estimada según la importancia que ellos le ponderan a la realización de cada proyecto; según la observación de los problemas presentes en la operación (los rangos de valor y prioridad asignados se describen en el capítulo 3.7).

Los resultados de la asignación de inversión para los proyectos de investigación académica se resumen en la Tabla 17 en orden creciente de acuerdo al rango de monto. Análogamente se realiza el ejercicio para las iniciativas de investigación aplicada; presentado en la Tabla 18.

Tabla 17: Valor asignado a proyectos de investigación académica

Eje	Iniciativa Tecnológica	Valor
<i>Explotabilidad</i>	Diseño optimizado para el PA Carga automática Estudio de explosivos sin taco	<100 KUSD
<i>Constructibilidad</i>	Técnicas de De-stressing (en la frente)	100 KUSD - 1 MUSD
<i>Explotabilidad</i>	Modelos de Propagación Caving Rediseño de Métodos de Socavación Opciones de optimización de FH	
<i>Continuidad Operacional</i>	Monitoreo Propagación Subsistencia	

Tabla 18: Valor asignado a proyectos de investigación aplicada

Eje	Iniciativa Tecnológica	Valor
<i>Continuidad</i>	Sistema reconocimiento Polines	<100 KUSD
<i>Explotabilidad</i>	Detección de altura de colgadura de piques de traspaso Rediseño de Métodos de Malla Diseño optimizado para el PA Carga automática	
<i>Constructibilidad</i>	Técnicas de De-stressing (en la frente)	
<i>Explotabilidad</i>	Marcadores de Flujo de materiales inteligentes Modelos Propagación Caving Aplicación de Debilitamiento Dinámico con Explosivos Estudio Hidrofracturamiento MR Monitoreo Propagación FH Monitoreo Propagación Cave-back Minería Autónoma 24/7 Equipo semi-autónomo descuelgue de piques y zanjas Opciones de optimización de FH	
<i>Continuidad</i>	Monitoreo Propagación Subsistencia	100 KUSD - 1 MUSD
<i>Continuidad</i>	Colapso geomecánico	

Los resultados de la prioridad asignada a los proyectos de investigación académica se resumen en la Tabla 19, en orden creciente de acuerdo a la “urgencia” de estudio. Análogamente se realiza el ejercicio para las iniciativas de investigación aplicada; presentado en la Tabla 20.

Tabla 19: Prioridad asignada a proyectos de investigación académica

Eje	Iniciativa Tecnológica	Prioridad
<i>Constructibilidad</i>	Técnicas de De-stressing (en la frente)	Alta
<i>Explotabilidad</i>	Modelos de Propagación Caving Rediseño de Métodos de Socavación Opciones de optimización de FH	
<i>Explotabilidad</i>	Diseño optimizado para el PA	Media
<i>Continuidad</i>	Monitoreo Propagación Subsistencia	
<i>Explotabilidad</i>	Carga automática Estudio de explosivos sin taco	Baja

Tabla 20: Prioridad asignada a proyectos de investigación aplicada

Eje	Iniciativa Tecnológica	Prioridad
<i>Constructibilidad</i>	Técnicas de De-stressing (en la frente)	Alta
<i>Explotabilidad</i>	Rediseño de geometría de Malla Monitoreo de Propagación Caving Opciones de optimización de FH Aplicación de Debilitamiento Dinámico con Explosivos Estudio Hidrofracturamiento MR Monitoreo Propagación FH	
<i>Continuidad</i>	Colapso geomecánico Detección de altura de colgadura de piques de traspaso	
<i>Explotabilidad</i>	Marcadores de Flujo de materiales inteligentes Diseño optimizado para el PA Monitoreo Propagación Cave-back Equipo semi-autónomo descuelgue de piques y zanjas	Media
<i>Explotabilidad</i>	Minería Autónoma 24/7 Carga automática de explosivo	Baja

Posterior a la estimación del valor de las iniciativas y la asignación de la prioridad de cada una, se procede a estimar el tiempo de estudio que demanda cada proyecto. Los tiempos promedio se asignan utilizando los parámetros de categorización descritos en el capítulo 3.7 y tomando como referencia los rangos de tiempo estándar observados en proyectos de División El Teniente (DET),

intercambio de información con expertos de la Superintendencia de Innovación DET y la observación de trabajos de investigación del Laboratorio de Block Caving.

