

MINERÍA

Plataformas científico-tecnológicas emergentes con potencial de
crecimiento en Chile

2015

Tabla de contenido

Reseña	2
Marco General	3
Metodología	5
Resultados Proceso Sectorial Minería 2009-2010	6
Líneas de investigación de mayor puntaje.	7
Desafío Uno: Desarrollar una industria de bienes y servicios especializados de exportación	9
Desafío Dos: Sustentabilidad de la Industria Minera	11
Desafío Tres: Aumento del volumen producido y la productividad en la Gran Minería del Cobre	14
Desafío Cuatro: Minimizar el Impacto Ambiental.....	18
Revisión 2014-2015.....	20
Expertos.....	20
Comentarios Expertos	21
Propuestas 2014-2015.....	25
Conclusiones.....	28
Anexos.....	29
Anexo A: El Proceso Sectorial	29
Anexo B: Expertos Proceso Inicial	32

Reseña

Desde su creación en el año 2005, el Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad (CNIC), hoy Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID), propuso avanzar de manera decidida en incrementar la actividad científica y lograr que a 2021, una parte relevante de los recursos públicos que se destinan a incentivar la ciencia de base en Chile se oriente por prioridades estratégicas nacionales, surgidas tanto de las demandas del mundo productivo, como también de otras preocupaciones de la sociedad.

Para avanzar en esta meta, el Consejo está ejecutando un proceso iniciado en 2009 que toma como insumo los desafíos de largo plazo identificados en cuatro sectores priorizados por el CNIC en su propuesta de Estrategia Nacional de Innovación¹, comenzando por Acuicultura, Alimentos Funcionales, Fruticultura y Minería, a partir de los cuales se busca identificar las líneas de investigación y campos científicos relevantes para superar los desafíos sectoriales.

El presente documento reporta la metodología y resultados aplicados para el sector de la minería, en particular de la Gran Minería del Cobre, que profundizan el análisis del CNIC de 2007 con el objeto de relacionar los desafíos estratégicos propuestos con las necesidades de desarrollo de capacidades científicas y tecnológicas del país en el mediano y largo plazo.

¹ El Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad (CNIC) con el apoyo de la empresa consultora internacional The Boston Consulting Group (BCG) identificó el año 2007 un conjunto de sectores nacionales con alto potencial de crecimiento. Este estudio identificó a la Industria de la Minería como uno de los once sectores que podrían aportar significativamente al aumento del PIB Chileno.

Marco General

El Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo ha destacado la relevancia que tiene la ciencia en nuestro desarrollo. De esta forma, ha propuesto -por una parte- incrementar la actividad científica y tecnológica, así como -por otra- lograr que a 2021 una parte relevante de los recursos públicos destinados a incentivar la ciencia de base en Chile se oriente por prioridades estratégicas nacionales, asociadas tanto a demandas del mundo productivo como también a otras preocupaciones sociales, incluyendo entre ellas los intereses específicos de las regiones.

Con esta misma orientación, durante el primer semestre de 2015, el CNID ha liderado la Comisión Presidencial Ciencia para el Desarrollo de Chile.

Esta tarea implica fomentar y mantener una base científica amplia, robusta y sustentable, reservando una parte de los recursos para la ciencia motivada por el interés científico. Y al mismo tiempo, enfocar cada vez más el apoyo público a la investigación según su aporte a la materialización de prioridades estratégicas nacionales.

Adicionalmente, el Consejo entiende que la ciencia de base² puede ser objeto de políticas públicas selectivas, vinculándola más explícitamente con los desafíos de competitividad de los países y los grandes problemas que preocupan a la sociedad. Esto, sin perjuicio de mantener espacios donde opere la neutralidad, respetándose siempre “los criterios de excelencia de equidad en el acceso y transparencia en la asignación de recursos públicos y de que los procesos estén siempre abiertos a la discusión pública y a la evaluación rigurosa por parte de personas o entidades competentes externas, nacionales o extranjeras.” **referencia**

Asimismo, el Consejo ha hecho hincapié en que la necesidad de establecer prioridades estratégicas exige contar con un método que permita recoger y consolidar las demandas de generación de conocimiento científico que surgen tanto de los sectores productivos como de la sociedad civil.

En este contexto, el presente documento reporta la metodología y avances del trabajo realizado durante 2009 para determinar cuáles son las grandes interrogantes científicas provenientes de las demandas de parte del sector productivo, con el objetivo final de sustentar las proposiciones del Consejo, en términos de “orientaciones para la actividad científica derivadas de las prioridades estratégicas nacionales a partir de un diálogo con los actores relevantes públicos y privados, particularmente del mundo científico.”³

En la Estrategia de Innovación⁴ propuesta por el CNIC, se identificaron sectores con alto potencial de crecimiento en la economía chilena para los cuales el Consejo propuso una política de

² En este contexto, recogiendo lo señalado en la Estrategia Nacional de Innovación para la Competitividad, no se hace distinción entre ciencia básica y aplicada, si no que se hablará de ciencia de base, definida como “aquella investigación de carácter más genérico, que provee a la sociedad toda de las capacidades para entender desarrollos tecnológicos más específicos y aplicados. Esta, por el carácter fundamental o genérico del conocimiento que captura y desarrolla, no tiene las características que la hagan directamente atractiva para ser financiada por el mercado, lo que en términos técnicos se denomina problema de apropiabilidad.”

³ Contenida en el volumen II de “Hacia Una Estrategia Nacional De Innovación Para La Competitividad”, Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad (2008).

⁴ Contenida en los volúmenes I y II de “Hacia Una Estrategia Nacional De Innovación Para La Competitividad”, Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad (2007, 2008).

desarrollo de *clusters* en torno a desafíos de mediano y largo plazo que permitiesen una transformación productiva de nuestro país.

El presente trabajo se propone vincular dichos desafíos con el conocimiento científico necesario para abordarlos.

En particular se ha propuesto:

- Enfocar el trabajo en los sectores de acuicultura, **minería** y fruticultura, respecto de los cuales el Consejo -en el volumen II de la Estrategia Nacional de Innovación-, identificó importantes desafíos en materia de capital humano, ciencia y desarrollo tecnológico. A estos sectores, se agregó el de alimentos funcionales, un segmento del sector alimentos procesados, que el Consejo de Innovación identificó en su Agenda de Innovación y Competitividad 2010-2020 como un segmento de gran potencial económico con grandes demandas por capacidades científico-tecnológicas.
- Profundizar el análisis de las brechas identificadas en el estudio de competitividad de estos sectores, a través de la consulta y validación con expertos en la problemática industrial respectiva.
- Identificar en conjunto con la comunidad científica nacional e internacional, las áreas de conocimiento que es necesario fomentar para abordar en el corto, mediano y largo plazo, las problemáticas de cada sector.
- Identificar líneas de investigación, disciplinas científicas y tecnologías que contribuyan en la resolución de desafíos en varios sectores productivos. Por este carácter “transversal” a varios sectores, se denominará a tal conjunto plataformas científico-tecnológicas⁵.
- Proponer que este proceso sea continuo con el fin de que genere información a partir de aproximaciones sucesivas, que permitan orientar desde lo general a lo particular en la medida que el proceso avance.

Cabe señalar que resultados parciales aplicando esta metodología, en 2009, ya permitieron al Consejo emitir una opinión de capacidades de equipamiento científico mayor de acuerdo a los desafíos de los sectores priorizados en el contexto del Programa de Equipamiento Científico Mayor de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (Conicyt) y la División de Innovación del Ministerio de Economía⁶.

⁵ Para ilustrar este concepto, se puede mencionar la biotecnología, si bien es probable que el tipo de plataforma que emergerá del presente ejercicio será más específica y por lo tanto seguramente de menor amplitud en sus alcances.

⁶ Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad (2009) “Recomendaciones respecto del programa de financiamiento de Centros de Equipamiento Mayor”.

Metodología

Este estudio prospectivo es una aproximación cualitativa que utiliza diálogos de acuerdo al método Delphi, con especialistas nacionales e internacionales de universidades, empresas, sociedad civil y, en especial, científicos. Este enfoque fue inspirado parcialmente en la revisión del portafolio de investigación efectuada por el *U.S. Climate Change Technology Program's R&D Portfolio* en 2006.

El objetivo es generar una opinión experta para orientar la actividad científica y tecnológica requerida para el desarrollo del sector.