El resultado se resume en las Tablas 21 y 22, asignando el tiempo de los proyectos de investigación académica y aplicada respectivamente.

Tabla 21: Tiempo estimado de proyectos de investigación académica

Eje	Iniciativa Tecnológica	Tiempo
<i>Constructibilidad</i>	Técnicas de De-stressing (en la frente)	<6 meses
<i>Explotabilidad</i>	Opciones de optimización de FH Rediseño de Métodos de Socavación Diseño optimizado para el PA Carga automática Estudio de explosivos sin taco	6 - 12 meses
<i>Explotabilidad</i>	Monitoreo Propagación Caving	>24 meses
<i>Continuidad</i>	Monitoreo Propagación Subsistencia	

Tabla 22: Tiempo estimado de proyectos de investigación aplicada

Eje	Iniciativa Tecnológica	Tiempo
<i>Constructibilidad</i>	Técnicas de De-stressing (en la frente)	<6 meses
<i>Continuidad</i>	Sistema reconocimiento Polines	
<i>Explotabilidad</i>	Rediseño de geometría de Malla Opciones de optimización de FH Diseño optimizado para el PA Carga automática Estudio Hidrofracturamiento MR Minería Autónoma 24/7	6-12 meses
<i>Continuidad</i>	Detección de altura de coladura de piques de traspaso	
<i>Explotabilidad</i>	Monitoreo Propagación FH Monitoreo Propagación Cave-back Equipo semi-autónomo descuelgue de piques y zanjas	12-24 meses
<i>Continuidad</i>	Colapso geomecánico	
<i>Explotabilidad</i>	Aplicación de Debilitamiento Dinámico con Explosivos Marcadores de Flujo de materiales inteligentes Modelos de Propagación Caving	>24 meses
<i>Continuidad</i>	Monitoreo Propagación Subsistencia	

5.3 Análisis y discusión

Las iniciativas tecnológicas obtenidas luego de aplicar la metodología propuesta entrega potenciales proyectos de investigación académica, investigación aplicada y desarrollo industrial. Debido a que los últimos son iniciativas de interés de empresas proveedoras para la minería, se realiza un análisis de los resultados que caen en sólo en las dos primeras categorías.

Cada iniciativa de estudio puede ser considerada como un proyecto de interés ya sea en una etapa de constructibilidad, de explotabilidad o de continuidad operacional dentro de un proyecto de explotación minera. Además, se ha estimado un costo de cada proyecto, el nivel de urgencia que la operación requiere de cada uno y el tiempo que demanda el llevarlo a cabo (todos estos parámetros en rangos promedio).

El interés de esta discusión final, es poder generar un análisis comparativo entre las iniciativas que son de investigación académica, y por su otro lado, las iniciativas de investigación aplicada para poder generar un listado priorizado de estas con el fin de captar qué necesidades son urgentes en la industria, tomar estas iniciativas como proyectos de investigación y desarrollo, y filtrar cuáles son resultan ser factibles dado su costo y tiempo de implementación.

Dicho lo anterior, se procede a priorizar los proyectos observando las tres condiciones mencionadas de manera conjunta y así lograr que las iniciativas sean todas comparables (las de investigación académica y aplicada por separado).

De este modo se puede obtener los siguientes análisis:

1. Son 4 las iniciativas de investigación académica que se les asigna una prioridad de urgencia “alta” para la operación. Los 4 tienen un valor estimado en el rango de 100 KUSD a 1 MUSD. Por lo tanto, se ordenan en una lista los proyectos según su facilidad de implementación dada la demanda de tiempo.

Tabla 23: Ranking proyectos de alta urgencia - Investigación Académica

Ranking	Iniciativa Tecnológica
1	Técnicas de De-stressing (en la frente)
2	Opciones de optimización de FH
3	Rediseño de Métodos de Socavación
4	Modelos de Propagación Caving

2. Son 2 los proyectos con urgencia “media” en la industria. El “ranking” queda definido dado el costo y tiempo que requieren los proyectos.

Tabla 24: Ranking proyectos de media urgencia - Investigación Académica

Ranking	Iniciativa Tecnológica
1	Diseño optimizado para el PA
2	Monitoreo Propagación Subsistencia

3. Son 2 los proyectos de urgencia “baja” para la industria. Ambos tienen el mismo valor y tiempo de implementación estimado. Por lo tanto, el ranking se define debido a que uno es una iniciativa académica “pura” y la otra tiene proyección a investigación aplicada. Se le asigna mayor prioridad al proyecto de menor proyección.