El método, ilustrado a continuación, contiene tres etapas sucesivas:

1. **Proceso sectorial** en el que para el sector priorizado por el CNIC se efectúa una “traducción” de los Desafíos Estratégicos del sector en disciplinas o campos científicos y tecnologías que puedan contribuir en la superación de los Desafíos. Esta priorización se efectúa en base a la suma de los puntajes obtenidos en las evaluaciones según impacto y viabilidad.
2. **Proceso transversal** en el que se analizan los resultados sectoriales identificando aquellas disciplinas científicas y tecnologías que contribuyan a superar Desafíos en distintos sectores, es decir, se evalúa el carácter de Plataforma Científico-Tecnológica.
3. **Recomendaciones** basadas en una revisión de las capacidades científico-tecnológicas nacionales asociadas a las Plataformas Científico-Tecnológicas identificadas.

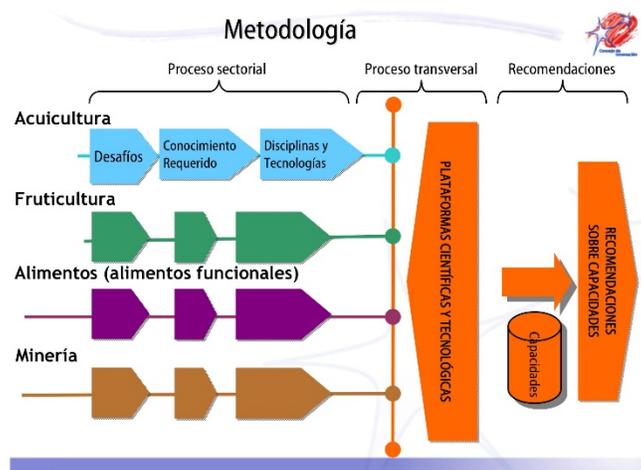


Figura 1

Metodología para la generación de recomendaciones de capacidades científico-tecnológicas a través de la identificación de Plataformas Científico-Tecnológicas

Resultados Proceso Sectorial Minería 2009-2010

Los resultados obtenidos luego de las tres circulaciones corresponden a 125 líneas de investigación, ya sea pertenecientes a las propuestas durante la primera circulación, reformuladas a partir de las indicaciones de los participantes o bien, nuevas líneas propuestas por los participantes, asociadas a los cuatro desafíos iniciales. Por su parte, estos desafíos fueron divididos en secciones, como se aprecia a continuación:

Desafío Uno: Desarrollar una industria de bienes y servicios especializados de exportación

- I. Inteligencia exportadora
- II. Desarrollo de nuevos productos
- III. Servicios de certificación
- IV. Servicios de prospección y exploración

Desafío Dos: Sustentabilidad de la Industria Minera

- I. Gestión de recursos hídricos
- II. Diversificación de las fuentes energéticas
- III. Salud y seguridad
- IV. Cierre de faenas mineras

Desafío Tres: Aumento del volumen producido y la productividad en la Gran Minería del Cobre

- I. Aumento de productividad
- II. Minería continua
- III. Conversión continua en fundiciones
- IV. Recuperación de cobre a partir de minerales y residuos complejos, y de reciclaje
- V. Desarrollo minería *in situ* e *in place*

Desafío Cuatro: Minimizar el Impacto Ambiental

- I. Tratamiento de residuos
- II. Minimizar emisión de contaminantes
- III. Medición del impacto ambiental

Las 125 líneas de investigación, se encuentran ordenadas por desafíos y secciones, desde aquella con un mayor puntaje, hasta aquella que ha obtenido el menor puntaje dentro del subsector.

El criterio de orden para las líneas de investigación se encuentra establecido en la sumatoria de los puntajes obtenidos en los ítems de impacto y viabilidad.

En primera Instancia, presentamos un cuadro con las **18 líneas** de investigación mejor evaluadas según su puntaje por impacto y viabilidad, independiente del desafío y sección al que pertenece. Esto con el fin de mostrar cuáles son aquellas consideradas de mayor importancia por los participantes, entre las 125 líneas evaluadas.

Líneas de investigación de mayor puntaje

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.	Desafío
L26	Desarrollar tecnologías eficientes de bombeo de agua desalinizada desde la costa a la faena minera.	95	85	180	D2
L48	Desarrollar modelos de identificación, cuantificación y predicción de riesgo en la operación minera, que utilicen tecnologías de vigilancia (imagen, sensores).	90	90	180	D2
L46	Desarrollar tecnologías de mitigación y captación de polvo.	90	85	175	D2
L63	Desarrollar y adoptar tecnologías y procesos eficientes en el consumo de energía.	95	80	175	D3
L29	Desarrollar tecnologías que permitan identificar y reducir las pérdidas de agua en procesos mineros.	90	82,5	172,5	D2
L9	Desarrollar tecnologías para recuperación de materiales de alto valor comercial, a partir de los pasivos y residuos generados por la actividad minera.	90	80	170	D1
L10	Investigar nuevos usos para productos mineros con gran potencial de desarrollo en Chile. Ejemplo: el Litio.	90	80	170	D1
L19	Desarrollar modelos geo-mineros-metalúrgicos para la predicción y/o simulación de procesos.	85	85	170	D1
L33	Desarrollar tecnologías eficientes de desalinización de agua para los distintos procesos mineros.	90	80	170	D2
L36	Desarrollar capacidades de generación de energía eólica, que permita satisfacer requerimientos de producción minera.	90	80	170	D2
L66	Desarrollo tecnologías de Manejo de Materiales (carguío y transporte) que permitan reducir los costos de operación en la	90	80	170	D3

	extracción.				
L81	Desarrollar tecnologías que permitan un flujo eficiente del mineral, para mejorar la velocidad de extracción.	90	80	170	D3
L96	Desarrollar tecnologías pirometalúrgicas y/o hidrometalúrgicas para el tratamiento de minerales de cobre con contenidos elevados de arsénico y otras impurezas tóxicas.	90	80	170	D3
L108	Desarrollar técnicas avanzadas para el tratamiento, inertización y confinamiento de residuos peligrosos.	90	80	170	D4
L113	Investigar y desarrollar tecnologías para el abatimiento de SO ₂ .	80	90	170	D4
L7	Desarrollar y/o adoptar tecnologías para la extracción y recuperación de metales preciosos.	87,5	80	167,5	D1
L11	Investigar el potencial geológico de uranio en Chile.	87,5	80	167,5	D1
L111	Desarrollo de tecnologías para la inertización de tranques de relaves.	90	77,5	167,5	D4

A continuación, presentamos los resultados obtenidos a partir del proceso sectorial del estudio prospectivo, que representan la opinión del grupo de expertos con respecto a la importancia de las líneas de investigación en cada uno de los desafíos propuestos.

Las 125 líneas de investigación agrupadas por secciones, se encuentran ordenadas de acuerdo al puntaje obtenido en impacto y viabilidad, desde aquella con un mayor puntaje, hasta aquella que ha obtenido el menor puntaje dentro de la sección.

Desafío Uno: Desarrollar una industria de bienes y servicios especializados de exportación

I. Inteligencia Exportadora

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L3	Desarrollar capacidades de empaquetamiento y estandarización de aquellas tecnologías y procesos en los cuales la minería chilena ha desarrollado diferenciación y presentan potencial exportador.	80	80	160
L4	Desarrollar e implementar sistemas y procedimientos que permitan el almacenamiento y transferencia del conocimiento dentro y fuera de la organización, evitando la pérdida del aprendizaje adquirido por experiencia en la operación.	85	70	155
L1	Desarrollar Inteligencia Tecnológica para detectar oportunidades en el desarrollo de soluciones, a partir del análisis de las últimas tendencias y avances en ciencia y tecnología (Ej.: análisis de patentes) y los espacios que estos desarrollos no cubren.	70	70	140
L2	Desarrollar Inteligencia de Mercado para identificar, caracterizar y analizar potenciales clientes, competidores y entorno económico en el extranjero.	67,5	72,5	140

II. Desarrollo de Nuevos Productos

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L7	Desarrollar y/o adoptar tecnologías para la extracción y recuperación de metales preciosos.	87,5	90	177,5
L6	Desarrollar capacidades de pilotaje y escalamiento.	90	85	175
L9	Desarrollar tecnologías para recuperación de materiales de alto valor comercial, a partir de los pasivos y residuos generados por la actividad minera.	90	85	175
L11	Investigar el potencial geológico de Uranio en Chile.	90	80	170
L10	Investigar nuevos usos para productos mineros con gran potencial de desarrollo en Chile. Ejemplo: el Litio.	90	77,5	167,5
L8	Desarrollar y/o adoptar tecnologías para la extracción y recuperación de tierras raras.	80	75	155
L5	Desarrollar y/o adquirir capacidades de caracterización química, física y biológica de nuevos productos, para detectar su potencial comercial.	75	70	145

III. Servicios de certificación

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L12	Desarrollar capacidades de auditoría para la certificación de calidad, ambiente, seguridad y salud ocupacional de productos finales de la minería.	77,5	75	152,5
L13	Desarrollar capacidades de auditoría para la certificación de estándares internacionales de las etapas del proceso productivo.	75	77,5	152,5
L14	Desarrollar tecnologías que permitan tener una trazabilidad del mineral.	67,5	72,5	140

IV. Servicios de prospección y exploración

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L19	Desarrollar modelos geo-mineros-metalúrgicos para la predicción y/o simulación de procesos.	85	85	170
L16	Desarrollar bases de datos con información geológica disponible, para consulta y análisis.	85	80	165
L17	Desarrollar métodos y modelos de análisis de información geológica para predicción de yacimientos minerales.	85	80	165
L20	Desarrollar aplicaciones computacionales para optimizar y controlar las diferentes etapas de los procesos minero-metalúrgicos.	80	85	165
L21	Desarrollar una Base de Datos en SIG (Sistema Información de Gestión) para uso en faenas.	75	75	150
L18	Desarrollar equipamiento para la exploración. Ejemplos: maquinaria de sondajes, equipamiento geofísico, sistemas de posicionamiento satelital.	80	65	145
L15	Desarrollar nuevas tecnologías de exploración.	80	60	140

Desafío Dos: Sustentabilidad de la Industria Minera

I. Gestión de Recursos Hídricos

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L26	Desarrollar tecnologías eficientes de bombeo de agua desalinizada desde la costa a la faena minera.	95	85	180
L29	Desarrollar tecnologías que permitan identificar y reducir las pérdidas de agua en procesos mineros.	90	85	175
L32	Desarrollar tecnologías que permitan tratar los riles para su recirculación en procesos mineros.	90	80	170
L33	Desarrollar tecnologías eficientes de desalinización de agua para los distintos procesos mineros.	90	77,5	167,5
L28	Desarrollar metodologías adecuadas para el desagüe de minas.	80	80	160
L31	Investigar tecnologías de reducción de pérdidas por evaporación en Procesos Mineros.	80	80	160
L22	Desarrollar tecnologías de exploración no invasivas que faciliten la localización de recursos hidrogeológicos.	85	70	155
L30	Desarrollar modelos hidrogeológicos que permitan pronosticar y predecir los movimientos y balances de los recursos hídricos en minería.	80	75	155
L24	Investigar nuevas tecnologías que permitan la recarga artificial de napas subterráneas.	85	65	150
L25	Desarrollar metodologías de gestión eficiente y flexible de las napas subterráneas disponibles.	85	65	150
L27	Desarrollar y/o adoptar tecnologías de captación de aguas lluvia.	75	75	150
L23	Desarrollar tecnologías que permitan acceder a recursos hídricos de difícil acceso en alta cordillera.	82,5	60	142,5
L34	Investigar y desarrollar obtención de agua desde rocas y no de napas.	50	40	90

II. Diversificación de las fuentes energéticas

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L36	Desarrollar capacidades de generación de energía eólica, que permita satisfacer requerimientos de producción minera.	90	82,5	172,5
L44	Desarrollar métodos de aprovechamiento de la energía autogenerada en la operación minera, especialmente en mineroductos y concentraductos que bajan grandes pendientes.	85	85	170
L37	Desarrollar sistemas inteligentes de generación de calor y refrigeración.	85	72,5	157,5
L39	Investigar la implementación de energía fotovoltaica en la operación.	82,5	75	157,5
L40	Investigar la factibilidad de generación de energía eléctrica a partir del Océano Pacífico (mareomotriz y undimotriz).	82,5	65	147,5
L35	Desarrollar métodos de exploración que permitan detectar el potencial de energía geotérmica de los sectores aledaños a la minería.	85	60	145
L38	Investigar y desarrollar tecnología para producir energía a partir de la biomasa marina.	75	70	145
L43	Desarrollar sistemas de concentración de calor para la fundición de metales, a partir de energía solar.	85	52,5	137,5
L41	Investigar y desarrollar celdas de hidrógeno para su uso económico en minería.	70	65	135
L42	Investigar factibilidad de implantar micro centrales nucleares de última generación.	75	60	135

III. Salud y Seguridad

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L46	Desarrollar tecnologías de mitigación y captación de polvo.	90	87,5	177,5
L48	Desarrollar modelos de identificación, cuantificación y predicción de riesgo en la operación minera, que utilicen tecnologías de vigilancia (imagen, sensores).	85	90	175
L45	Investigar el daño toxicológico de elementos peligrosos sobre el personal minero y población asociada.	85	80	165
L50	Investigar los efectos en el ser humano de trabajar en condiciones extremas (temperaturas, altura, radiación) y desarrollar exámenes y controles que permitan monitorear la salud de los trabajadores y población asociada.	85	80	165
L47	Desarrollar tecnologías para la disminución del ruido.	80	80	160
L49	Incorporar tecnología que minimice las emisiones de vapores orgánicos en	80	80	160

	plantas concentradoras.			
L51	Desarrollar estudios ergonómicos para evitar lesiones osteomusculares en las operaciones mineras.	80	75	155

IV. Cierre de Faenas Mineras

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L56	Desarrollar estrategias para la detección y disminución de la infiltración de soluciones de pilas, botaderos y relaves, posteriores al cierre.	85	82,5	167,5
L55	Desarrollar metodologías de demolición y/o desmontaje de estructuras, orientadas a la remediación y el reciclaje.	80	80	160
L57	Desarrollar y/o adoptar instrumentos para la evaluación, seguimiento y fiscalización posterior al cierre de la faena (calidad de suelos, agua, etc.).	80	80	160
L58	Investigación sobre el desarrollo de nuevas formas de recubrimiento de taludes y zonas de riego.	82,5	77,5	160
L59	Desarrollar modelos hidrogeológicos que permitan pronosticar y predecir los movimientos hídricos posteriores al cierre.	85	75	160
L61	Desarrollar tecnologías de "Reparación del Paisaje Natural".	80	80	160
L53	Investigar y desarrollar tecnologías de rehabilitación de suelos para su posterior uso.	80	75	155
L62	Desarrollar tecnologías para la rehabilitación progresiva de las áreas afectadas por la actividad minera.	72,5	80	152,5
L52	Investigar, Desarrollar e Implementar modelos de Ciclo de Vida en Minería específico para diferentes casos en Chile.	80	70	150
L54	Desarrollar metodologías específicas para la rehabilitación de la biodiversidad del lugar.	75	75	150
L60	Desarrollar modelos para simular rellenos sustentables en operaciones mineras.	70	70	140

Desafío Tres: Aumento del volumen producido y la productividad en la Gran Minería del Cobre

I. Aumento de productividad

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L63	Desarrollar y adoptar tecnologías y procesos eficientes en el consumo de energía.	90	82,5	172,5
L64	Desarrollar y/o adoptar instrumentos para el uso de plataformas de control con automatización y robotización en la industria minera.	90	80	170
L66	Desarrollar tecnologías de manejo de materiales (carguío y transporte) que permitan reducir los costos de operación en la extracción.	85	85	170
L67	Desarrollar caracterización geometalúrgica que facilite la elección del proceso de biolixiviación.	85	80	165
L76	Desarrollo de tecnologías de fragmentación más eficientes desde el punto de vista energético.	90	75	165
L78	Optimizar las tecnologías de biolixiviación de materiales secundarios mediante el diseño de sistemas eficientes de inoculación, aireación y control de temperatura.	85	80	165
L69	Desarrollar lixiviación de materiales primarios.	90	70	160
L77	Desarrollar tecnologías de hidrofracturamiento.	82,5	75	157,5
L74	Desarrollar tecnologías de preconcentración que permitan tratar recursos minerales sulfurados de baja ley en las plantas concentradoras actuales.	85	70	155
L75	Desarrollar tecnologías que permitan reducir los arrastres entre fases líquidas en el proceso de Extracción por Solventes.	82,5	72,5	155
L72	Desarrollar técnicas de ventilación para reducir la recirculación en minas profundas.	82,5	70	152,5
L73	Investigar y desarrollar el transporte gravitacional de minerales, estériles y productos mineros.	80	70	150
L79	Desarrollar tecnologías para lixiviación de material quebrado contenido en el cráter de minas subterráneas.	80	65	145
L71	Investigar y desarrollar tecnologías para los procesamientos y la concentración de minerales en seco.	90	50	140
L65	Desarrollar tecnologías electrodinámicas para la conminución de minerales.	75	60	135
L68	Desarrollar tecnología de sensores bioelectrónicos que garanticen el proceso de biolixiviación.	72,5	62,5	135