Tabla 25: Ranking proyectos de baja urgencia – Investigación Académica

Ranking	Iniciativa Tecnológica
1	Estudio de explosivos sin taco
2	Carga automática de explosivos

4. Son 9 los proyectos de investigación aplicada que tienen una urgencia “alta” para la industria. Se considera una iniciativa de mayor interés para la investigación del Laboratorio al requerir un menor tiempo de estudio.

Tabla 26: Ranking proyectos de alta urgencia – Investigación Aplicada

Ranking	Iniciativa Tecnológica
1	Técnicas de De-stressing (en la frente)
2	Rediseño de Métodos de Malla
3	Detección de altura de colgadura de piques de traspaso
4	Opciones de optimización de FH
5	Estudio Hidrofracturamiento MR
6	Monitoreo Propagación FH
7	Monitoreo Propagación Caving
8	Aplicación de Debilitamiento Dinámico con Explosivos
9	Colapso geomecánico

5. Son 5 las iniciativas de investigación aplicada que tiene una urgencia “media” para la industria. El ranking de estos según su costo y demanda de tiempo de estudio se presenta a continuación.

Tabla 27: Ranking proyectos de media urgencia – Investigación Aplicada

Ranking	Iniciativa Tecnológica
1	Diseño optimizado para el PA
2	Monitoreo Propagación Cave-back
3	Equipo semi-autónomo descuelgue de piques y zanjas
4	Monitoreo Propagación Subsistencia

6. Son 3 las iniciativas de investigación aplicada con urgencia “baja” para la industria. Dado el costo estimado y la demanda de tiempo para su desarrollo, el ranking obtenido es el siguiente.

Tabla 28: Ranking proyectos de baja urgencia – Investigación Aplicada

Ranking	Iniciativa Tecnológica
1	Sistema reconocimiento Polines
2	Carga automática
3	Minería Autónoma 24/7

CAPÍTULO 6: Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se presentan las principales conclusiones obtenidas del trabajo de investigación y según lo concluido se sugieren recomendaciones para futuros trabajos a realizar.

6.1 Conclusiones generales

Como se ha observado durante el desarrollo del trabajo, la innovación en la industria minera es una herramienta o mecanismo de mejora continua, mediante cambios incrementales o radicales, que propone cambios variaciones en los sistemas y prácticas actuales con resultados de mejoras en los diferentes índices de medición como bajar los costos operacionales o aumentar la productividad de los procesos permitiendo cumplir los objetivos y metas de la operación y empresa.

Sin embargo, a pesar de los aportes en recursos y el aumento de conciencia que la innovación es el gran medio para poder abordar los desafíos futuros que enfrenta la industria minera, como las bajas en las leyes de los yacimientos, el aumento de los costos y profundidad de las reservas a ser explotadas, no existe una cultura de innovación establecida en el país que se guíe por un proceso o metodología que asegure una captura eficiente de iniciativas estratégicas en esta área y que propongan soluciones a los problemas descritos.

Países competidores de Chile en el sector minero como Australia y Canadá si poseen esta cultura descrita y crean modelos que gestionen de manera eficiente donde invertir los recursos para investigación y desarrollo de iniciativas con innovación tecnológica.

El trabajo presentado propone un tema de investigación que obliga al investigador a entender el contexto de la minería de hundimiento masivo desde dos focos; una perspectiva global, observando las tendencias de la industria y los problemas presentes en la operación, y una perspectiva más específica, identificando las causas de estos problemas dado los desafíos presentes y futuros.

La metodología propuesta se compone de siete etapas basadas en el proceso de investigación científica y utiliza herramientas o actividades de captura de información y generación de ideas con foco a obtener iniciativas estratégicas de I+D con innovación tecnológica.

El resultado de la aplicación de esta metodología es un listado de 32 iniciativas estratégicas, las cuales se encuentran definidas según un eje en la evaluación de proyectos, un valor en dólares promedio, la demanda de tiempo en meses y prioridad de urgencia estimada para la operación.

Las iniciativas obtenidas plantean el objetivo de estudio y necesidad del tema a investigar, se definen 8 potenciales proyectos de investigación académica con foco a estudios de universidades, 17 iniciativas de investigación aplicada (también incluye los proyectos que caen en su etapa previa académica) y 18 en la categoría de desarrollo industrial (incluyendo las etapas previas de estudio: académica y aplicada).

Las iniciativas de interés para el Laboratorio de Block Caving caen en el rango de estudios de academia y de investigación aplicada. Considerando estas dos áreas, es posible priorizar las iniciativas para de modo de optimizar la destinación de los recursos en I+D a los temas que tengan

mayor potencial en la industria. Bajo este sentido, las iniciativas que tengan mayor urgencia para la operación adquieren mayor prioridad para su investigación.

Posteriormente, se analiza el tiempo de estudio que requiere, obteniendo un ranking de los temas de investigación que deben ser abordados en la actualidad dado su potencial de interés de la industria y aporte a la operación.

Considerando los parámetros de valorización anteriores, los 10 temas de investigación de mayor prioridad e interés para la operación minera y el Laboratorio de Block Caving se presentan en la Tabla 27.

Tabla 29: Resumen temas de investigación I+D priorizados

<i>Ranking</i>	<i>Tema de Investigación</i>
1	Técnicas de De-stressing (en la frente)
2	Equipos semiautónomos
3	Detección de altura de colgadura de piques de traspaso
4	Modelamiento Numéricos
5	Equipo BoxHole
6	Fotogrametría Digital ADAM
7	Colapso geomecánico
8	Re-diseño de la Preparación Minera
9	Rapid Development: Drill, Electronics, Emulsion, Bolting
10	Monitoreo Propagación Caving

6.2 Recomendaciones

Dado que el presente trabajo logra un primer acercamiento respecto a la captura de iniciativas tecnológicas, se enumeran a continuación una serie de recomendaciones, las cuales apoyarían al desarrollo, implementación y mejoras del trabajo realizado con el fin de robustecer y obtener un modelo que permita llevar a cabo un efectivo proceso de gestión de la innovación:

1. Revisar y validar la metodología propuesta proponiendo actividades y herramientas alternativas para cumplir las etapas definidas. Comparar los desempeños de cada escenario.
2. Robustecer el modelo con el propósito de que este pueda tener una aplicación industrial, es decir, agregar las etapas y por ejemplo, ser aplicada a la cartera tecnológica de actividades necesarias que permitan ahora extrapolar la metodología propuesta para un laboratorio de investigación a una empresa minera.
3. Estandarizar el listado de proyectos o temas de investigación mediante un modelo de costos (flujo de caja) que considere un caso base de la operación como fue diseñada en el proyecto original, y comparar con el escenario que presentaría el implementar una nueva tecnología. De este modo, generar distintos escenarios para cada iniciativa tecnológica y ver si este último es mejor o peor al caso base. Finalmente esto se cuantifica y es posible asignar un valor a cada iniciativa definiendo un listado de proyectos con una prioridad de implementación estratégica para la operación.
4. Aplicar la metodología a más de una operación con el fin de validar su uso y obtener más resultados.
5. Definir una etapa que permita generar un roadmap tecnológico con las iniciativas tecnológicas detectadas y conceptualizadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Foxley, A. & Sosso, F., 2011. *Making the Transition: From Middle-Income to Advanced Economies*. Washington, D.C.
- [2] The World Bank. 2010. *Innovation Policy: A Guide for Developing Countries*. Washington, D.C.
- [3] United Nations. (2012). *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision*. Retrieved November 21, 2013.
- [4] Cochilco. (2012). *Anuario de estadísticas del cobre y otros minerales. Yearbook: Copper and other Mineral Statistics. 1993-2012*. Santiago.
- [5] Guirco, D., Prior, T., Mudd, G., Mason, L. & Behrisch, J., 2009. *A review of changing impacts and benefits*. Prepared for CSIRO Minerals Down Under Flagship, by the Institute for Sustainable Futures (University of Technology, Sydney) and Department of Civil Engineering (Monash University), March 2010.
- [6] Arancibia E. & Flores G., 2004. *Design for Underground Mining at Chuquicamata Orebody. Scoping Engineering Stage*. MassMin 2004, 22 to 25 August, Santiago, Chile.
- [7] Yáñez P. & Molina R., 2004. *New mine level project at El Teniente*. MassMin 2004, 22 to 25 August, Santiago, Chile.
- [8] Moss A. 2011. BMO Capital Markets 2011 Global Metals & Mining Conference.
- [9] Vives H., 2005. *Reseña de la Innovación Tecnológica en la Minería del Cobre: "El Caso Codelco"*. Comisión Chilena del Cobre. Santiago, Chile.
- [10] Hurtado A., 2011. *Estado del arte sobre innovación radical e incremental*. Mueme. UCLM. Albacete.
- [11] Antezano T., 2010. *Innovaciones Tecnológicas en Minería*. IIMP. Perú.
- [12] Brown E. T., 2003. *Block Caving Geomechanics*. The International Caving Study Stage I (1997-2000). The University of Queensland, Australia.
- [13] Marsden J., 2004. *Technology Development and Competitive Advantage: Sustainable or Short Term*, Pittsburgh Engineer. Phelps Dodge Mining Company, Estados Unidos.
- [14] Arbiter N. & Fletcher A., 2004. *"Copper Hydrometallurgy - Evolution and Milestones"*, Mining Engineering Magazine.
- [15] The Mining Association of Canada. November 2001. *"Mining Innovation: An overview of Canada's Dynamic, Technologically Advanced Mining Industry"*.
- [16] Corvera M. & Loiseau V., 2004. *Ciencia y Tecnología, Indicadores de la Situación Chilena*. CONICYT. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Departamento de Estudios, Extensión y Publicaciones. Santiago, Chile.
- [17] Wang R., Chen J., Zhou G., 2004. *The research on innovation design thinking of mechanical product*. MECHANICAL RESEARCH & APPLICATION, 17 (4): 14~15.
- [18] Oslo, 2006. *Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data*. Third Edition. OECD y EUROSTAT.
- [19] Stamm B., 2003. *Managing innovation design and creativity*. Ed. John Wiley & Sons, London Business School.