L70	Realizar modificación genética de los microorganismos que participan en la biolixiviación de cobre para disminuir los requerimientos de energía, utilizando herramientas biotecnológicas modernas.	75	55	130
L80	Investigar y desarrollar catalizadores para los procesos de lixiviación de minerales sulfurados.	75	70	145

II. Minería continua

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L81	Desarrollar tecnologías que permitan un flujo eficiente del mineral, para mejorar la velocidad de extracción.	85	80	165
L83	Desarrollar tecnologías que permitan optimizar el preacondicionamiento y fracturamiento previo al hundimiento.	82,5	82,5	165
L84	Desarrollar tecnologías predictivas de explosión de rocas en minería subterránea.	87,5	72,5	160
L82	Desarrollar nuevas tecnologías de explotación para la minería continua.	85	70	155
L86	Investigar las condiciones para la instalación de plantas de procesamiento de mineral subterráneas.	80	70	150
L85	Desarrollar nuevos métodos de minería para la extracción de minerales a grandes profundidades (> 2.000 m).	75	60	135

III. Conversión continua en fundiciones

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L87	Investigar mecanismos fisicoquímicos para la transformación de metal blanco a cobre blíster en una sola etapa.	80	70	150
L88	Investigar las condiciones termodinámicas y cinéticas que permitan la generación de una escoria con propiedades reológicas óptimas para su manejo y que tenga un menor contenido de cobre, o bien, una máxima recuperación de cobre como cobre blíster.	65	55	120
L89	Investigar cuál es el mejor estado físico y calidad del metal a alimentar al horno de conversión, optimizando las fracciones de cobre, hierro y azufre.	50	60	110
L90	Investigar y desarrollar metodologías que permitan tener un óptimo control de temperatura mediante la adición de materiales seleccionados de acuerdo a sus propiedades de transporte de calor.	50	50	100

IV. Recuperación de cobre a partir de minerales y residuos complejos, y de reciclaje

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L94	Desarrollar nuevos procesos hidrometalúrgicos para la recuperación de cobre a partir de escorias, relaves, descartes líquidos de electrorefinación, barros anódicos y polvos de fundición.	90	85	175
L96	Desarrollar tecnologías pirometalúrgicas y/o hidrometalúrgicas para el tratamiento de minerales de cobre con contenidos elevados de arsénico y otras impurezas tóxicas.	90	85	175
L95	Desarrollar y/o adoptar tecnologías y procesos, para la obtención económica de cobre a partir de material de reciclo, que permitan establecer plantas de reciclaje de minerales en mercados consumidores de grandes volúmenes de cobre.	90	77,5	167,5
L91	Desarrollar nuevas tecnologías o productos que permitan un proceso de flotación más eficiente y selectivo, investigando el comportamiento hidrodinámico e interacción burbuja – partícula en la etapa de concentración vía flotación.	85	75	160
L93	Investigar y desarrollar tecnologías que permitan optimizar la recuperación de cobre por operación unitaria.	80	80	160
L97	Desarrollar procesos para el tratamiento de minerales con excesivo consumo de ácido en lixiviación.	82,5	77,5	160
L92	Investigar la recuperación de cobre a partir de minerales con alto contenido de arcillas e impurezas.	85	70	155

V. Desarrollo minería *in situ* e *in place*

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L105	Desarrollar tecnologías eficientes de tronadura para lograr una buena permeabilidad.	85	80	165
L107	Desarrollar tecnologías que permitan un máximo fracturamiento de la roca para lixiviación <i>in situ</i> .	85	70	155
L102	Desarrollar tecnologías que permitan calibrar y estimar los índices de infiltración.	62,5	60	122,5
L103	Desarrollar modelos hidrogeológicos en sistemas saturados y no saturados.	57,5	65	122,5
L104	Desarrollar y/o adoptar metodologías para mediciones geofísicas.	60	62,5	122,5
L98	Desarrollar tecnologías precisas para la medición de los parámetros requeridos en la construcción de modelos hidrogeológicos para la escala de terreno escogida.	70	50	120

L101	Desarrollar tecnologías y metodologías para medir caudales medios.	55	55	110
L106	Realizar Investigación y Desarrollo de la minería en los fondos oceánicos.	70	40	110
L99	Desarrollar tecnologías de estimación de mapas pluviométricos.	52,5	55	107,5
L100	Desarrollar modelos que permitan estudiar de forma precisa los valores de evatranspiración potencial.	50	45	95

Desafío Cuatro: Minimizar el Impacto Ambiental

I. Tratamiento de residuos

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L108	Desarrollar técnicas avanzadas para el tratamiento, inertización y confinamiento de residuos peligrosos.	90	85	175
L109	Desarrollar tecnologías para estabilización y almacenamiento de arsénico que garanticen su estabilidad como producto inerte.	85	90	175
L111	Desarrollar tecnologías para la inertización de tranques de relaves.	90	80	170
L113	Investigar y desarrollar tecnologías para el abatimiento de SO ₂ .	80	90	170
L112	Desarrollar soluciones biotecnológicas para la degradación de cianuro.	85	80	165
L114	Investigar la reutilización de excavaciones subterráneas con fines de almacenamiento de sustancias peligrosas y no peligrosas.	82,5	75	157,5
L110	Desarrollar tecnologías de separación y recuperación de mercurio a partir de minerales refractarios de oro y concentrados mixtos de Cu, Au y Ag.	72,5	75	147,5

II. Minimizar emisión de contaminantes

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L117	Desarrollar tecnologías para mitigar las aguas ácidas.	82,5	82,5	165
L118	Investigar y desarrollar tecnologías específicas para la remediación de suelos y tranques de relave.	85	80	165
L120	Realizar el diseño arquitectónico e industrial con criterio ambiental, que incorpore el desmantelamiento.	80	80	160
L119	Desarrollar tecnologías alternativas a la conversión y fusión.	85	70	155
L122	Identificar residuos de la minería y/o de otros procesos industriales que puedan ser usados como materias primas en procesos piro o hidrometalúrgicos.	85	70	155
L121	Desarrollar biofiltros que mitiguen las emanaciones de CO ₂ de plantas termoeléctricas y que a la vez estimulen la actividad bacteriana en biolixiviación de cobre.	80	65	145
L116	Investigar el mecanismo de interacción entre las microgotas de agua y los aerosoles para la captación de NaCN y H ₂ SO ₄ .	60	75	135
L115	Investigar el comportamiento fisicoquímico en la interacción gas-líquido para la captación de gases primarios y secundarios.	50	70	120

III. Medición del impacto ambiental

Línea	Enunciado	Impacto	Viabilidad	Rank.
L123	Investigar y desarrollar metodologías para la efectiva identificación, localización y cuantificación del impacto ambiental de la minería y metalurgia.	90	85	175
L124	Estudiar los efectos sobre la flora y fauna de la operación minera.	80	90	170
L125	Investigar el comportamiento de la industria ante los cambios de la normativa ambiental.	75	90	165

Revisión 2014-2015

En 2014, el CNID decide evaluar la posibilidad de retomar sus estudios con respecto a plataformas científico tecnológicas en los sectores de acuicultura, alimentos funcionales, fruticultura y minería, de los años 2009 y 2010. De esta forma, se inicia el proceso de recuperación de información obtenida a través del proceso sectorial de los estudios prospectivos en los sectores mencionados previamente. Una vez recuperados los resultados, el CNID establece la necesidad de determinar si los resultados obtenidos durante los estudios entre 2009 y 2010 (con la ayuda de expertos nacionales e internacionales) tienen aún relevancia para sus respectivos sectores.

Es así como se toma de decisión de solicitar la ayuda de expertos para revisar las líneas de investigación obtenidas en los estudios de 2009-2010, con el fin de determinar si estas son aún válidas y pertinentes para el desarrollo de sus respectivos sectores.

Expertos

Para la revisión de los resultados obtenidos durante el proceso Delphi de 2009 y 2010 hemos contado con el invaluable apoyo y opinión de un pequeño grupo de expertos:

Carlos Kriman

Ingeniero Civil mención Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María. Diplomado Gestión de Empresas para Ingenieros (Universidad de Chile). Consultor Senior Minería, con más de treinta años de experiencia en la industria minera.

Javier Ruiz del Solar

Ingeniero Eléctrico de la Universidad Técnica Federico Santa María, Master en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica (Universidad Federico Santa María), Especialista en Diseño de Sistemas Electrónicos (Universidad Politécnica de Madrid), Doctor en Ingeniería (Universidad Técnica de Berlín). Profesor asistente de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Chile. Actualmente Director Ejecutivo de AMTC (Advanced Mining Technology Center).