- [20] White M., 1963. *Sociological Research: A case approach*. Harcourt, Brace & World. Nueva York.
- [21] Pádua J., 1979. *Técnicas de Investigación Aplicadas a las Ciencias Sociales*. Fondo de Cultura Económica, México, p. 28.
- [22] Green S., 1964. *The Logic of Social Inquiry*. Chicago, Addin, 1964, p.4.
- [23] Tamayo M., 1983. *El Proceso de Investigación Científica*. Limusa, p. 59.
- [24] Namakforoosh M., 2005. *Metodología de la Investigación*. Editorial Limusa. 2da. Ed. México.
- [25] Comisión Chile del Cobre. 2006. Informe Estudio “*Desarrollo e Innovación Tecnológica Minera en América Latina: Estudio de Casos*”.
- [26] Roussos A., 2010. *El Focus Group como técnica de investigación cualitativa*. Departamento de Investigaciones. Area de Psicología Clínica. Serie Métodos de Psicología. Universidad de Belgrano.
- [27] Spendolini M., 2005. *The Benchmarking Book*. Amacom. American Management Association. Nueva York.
- [28] Villarino J., 2012. *Opportunities in Chilean Mining*. Paper presented at the Asia Copper Conference.
- [29] Wortman E., 2010. “*Resolution Copper: A showcase for the Rio Tinto philosophy*”. Mine Development. Mining Engineering Magazine.
- [30] Marsh D., Peppin C. & Ross I., 2010. *Optimization of Grasberg Block Cave Haulage*. SME Annual Meeting.
- [31] Flores G., 2014. *Future Challenges and Why Cave Mining Must Change*. 3th International Symposium on Block and Sublevel Caving. Caving 2014. Santiago, Chile.
- [32] Ernst & Young, 2013. “*Business risks facing mining and metals 2013–2014*”. The business risk report. Mining and metals 2013–2014.
- [33] Ji-qiang W., Zheng-zhong W., Hua-li S., 2003. *The comparison of innovation design methodologies—TRIZ and BS*. Mechanical manufacturing, 41 (463): 7~9.
- [34] Yan L., Jie W., Xiang-long L., et al. 2003. *Creative Thinking and Computer Aided Product Innovation*. Computer Integrated Manufacturing Systems, 9 (12): 1092~1096.
- [35] Ying L., Hong A., 2004. *The thinking and technology of innovation design*. Beijing: china machine press.
- [36] Zhi-zhen Q., 2002. *Future of mechanical engineering and bionics*. J. of Anhui University of Technology, 19 (3): 230~232.
- [37] Wei W., Yi-wen M., 1997. *Combining innovation for product development: theory and case study*. Journal of Industrial Engineering/Engineering Management, 11 (Supp 1): 39~44.
- [38] Zong-de Y., 2001. *Creative thinking methods for innovation design*. Mechanical research & application, 14 (Supp), August: 52~54.
- [39] Altshuller G., 2000. *The Innovation Algorithm*, Technical Innovation Center, INC. WORCESTER, MA.
- [40] Terninko J., 1997. *TRIZ and Taguchi Connection: Customer-Driven Robust Innovation*. The Ninth Symposium on Quality Function Deployment.
- [41] Schwab K., 2013. *The Global Competitiveness Report 2013-2014*. World Economic Forum and Columbia University.

- [42] COCHILCO, 2006. “*Desarrollo e innovación tecnológica minera en América Latina: Estudio de casos*”. Informe estudio. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo.
- [43] Castro, 2014. “*Paradigms and facts in Block caving planning*”. Fundamentals of mine planning. Mine Planning Workshop. Caving 2014 Congress. Santiago, Chile.

ANEXOS

Anexo A: Actividad “Focus Group”

Cuestionario Focus Group – División El Teniente

Agosto 2014

<ul style="list-style-type: none">• Bienvenida y agradecimientos por la participación
<ul style="list-style-type: none">• Introducción y explicación de la investigación
<ul style="list-style-type: none">• Entrega de preguntas:
1. ¿Está de acuerdo que existe una necesidad de aplicar innovación tecnológica en la operación para poder lograr las metas productivas en los proyectos futuros?
2. ¿Cree Usted que el problema del día de mañana se puede denominar “Minería Profunda”??
3. ¿Está de acuerdo que los pilares/ejes tales como: Constructibilidad, Explotabilidad y Continuidad Operacional son conductores representativos para el desarrollo de iniciativas tecnológicas de los proyectos futuros?
4. ¿Cuáles son las necesidades/problemas críticos en la operación que Usted detecta?
5. ¿Podría mencionar las 3 más importantes?
<ul style="list-style-type: none">• Discusión.
<ul style="list-style-type: none">• Cierre.
<ul style="list-style-type: none">• Archivo de respuestas.

Anexo B: Actividad “*Workshop estratégico/tecnológico*”

Anexo 1B

1) Workshop Tecnológico – División El Teniente/ Proveedores

Fecha realización: Agosto 2014

Tabla 30: Programa workshop tecnológico – División El Teniente

15 min	<ul style="list-style-type: none"> • Bienvenida y Seguridad
30 min	<ul style="list-style-type: none"> • Presentaciones de desafíos de Área Operaciones • <i>Expone: División El Teniente</i>
30 min	<ul style="list-style-type: none"> • Presentaciones “Aplicaciones globales de tecnologías para caving” • <i>Expone: Proveedores</i>
30 min	<ul style="list-style-type: none"> • Coffee break
30 min	<ul style="list-style-type: none"> • Benchmarking de logros de aplicación de tecnologías
15 min	<ul style="list-style-type: none"> • Foro de Discusión
15 min	<ul style="list-style-type: none"> • Entrega de encuesta de investigación:
	<ol style="list-style-type: none"> ¿Está de acuerdo que las necesidades presentes en la operación actual y más aún, los proyectos futuros se sintetizan en: Metas de alta productividad, Roca de mayor dureza/granulometría y ambiente de altos esfuerzos? Considerando que los futuros proyectos de explotación se dividan en las etapas de Constructibilidad, Explotabilidad y Continuidad Operacional, ¿cuáles pueden ser soluciones tecnológicas que permitan dar solución a los problemas/necesidades mencionadas en cada una de estas etapas? Elija una de las los 3 ejes descritos antes e intente duplicar la cantidad de soluciones propuestas. ¿Alguna de las soluciones es aplicable a más de una etapa?
30 min	<ul style="list-style-type: none"> • Generalización de iniciativas tecnológicas
5 min	<ul style="list-style-type: none"> • Cierre actividad.
	<ul style="list-style-type: none"> • Archivo de respuestas.