Gianni López

Ingeniero Civil Mecánico de la Universidad de Chile, Master en Gestión y Emprendimiento Tecnológico (Universidad Adolfo Ibáñez). Ex Secretario Ejecutivo de la Comisión Nacional de Medio Ambiente entre los años 2001 y 2004. Actualmente Director del Centro Mario Molina Chile.

Comentarios expertos

A continuación presentamos los comentarios particulares de este grupo de expertos con respecto a los resultados obtenidos en el proceso Delphi 2009-2010.

Desafío uno: Desarrollar una industria de bienes y servicios especializados de exportación

I. Inteligencia exportadora

De acuerdo a la opinión de uno de nuestros expertos, todas las líneas de este sub-grupo son muy importantes, sin embargo, a su juicio, estas no corresponden a líneas de “investigación”.

Con respecto a las líneas de este sub-grupo en particular, el experto comenta con respecto a la línea L3⁷, que no hay expertos en empaquetamiento en nuestro país, y que el objetivo de esta línea puede ser alcanzado a través de dos vías. La primera, incorporando expertos extranjeros, y la segunda, mediante proyectos a través de los cuales sea posible desarrollar estas capacidades.

Con respecto a la línea L4⁸, el experto comenta que a su juicio esta línea es la más importante de este sub-grupo, esto debido a que actualmente se pierde mucho conocimiento en la industria al no existir capacidades de recolección y transferencia de los conocimientos adquiridos por los especialistas.

II. Desarrollo de nuevos productos

De acuerdo a uno de los expertos, las línea L9⁹, corresponde a la de mayor importancia del grupo, debido a que en el futuro la extracción de materiales desde estos residuos, podría convertirse en faenas mineras relevantes. Con respecto a la línea L8¹⁰, la cual hace mención al desarrollo de tecnologías para la extracción y recuperación de tierras raras...

Otro experto considera que la extracción en relaves que no sean frescos posee una complejidad muy alta, por lo que es más viable, la recuperación de estos minerales antes de que éstos alcancen el tranque de relaves.

III. Servicios de certificación

Dos de los expertos consideran las líneas de este sub-grupo como muy relevantes.

⁷-Desarrollar capacidades de empaquetamiento y estandarización de aquellas tecnologías y procesos en los cuales la minería chilena ha desarrollado diferenciación y presentan potencial exportador.

⁸-Desarrollo e implementación de sistemas y procedimientos que permitan el almacenamiento y transferencia del conocimiento dentro y fuera de la organización, evitando la pérdida del aprendizaje adquirido por experiencia en la operación.

⁹-Desarrollo de tecnologías para recuperación de materiales de alto valor comercial, a partir de los pasivos y residuos generados por la actividad minera.

¹⁰-Desarrollo y/o adopción de tecnologías para la extracción y recuperación de tierras raras.

IV. Servicios de prospección y exploración

Uno de nuestros expertos, considera las líneas de este sub-grupo como muy relevantes y con respecto a la línea L19¹¹ en particular, comenta que debería cambiar su énfasis a los “sistemas”, en vez de hacerlo en los “procesos”.

Desafío dos: Sustentabilidad de la industria minera

I. Gestión de recursos hídricos

De acuerdo a uno de los expertos, las líneas de investigación en este sub-grupo, corresponden a los problemas que actualmente enfrenta la industria.

Otro de ellos considera que las líneas de este sub-grupo no deberían estar enfocadas en encontrar nuevas fuentes de agua, sino más bien, deberían orientar sus objetivos en el uso eficiente de agua en la minería.

II. Diversificación de fuentes energéticas

De acuerdo a uno de los expertos, este sub-grupo debiera enfocar sus objetivos en buscar líneas de investigación que apunten a soluciones relacionadas más directamente con las necesidades energéticas de los procesos mineros.

Otro experto comenta que, a su juicio, las líneas de este subgrupo deberían separarse en dos temas principales: diversificación de fuentes energéticas y eficiencia energética.

Otro de los participantes comenta que en este sub-grupo se aprecia muy poco el tema de la eficiencia energética y que además es necesario direccionar las líneas hacia fuentes de energía renovables.

Con respecto a la línea L44¹², dos de los expertos destacan la importancia de investigar este campo y mencionan las buenas experiencias que han tenido algunas mineras con proyectos en esta área. Se destaca el caso de Pelambres y su proyectos de autogeneración de energía en correas transportadoras. Ambos destacan la importancia de continuar el trabajo en este campo.

III. Salud y seguridad

Dos expertos indican que las líneas de este sub-grupo en particular, se encuentran ya desarrolladas o con un estado de avance importante en el sector.

Ambos expertos destacan la importancia de enfocar los esfuerzos en el impacto del polvo en las comunidades cercanas a los proyectos mineros y los riesgos asociados para la salud. Asimismo, plantean la importancia de la investigación de los efectos de otros elementos peligrosos tanto para trabajadores de las faenas mineras y fundiciones, como para comunidades cercanas, con énfasis en el desarrollo de sistemas de monitoreo para las mismas.

¹¹ Desarrollo de modelos geo-mineros-metalúrgicos para la predicción y/o simulación de procesos.

¹² Desarrollo de métodos de aprovechamiento de la energía autogenerada en la operación minera, especialmente en mineroductos y concentraductos que bajan grandes pendientes.

Con respecto a este último punto, uno de los participantes comenta la importancia de desarrollar instrumentos para medir eficazmente los efectos de estos elementos en las comunidades. Califica como un tema central del desarrollo de metodologías de medición de riesgo ambiental.

IV. Cierre de faenas

Con respecto a este sub-grupo, dos de los participantes comentan la importancia de convocar un grupo de expertos específicamente para la discusión de estas líneas de gran relevancia para el sector.

Desafío tres: Aumento del volumen producido y la productividad en la gran minería del cobre

I. Aumento de la productividad

Uno de los expertos considera en general que las líneas de este sub-grupo de muy relevantes, si bien muchas de ellas ya se encuentran en avanzado desarrollo.

II. Minería continua

A juicio de uno de los participantes, se trata de un tema muy relevante, sin embargo, las líneas agrupadas en este sub-sector, deberían constituirse como una sola línea de investigación.

III. Conversión continua

Para uno de los expertos este es un tema muy relevante, sin embargo, al igual que en el caso del sub-grupo de minería continua, las líneas agrupadas en este sub-sector, deberían constituirse como una sola línea de investigación.

IV. Recuperación de cobre a partir de minerales y residuos complejos y de reciclaje

Dos de los participantes consideran este sub-grupo relevante, sin embargo, con una menor prioridad respecto de otros temas.

Uno de los expertos destaca la importancia de la línea L97¹³, destacando la importancia de mejorar el grado de control sobre este proceso y destacando la experiencia en el teniente con procesos de lixiviación con agua.

V. Desarrollo de minería in situ en in place

A juicio de un experto se trata de un tema muy relevante, sin embargo, las líneas agrupadas en este sub-sector deberían constituirse como una sola línea de investigación.

Otro de nuestros expertos, considera este sub-grupo como de alta relevancia, destacando las líneas L103¹⁴, L104¹⁵ y L49¹⁶. A juicio del experto, la línea L103 es crucial, debido a que los actuales métodos son muy inadecuados y no se ajustan a la realidad.

¹³ Desarrollo de procesos para el tratamiento de minerales con excesivo consumo de ácido en lixiviación.

¹⁴ Desarrollo de modelos hidrogeológicos en sistemas saturados y no saturados.

¹⁵ Desarrollo y/o adopción de metodologías para mediciones geofísicas.

¹⁶ Incorporar tecnología que minimice las emisiones de vapores orgánicos en plantas concentradoras.

Asimismo destaca la relación entre las líneas L103 y L104, específicamente en al orientar ambas líneas en la optimización de la lixiviación en pilas. También destaca la importancia de la línea L99¹⁷.

Desafío cuatro: Minimizar el impacto ambiental

I. Tratamiento de residuos

Uno de nuestros expertos, considera que en general las líneas de este subgrupo son muy relevantes. Con respecto a la línea L109¹⁸, comenta que han existido experiencias relacionadas en el pasado, sin mayor impacto.

Con respecto a la línea L112¹⁹, lo aprecia como un tema cada vez más importante para el sector. Con respecto a la línea L114²⁰, propone no sólo utilizar las excavaciones para el almacenamiento de sustancias peligrosas, si no también estudiar su potencial para ser utilizadas como reservas de agua.

II. Minimización de contaminantes

En este sub-grupo uno de los participantes, considera muy importantes las líneas L118²¹ y L120²². Con respecto a la línea L118, el experto, destaca la importancia de esta línea, sin embargo, comenta que se trata de un tema de muy alta complejidad, debido principalmente al tamaño de los tranques de relave.