2) Perfil de participantes

Tabla 31: Perfil/cargo participantes de workshop tecnológico

División El Teniente	
ÁREA	CARGO PARTICIPANTE
Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo	Director Grupo Innovación
	Jefe Grupo Innovación
	Ingeniero Especialista Innovación
	Jefe Grupo Geomecánica
	Jefe Grupo Geología
	Jefe Grupo Planificación
	Ingeniero Especialista Planificación
	Ingeniero Grupo Eficiencia Operacional
Gerencia Mina	Jefe Unidad Mina
	Jefe Perforación y Tronadura
	Jefe Unidad de transporte
	Jefe Turno
PROVEEDORES	
Proyectos y Tecnología	Investigador Senior Asociado
	Ingeniero Especialista
Desarrollo e Implementación	Director de Servicios Técnicos
	Phd. Modelamiento
	Ingeniero electrónico
	Ingeniero de Minas

Anexo 2B

I) Workshop “Mine Planning” – Congreso Caving 2014

Fecha realización: Agosto 2014

Tabla 32: Programa Workshop Mine Planning – Congreso Caving 2014

	07:45	REGISTRATION
FUNDAMENTALS OF MINE PLANNING Facilitator: Ernesto Arancibia	08:15	Welcome <i>Ernesto Arancibia, CODELCO</i>
	08:30	Paradigms and facts on mine planning for block and panel cave mines <i>Professor Raúl Castro, University of Chile</i>
	08:55	Operational constrains to mine planning <i>Daniel Villa, Geovia</i>
	09:20	Discussion 1
	10:10	MORNING BREAK
PRODUCTION PLANNING Facilitator: Dr Tony Diering	10:40	Long term planning <i>Alfonso Ovalle, AMEC.</i>
	11:05	Medium, short term and daily draw considerations <i>Mauricio Meléndez, CODELCO</i>
	11:30	Discussion 2
	12:20	LUNCH
PLANNING AND PRODUCTION Facilitator: Ernesto Arancibia	13:20	Optimization of Mine Development <i>Dr Nelson Morales, University of Chile.</i>
	13:50	Technologies for Mine Planning <i>Dr Tony Diering, Geovia</i>
	14:15	Discussion 3
	15:05	AFTERNOON BREAK
NEW TECHNOLOGIES Facilitator: Dr Tony Diering	15:35	Ore flow and cave monitoring in the context of production planning <i>Simon Steffen, Elexon Mining</i>
	16:00	Planning of continuous mining systems <i>Ernesto Arancibia, CODELCO</i>
	16:30	FINAL DISCUSSION - WRAP UP <i>Dr Tony Diering, Geovia</i>

2) Grupos y preguntas

Tabla 33: Grupos y preguntas – Workshop Mine Planning

Groups	Questions	Participants
A Tony Diering	<p>Discussion 1: Would you agree that the three items below should be studied before planning? Caving, fragmentation or gravity.</p> <p>Discussion 2: What are the operational factors for mineral mine ore recovery?</p> <p>Discussion 3: Constraints (Planning, capacity, geomechanical). What are the real constraints?</p>	Matthias Wimmer - Gabriel Pais - Angela Noon - José Gómez - Jurgen Fuijkschot - Ahsan Chaudhary
B Ernesto Arancibia	<p>Discussion 1: What are the real operating constraint preventing increased tonnages from large caves?</p> <p>Discussion 2: Advantage and disadvantage of advanced undercutting; compare to conventional or post undercut.</p> <p>Discussion 3: What are the tools available?</p>	Cristian Donaire - Román Moreno - Miguel Fishwick - Ariel Perez - Jaime Díaz - Enrique Rubio
C Raul Castro	<p>Discussion 1: What are the limits in terms of depth, size and rock strength for use of block caving. (3000m? 1200 HOD, Very strong/weak ground, etc.)</p> <p>Discussion 2: How would you improve the dilution models? (i.e. laubscherbop-flowsim)</p> <p>Discussion 3: Where to mine and what are the reserve?</p>	Danie Burger - Kristina Huss - Peter Fenato - Gordon Carlson - Yashar Pourrahimian - Manuel Arre
D Nelson Morales	<p>Discussion 1: What constraints prevent smooth transition when starting new caves / lift?</p> <p>Discussion 2: How do we use the pre-conditionung? Can we use the pre-conditioning to assure caving propagation?</p> <p>Discussion 3: How to integrate Extraction (Production) with Development?</p>	Fernando Rodriguez - Javier Santibañez Hector Toledo - Helder Carmo dos Reis - Manuel Montecinos - Mauricio Telias
E Alfonso Ovalle	<p>Discussion 1: What is the impact / benefit of pre-conditioning on caving, fragmentation and flow?</p> <p>Discussion 2: Panel Caving v/s Macro Blocks</p> <p>Discussion 3: How to mine and when (Method and scheduling)?</p>	Jorge Baraqui - Anders Nordqvist - Martín Díaz - Gastón Pinilla - Patricio Miranda - Daniel Villa

3) Discusión final y conclusiones

1. ¿Qué sabemos de planificación minera en B/P caving? Grupo A

- Tenemos un mejor entendimiento de cuáles son los parámetros que debemos observar en block caving. Tenemos problemas y sabemos cuantificar cuales son los impactos que estos provocan. Podemos identificar riesgos y falencias como la incertidumbre de los recursos, la incertidumbre de la constructibilidad, lo cual genera riesgos en el método. El análisis y la sensibilidad son requeridos para poder lograr una optimización de los parámetros relevantes en block caving. La información recolectada es sumamente importante ya que a la hora de ingresar datos en los modelos, muchas veces se utilizan supuestos y por lo tanto, la gestión de base de datos es importante.
- Block caving es el método más barato en cuanto a costo capital; sabemos cuándo utilizarlo y cuando mirar la opción de otros métodos. También sabemos si la gestión de la entrada de finos no es buena esto traerá consecuencias muy negativas.
- Sabemos las diferencias entre block y panel caving. Conocemos rangos de alturas de columnas, de tiraje, de anchos de pilar, etc., que son aceptables para nosotros pero también es posible salir de esos rangos y probar nuevas opciones de block y panel caving.

2. ¿Qué NO sabemos de planificación minera en B/P caving? Grupo B

- Lo que no sabemos es el futuro, el comportamiento, que es lo que pasará, como fragmentará, cómo se comportará la mina, la disponibilidad de los equipos. Pero tenemos mucha experiencia, el presente y pasado de muchas operaciones. Tenemos la experiencia y muchas veces no tenemos una buena base de datos. Para planificar necesitamos los datos; el problema podría pasar por la gestión de los datos, la no existencia de buenas bases de datos y esto es necesario para poder alimentar nuestros modelos. Los datos en terreno tienen incerteza de cómo se tomaron, el cómo almacenar es una gran base de datos.
- Muchos de los diseños de varias minas fueron basados en datos que no fueron correctos, lo cual trajo problemas como fragmentación no esperada, podrían haber colapsos, no se cumplirían los tonelajes, pérdidas económicas, etc. Ojalá se hagan mayor estudios de fragmentación en muchos sectores de la mina, en sectores colapsados hacer un monitoreo y analizar el por qué, el comportamiento del flujo de mineral. También es necesario saber compartir esta información para que todos puedan sumar a este conocimiento.

3. ¿Qué necesitamos saber? Grupo C

- Necesitamos saber todo. Una de las cosas que elegimos discutir en el grupo fue el conocer los riesgos que se pueden presentar en las operaciones. No tenemos una buena gestión de los riesgos que se pueden enfrentar en la operación. Necesitamos tener claro estos aspectos para poder entrenar y preparar a la fuerza de trabajo.
- Los planificadores e ingenieros deben saber bien la geología del proyecto en el que se encuentran. Además deberían saber cuáles son las nuevas tecnologías que pudiesen emplear en la operación y aportar valor al proceso.

4. ¿Qué herramientas tenemos? Grupo D

- Contamos con softwares, con los cuales podemos diseñar y que vamos a hacer. Sistemas de información, estos deben ser confiables. Debiésemos poner foco en metodologías para hacer análisis de riesgos o de sensibilidad. Contamos con bases de datos para poder tener modelos o parámetros para poder ajustar la planificación. Smart Markers y ajustarlos para poder medir velocidad de extracción en tiempo real.
- El tracking de equipos para tener los datos en tiempo real. El despacho de productos, para el sistema de transporte. Ojalá desarrollar software más potentes para poder análisis y generar muchos escenarios para ver el comportamiento de cómo estás haciendo la planificación y como poder mejorar.

5. ¿Cuál es el siguiente paso en términos de Negocio, Investigación y Tecnologías? Grupo E

- El futuro es complejo de predecir. Nos enfocamos en cosas que podemos mejorar en la producción respecto al poder operar de manera segura y el uso de nuevas tecnologías para poder optimizar y automatizar los procesos. Necesitamos poner foco y cubrir tres aspectos Negocio, Investigación y Tecnologías, y haciendo referencia a lo que comentó en su presentación Alfonso Ovalle, necesitamos hacer las cosas mejor y para ello necesitaremos nuevas tecnologías y por lo tanto debemos poner foco en ello. En general todos los grupos tocaron estos aspectos y creo que tienen mucho en común.