Con respecto a la línea L120, el experto, comenta estar totalmente de acuerdo con el diseño de estructuras pensando en el desmantelamiento, cosa que, a su juicio, no es considerada en estos momentos.

Otro de los expertos, plantea que este sub-grupo debería estar presente una línea asociada al desarrollo de metodologías para estimar las emisiones en faenas mineras.

III. Medición del impacto ambiental

Uno de los expertos considera que en particular la línea L124²³, es particularmente importante, sin embargo, es necesario realizar los estudios asociados en las localidades específicas, en base a la flora y fauna locales.

¹⁷ Desarrollo de tecnologías de estimación de mapas pluviométricos.

¹⁸ Desarrollar tecnologías para estabilización y almacenamiento de arsénico que garanticen su estabilidad como producto inerte.

¹⁹ Desarrollo de soluciones biotecnológicas para la degradación de cianuro.

²⁰ Investigar la reutilización de excavaciones subterráneas con fines de almacenamiento de sustancias peligrosas y no peligrosas.

²¹ Investigar y desarrollar tecnologías específicas para la remediación de suelos y tranques de relave.

²² Diseño arquitectónico e industrial con criterio ambiental, que incorpore el desmantelamiento.

²³ Estudiar los efectos sobre la flora y fauna de la operación minera.

Propuestas 2014-2015

A partir de su experiencia y tomando como base los resultados preliminares de la fase Delphi del estudio de Minería, los expertos han propuesto ajustes o modificaciones a los desafíos, sub-sectores y líneas de investigación presentadas en este documento.

Asimismo han querido proponer nuevas líneas de investigación acordes a su juicio, con nuevos requerimientos del sector, no abordados en las actuales líneas de investigación.

Desafío 1: Desarrollar una industria de bienes y servicios especializados de exportación

Con respecto al primer desafío, uno de los expertos considera muy necesario incorporar nuevas líneas de investigación, específicamente en las áreas de automatización y robótica en la minería, a través de líneas más específicas, como por ejemplo: brazos robóticos y automatización de equipos para la manipulación de explosivos.

La industria de la minería en nuestro país se encuentra cada vez con mayores costos de producción y menores leyes de mineral, lo que supone un gran desafío a la productividad y eficiencia en la explotación, es por ello que la incorporación de tecnologías de automatización y robótica en procesos mineros pueden tener un alto impacto en la capacidad de la industria de aumentar su productividad.

Además, recomienda la inclusión de un nuevo sub-grupo, bajo el nombre de “Desarrollo de proveedores de clase mundial para la minería”, con menciones en sus líneas a centros de investigación, infraestructura, pilotaje base para nuevos productos y proveedores de base, entre otros.

Plantea que es necesario incentivar el desarrollo de empresas proveedoras capaces de tomar y solucionar los grandes desafíos que enfrenta la industria minera en Chile, debido a que actualmente existe un gran déficit de empresas capaces de asumir el rol de “proveedores de clase mundial” para la industria minera, por lo que es de gran relevancia incentivar y apoyar el desarrollo de empresas proveedoras capaces de colaborar con las grandes empresas mineras en el desarrollo y la incorporación de nuevas capacidades y tecnologías necesarias para mantener sustentado la productividad y el crecimiento del sector.

Con respecto al primer desafío, dos de los expertos proponen una nueva línea orientada al desarrollo de métodos para medir contenidos en forma efectiva en concentrados de cobre. Esto debido a las dificultades que enfrentan los exportadores chilenos al momento de enfrentar los muestreos de cobre en los países compradores. Es de gran importancia para los exportadores poder contar con un método eficaz de medición de contenidos de cobre, ya que de esta forma pueden respaldar con mayor fortaleza sus ventas al momento de recibir los muestreos del comprador.

Asimismo, específicamente en relación al sub-sector II de este desafío (desarrollo de nuevos productos), uno de los expertos considera muy importante la extracción y recuperación de tierras raras antes de llegar al relave. Por ello propone una nueva línea de investigación, orientada al desarrollo de tecnologías para la recuperación y extracción de minerales antes de que los residuos alcancen el estanque de relaves. La recuperación de tierras raras en relaves es considerado un gran desafío para la industria, debido al gran tamaño de los

relaves en Chile y al enorme desafío tecnológico que implica la recuperación de estos elementos desde el relave mismo. Es muy importante desarrollar capacidades para tratar con los relaves, ya sea debido a su impacto en el medio ambiente, como por su potencial como una nueva área de explotación para la minería.

Desafío dos: Sustentabilidad de la industria minera

Con respecto este desafío, uno de los expertos considera que sería adecuado clasificar las líneas de este desafío en dos tipos: desarrollo de tecnologías y mejoras en gestión.

Dos de los participantes coinciden en sus recomendaciones con respecto a la importancia de la integración de los sistemas de transmisión eléctrica del Norte Grande con el Sistema Interconectado Central. La integración de ambos permitirá aprovechar en forma más eficiente la energía disponible, tanto para la industria minera, como para otros sectores productivos y la población en general.

También ambos recomiendan el planteamiento de nuevas líneas de investigación orientadas a desarrollar alternativas de transporte a los camiones en las faenas mineras (ej. Elevadores). La utilización de camiones en la industria minera, implica altos costos en combustible, mantenimiento e infraestructura, debido a los largos recorridos efectuados por éstos en las minas de tajo abierto u otras similares. El desarrollo de métodos de transporte alternativos de mayor eficiencia permitirá aumentar la competitividad del sector y disminuir en forma importante el impacto de la actividad en el entorno, disminuyendo el polvo en suspensión, entre otros.

Específicamente para el sub-sector I (gestión de recursos hídricos), un experto propone una nueva línea de investigación, orientada en la planificación y desarrollo de minas con doble propósito: minas de tajo abierto y reservas de agua.

La posibilidad de reutilizar una mina como reserva de agua, permitiría un cierre de faena con un impacto positivo para el entorno, así como también un gran impulso al desarrollo de otras actividades, como la agricultura y ganadería, que permitan el desarrollo de largo plazo de los sectores beneficiados.

En relación al sub-sector II (diversificación de fuentes energéticas), uno de los expertos propone una nueva línea, apuntando a desarrollar proyectos de instalación de paneles solares en relaves, como parte del cierre de mina. Actualmente los relaves no tienen un propósito mayor que servir como depósitos de contención para los subproductos de la minería. La potencial utilización de este espacio para la instalación de generadores de energía de fuentes renovables, permitiría utilizar un área hasta el momento inútil en una actividad muy importante para el desarrollo del país, con un impacto ambiental marginal.

Con respecto al sub-sector III (salud y seguridad), uno de los expertos propone una nueva línea, orientada al desarrollo de sistemas de alerta ante situaciones de alto peligro para los trabajadores.

Para el sub-sector IV (cierre de faenas), dos de los participantes destacan la importancia de convocar a un grupo de expertos específicamente para la discusión de las líneas relacionadas a este tema de gran relevancia para el sector.

Desafío tres: Aumento del volumen producido y la productividad en la gran minería del cobre

Con respecto a este desafío, uno experto hace un llamado de atención en relación a incluir las regulaciones para las operaciones mineras, ya que considera que estas deben ser establecidas nuevamente, esta vez, a la medida de las operaciones en Chile y no como una extensión de las regulaciones de otros países.

Otro experto indica que, a su juicio, para este desafío es necesario incluir líneas de investigación relacionadas con las plantas mineras, así como separar las líneas entre temas relacionados con las minas, temas relacionados con las plantas mineras y temas relacionados con las fundiciones.

Específicamente en relación al sub-sector I (aumento de la productividad), uno de los expertos propone dos nuevas líneas para este sub-grupo: la primera relacionada al uso de tecnologías de automatización y operación de equipos mineros y la otra relacionada al desarrollo de tecnologías más eficientes de fragmentación, desde el punto de vista energético.

Para el sub-sector II (minería continua), uno de los participantes plantea que las líneas agrupadas allí deberían constituirse como una sola línea de investigación, ya que considera que se trata de un solo tema.

En relación al sub-sector III (conversión continua), a juicio de uno de los expertos y al igual que en el caso anterior, las líneas aquí agrupadas deberían constituirse como una sola línea de investigación.

Uno de los expertos, plantea que en el sub-sector V (desarrollo de minería *in situ* e *in place*), al igual que en los dos casos anteriores, las líneas deberían constituirse como una sola.

Desafío cuatro: Minimizar el impacto ambiental

Con respecto a este desafío, dos de los expertos coinciden en que los desafíos dos y cuatro (“Sustentabilidad de la industria minera” y “Minimizar el impacto ambiental” respectivamente), se encuentran muy relacionados, y por lo tanto, deberían constituirse como un único desafío.

Uno de los expertos, destaca la importancia de mejorar las herramientas de evaluación de impacto ambiental, de recuperar la credibilidad del sistema y que, a su vez, este constituya una herramienta adecuada para el desarrollo de proyectos mineros a través de reglas claras que permitan una minería con menor impacto negativo en tanto en el área de explotación, los territorios circundantes y la comunidad, tanto local como regional. Asimismo, propone incorporar líneas de investigación orientadas a la caracterización de zonas con potencial para la explotación minera, desde el punto de vista del medio ambiente.

Específicamente para el sub-sector I (tratamiento de residuos), un experto propone una nueva línea, orientada en la utilización de faenas mineras como reservas de agua, ya destacada en el desafío dos.

Para el sub-sector I (medición del impacto ambiental), el experto considera particularmente importante, en el caso particular de la línea L124, el estudio de los efectos de la operación minera en la flora y fauna. Para ello debería hacerse estudios específicos sobre la flora y fauna locales.

Conclusiones

El trabajo iniciado en 2009 plantea una serie de líneas de trabajo que por sí mismas constituyen una visión amplia de los desafíos tecnológicos de la minería en Chile. Sumando a ellas los comentarios realizados durante 2015 por los tres expertos antes mencionados, podemos establecer un conjunto de prioridades que sirvan de referencia para las iniciativas tecnológicas del sector minero.

- El desarrollo o incorporación de tecnologías en automatización constituye un desafío clave para el desarrollo de la industria, en gran parte debido al aumento en los costos de producción y la disminución de la productividad en el sector.
- Tanto las empresas mineras como el Estado deben apostar por el desarrollo en Chile de un ecosistema de proveedores de clase mundial para el sector. Es necesario desarrollar una red de centros de investigación, infraestructura para pilotaje y un soporte de proveedores de base. Sólo de esta forma se podrá abrir el camino para que empresas con productos y servicios intensivos en conocimiento se incorporen a la industria como proveedores de alto nivel.
- El agua se constituye como uno de los factores críticos en las actividades de la minería actuales y futuras. Es necesario direccionar los esfuerzos hacia hacer más eficiente el consumo de agua en la minería, ya sea a través de la reutilización, nuevos procesos más eficientes en el consumo de agua, nuevos procesos alternativos (secos) entre otros.
- Los relaves constituyen uno de los mayores desafíos para el sector, tanto por concentrar la mayor parte del agua utilizada por la minería, como por su enorme impacto en el entorno.
- La disponibilidad y costo de la energía se constituyen como otro gran desafío para el sector minero. La masificación de fuentes de energía renovables, se convierte en esencial, así como la incorporación de tecnologías para disminuir el consumo de energía en los procesos mineros y la búsqueda de alternativas de menor consumo para determinados procesos.

Finalmente, es importante destacar la relevancia de las reglamentaciones y normativas asociadas a la actividad minera en nuestro país. Es necesario recuperar la confianza de la población en general de nuestro país, así como de las comunidades que se ven impactadas por las actividades de la minería. Actualmente la imagen del sector minero se encuentra muy menoscabada, debido a los impactos negativos de la actividad en el medio ambiente en que se desarrollan, así como también en la calidad de vida de algunas comunidades cercanas, y de otras actividades económicas como la agricultura y la ganadería, las cuales en ocasiones se encuentran en conflicto por los recursos con el sector minero.

Debemos recuperar la confianza de las comunidades a través de normativas claras y concebidas para la realidad de nuestro país, instituciones y procedimientos transparentes, en los cuales puedan participar activamente todas las partes interesadas. Los proyectos mineros deben modernizar su planificación, y considerar alternativas como el doble uso de su infraestructura, considerar en forma efectiva el desmantelamiento e incorporar el desarrollo de las comunidades cercanas una vez terminadas las faenas y cerrada la operación minera, de forma de dar sustentabilidad a las comunidades, a través de un impacto positivo en su desarrollo de largo plazo.

Anexos

Anexo A: El Proceso Sectorial

En este proceso, un profesional de la Secretaría Ejecutiva con el apoyo de un experto sectorial externo²⁴ son los responsables de las materias particulares de cada industria (contenidos y análisis). En tanto, la parte metodológica prospectiva, que es similar para cada industria, la lleva a cabo un equipo ad-hoc de la Secretaría Ejecutiva.

Las etapas de este proceso se ilustran en la Figura 2, y se explican a continuación.



Desafíos

El proceso comienza tomando como insumo los Desafíos Estratégicos de los sectores priorizados. La primera versión de estos desafíos proviene del volumen II de la ENIC, y fueron elaborados a partir de las conclusiones de un estudio contratado por el CNIC al *Boston Consulting Group* (BCG) durante 2007.

Con posterioridad, la Secretaría Ejecutiva del CNIC ha efectuado una profundización de ellos a partir de consulta a expertos nacionales e internacionales, así como nuevos talleres con la industria y comunidad científica.

Para la Minería, por ejemplo, los antecedentes adicionales al estudio de BCG fueron obtenidos a partir de:

1. Reuniones de trabajo con equipo profesional de Grupo Latino S.A.
2. II Reunión anual CICITEM: Jornada de Innovación, Ciencia y Tecnología desde la región de Antofagasta.

²⁴ El consultor experto externo para el estudio de minería es el Señor Guillermo Vera.

3. Entrevistas con profesionales e investigadores nacionales.

A continuación se detallan los cuatro grandes desafíos identificados:

1. **Desarrollar una Industria de bienes y servicios especializados de exportación:** Desarrollar capacidades locales que permitan potenciar la creación de soluciones locales en los diferentes procesos de la minería y transformar el desarrollo involucrado en estas soluciones en productos y servicios exportables.

2. **Sustentabilidad de la industria minera:** Desarrollar y/o adoptar las tecnologías que permitan potenciar el crecimiento de la industria, sin poner en riesgo los recursos que permitan el normal desarrollo del sector en el futuro.

3. **Aumento de producción y productividad en la Gran Minería del Cobre:** Desarrollar y/o instalar las capacidades y tecnologías que permitan satisfacer los incrementos esperados de la demanda mundial por cobre estimada para las próximas décadas

4. **Estimar, minimizar y prevenir el impacto ambiental:** realizar investigaciones que permitan estimar efectivamente el impacto ambiental de la actividad minera. Incorporar y desarrollar tecnologías que minimicen la emisión de contaminantes y hagan más efectivo el tratamiento de los residuos.

Hipótesis de soluciones

A partir de los Desafíos Estratégicos, y utilizando opinión experta nacional, se ha formulado hipótesis de soluciones en la forma de conocimientos y tecnologías, nuevo o existentes.

En el proceso de diálogo con los científicos, los tipos de conocimiento se han enunciado como líneas de investigación y tecnologías, definiendo una línea de investigación como la solución de un problema específico, o como un hallazgo científico. En tanto, se ha considerado que una tecnología debe plantearse como necesidades de transferencia tecnológica o adaptación tecnológica. Por ejemplo, "Desarrollo de tecnologías para mitigar las aguas ácidas".

Estas hipótesis de soluciones conforman el listado inicial, o cuestionario, que es el insumo de la primera circulación del proceso Delphi, que es el siguiente paso en el proceso sectorial.

Validación y priorización: proceso

El listado inicial de conocimientos requeridos²⁵ se ha sometido a la opinión de miembros de la comunidad científica nacional e internacional y de la industria respectiva, a través de un proceso Delphi de tres circulaciones:

Primera circulación

En la primera circulación se ha solicitado a los encuestados corregir el listado inicial, ya sea modificando los enunciados de las proposiciones o agregando nuevas líneas de investigación o tecnologías. El conjunto de respuestas se ha sintetizado con apoyo experto, conformando un nuevo listado con el que se continúa el proceso Delphi.

²⁵ Como se ha indicado previamente, los tipos de conocimiento se han enunciado como líneas de investigación y tecnologías durante el diálogo con los científicos, por lo que se utilizará esta denominación en el resto del documento.

Segunda circulación

En la segunda circulación, se solicita a los encuestados evaluar cada línea de investigación y tecnología del nuevo listado, en relación a las variables Impacto en el Desafío y Viabilidad Científica, definidas como sigue:

- Impacto en el Desafío: Entendida como el nivel de contribución de los resultados de la Línea de investigación a la superación del desafío del sector.
- Viabilidad Científica: Es la probabilidad de que, hacia el año 2020, la comunidad científica nacional e internacional alcance resultados satisfactorios en la Línea de investigación.

A los encuestados se les ha solicitado calificar cada variable entre 1 y 100, con la siguiente equivalencia conceptual:

NUMERAL	CONCEPTO ASOCIADO
1 a 20	Muy bajo impacto o viabilidad
21 a 40	Bajo impacto o viabilidad
41 a 60	Mediano impacto o viabilidad
61 a 80	Alto impacto o viabilidad
81 a 100	Muy alto impacto o viabilidad

Figura 3: Puntajes impacto – viabilidad

Tercera Circulación

Finalmente, en la tercera circulación, los resultados de la ronda anterior se realimentan a los encuestados, solicitándoles volver a calificar el Impacto y la Viabilidad de las líneas de investigación considerando los resultados agregados, justificando las respuestas que estén alejadas de la opinión de mayoría²⁶.

El objetivo de esta “socialización” es característico de la metodología Delphi, que propicia así un mayor consenso e identifica justificaciones para el disenso.

²⁶ Los encuestados deben justificar sus evaluaciones cuando estén fuera del primer y tercer cuartil en torno a la mediana de las evaluaciones grupales de la segunda ronda.

Anexo B: Expertos Proceso Inicial

Durante el proceso Delphi del estudio, se extendieron invitaciones a 207 expertos nacionales y 53 expertos internacionales, pertenecientes a diversos sectores asociados a la minería, principalmente universidades, centros de investigación y del sector empresarial y productivo.

Durante el desarrollo del proceso Delphi, participaron 65 expertos nacionales e internacionales, de los cuales un 46% representa la opinión de expertos pertenecientes al sector Empresarial, un 42% representa al sector Universidades / Centros de Investigación. Adicionalmente nueve expertos, correspondientes a un 12% de las respuestas han sido clasificados como indeterminados.

La distribución de los sectores, de acuerdo a los expertos participantes, se aprecia en la figura 3.

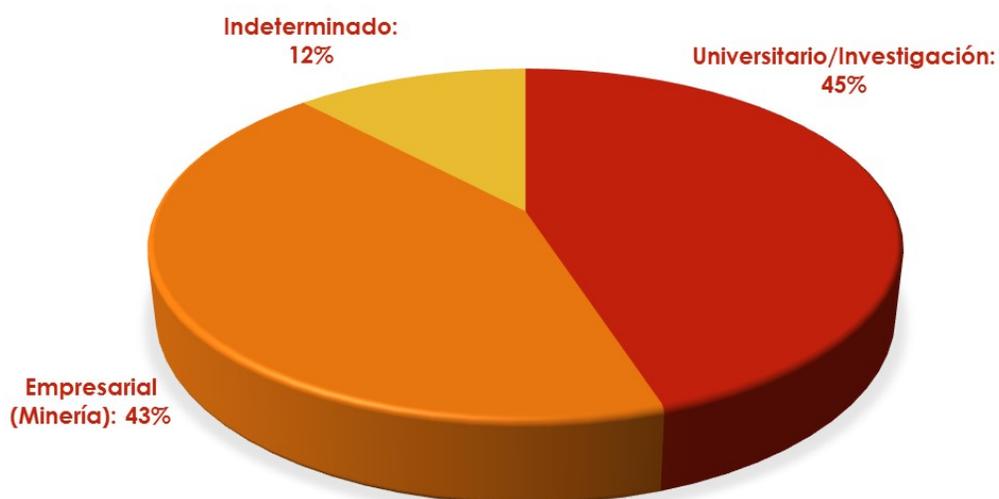


Figura 4: Expertos Delphi Minería según sector

Participantes Nacionales e Internacionales en Estudio de Minería.

Nº	Nombre	Apellido	Cargo	Institución
1	Oscar Alberto	Benavente	Director Departamento de Ingeniería Metalúrgica	Universidad Católica del Norte
2	Aldo	Casali Bacelli	Director Departamento de Ingeniería en Minas	Universidad de Chile
3	Aldo	Cipriano	Profesor Departamento de Ingeniería Eléctrica	Universidad Católica de Chile
4	Alfonso	Otero	Profesor adjunto Centro de Minería	Universidad Católica de Chile
5	Alfonso	Carvajal Rojas	Director Departamento de Ingeniería en Minas	Universidad de La Serena
6	Cristián	Moscoso	Profesor	Universidad de Chile
7	Enrique	Rubio	Profesor	Universidad de Chile
8	Fernando	Henríquez	Profesor	Universidad de Santiago de Chile
9	Gerardo	Fuentes Cáceres	Profesor Departamento de Ingeniería Metalúrgica	Universidad Católica del Norte
10	Jacques	Wiertz	Profesor	Universidad de Chile
11	Jorge	Naveas Castro	Director Departamento de Minas	Universidad de Atacama
12	Juan	Ortiz	Profesor	Universidad de Chile
13	Rafael	Padilla	Profesor Departamento de Metalurgia	Universidad de Concepción
14	Raúl	Castro	Profesor	Universidad de Chile
15	Wolfgang	Griem	Profesor Departamento de Minas	Universidad de Atacama
16	Cris	Morán	Director SMI	University of Queensland
17	Felipe	Calizaya	Profesor	University of Utah
18	George	Brimhall	Profesor	University of California at Berkeley
19	Jan	Miller	Profesor	University of Utah
20	Janusz	Laskowski	Profesor	University of British Columbia
21	Thomas	Baumgarti	Profesor	University of Queensland
22	Will	Bawden	Profesor	University of Toronto
23	Antonio	García	Investigador	Cicitem
24	Cecilia	Demergasso	Investigadora	Cicitem
25	Elizabeth	Lam	Investigadora	Universidad Católica del Norte
26	Hugo	Jara	Director de Programa de Procesos a Alta Temperatura	Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia (IM2)
27	Patricio	Rodríguez	Investigador	Centro de investigación en Minería y Metalurgia (CIMM)
28	Rosanna	Ginocchio	Directora de Laboratorio de Suelos y Plantas	Centro de investigación en Minería y Metalurgia (CIMM)
29	Mike	Nicol	Head	Parker Centre
30	Petrus	Van Staden	Head Process Design	Mintek
31	Roger	Paul	General Manager	Mintek
32	Pablo	Pastene	Director de Energía Solar	Fundación Chile
33	Arturo	Correa	Gerente Exploraciones Chile	Río Tinto
34	Claudio	Canut de Bon	Gerente de Mina	Teck
35	Cristián	Amunátegui	Gerente General	EMS Chile
36	Cristián	Calderón	Jefe Geología	Teck
37	Dagoberto	Ibaceta	Gerente de Operaciones	Cemin
38	David	Gordon	Gerente de Ingeniería y Geología	FMI
39	Fernando	Rioseco	Subgerente de desarrollo	Pucobre
40	Hugo	Rojas	Director Medio Ambiente y Comunidades	Teck
41	Ignacio	Cruz	Gerente General	Minera Los Pelambres
42	Iván	Valenzuela	Gerente General	Ecometales
43	John	Pinela	Gerente General	Geoblast S.A.
44	José Tommás	Letelier	VP Asuntos Externos Sudamérica	Kinross
45	Juan	Aguilera	Gerente Desarrollo Humano, Riesgo y Sustentabilidad	Codelco
46	Juan Carlos	Salas Morales	Gerente de Gestión de Innovación	Antofagasta Minerals
47	Leonardo	Cornejo	Gerente de Sustentabilidad	Codelco
48	Marcelo	Jo	Gerente General de Desarrollo Tecnológico	Xstrata Copper
49	Maritza	Baeza	Supte. Planta SX-EW	Cerro Negro S.A.
50	Miguel	Fuenzalida	Gerente de Planta	Yamana
51	Miguel	Monroy	Gerente de Procesos	Xstrata Copper
52	Nelson	Mendoza	Gerente de Operaciones	Cerro Negro S.A.
53	Nicolás	Basic	Gerente de Operaciones	Minera Cerro Dominador
54	Orlando	Castillo	Supte. Ingeniería y construcción	Teck
55	Oscar	Leal	Gerente Medio Ambiente, Seguridad y Salud	Pelambres
56	Radú	Almasán	Supte. Geología	Pucobre
57	Ricardo	Montoya	Gerente de Producción	Codelco
58	Ricardo	Funes	Gerente de Mina	Pelambres
59	Ricardo	Maturana	Gerente de Mina	Kinross
60	Roberto	Martínez	Gerente Senior Seguridad y Salud Ocupacional	Anglo Chile
61	Roberto	De Groot	Gerente Sustentabilidad, Seguridad y Responsabilidad Social	Enami
62	Rodrigo	Poblete	Gerente de Recursos Mineros y Desarrollo	Codelco
63	Rodrigo	Moya	Gerente HSEC	HP Billiton
64	Gordon	Siddeley	Gerente General	Compañía Minera Calcia Ltda.
65	Jae-Chun Lee		Director of Minerals and Materials Processing Division	Kigam