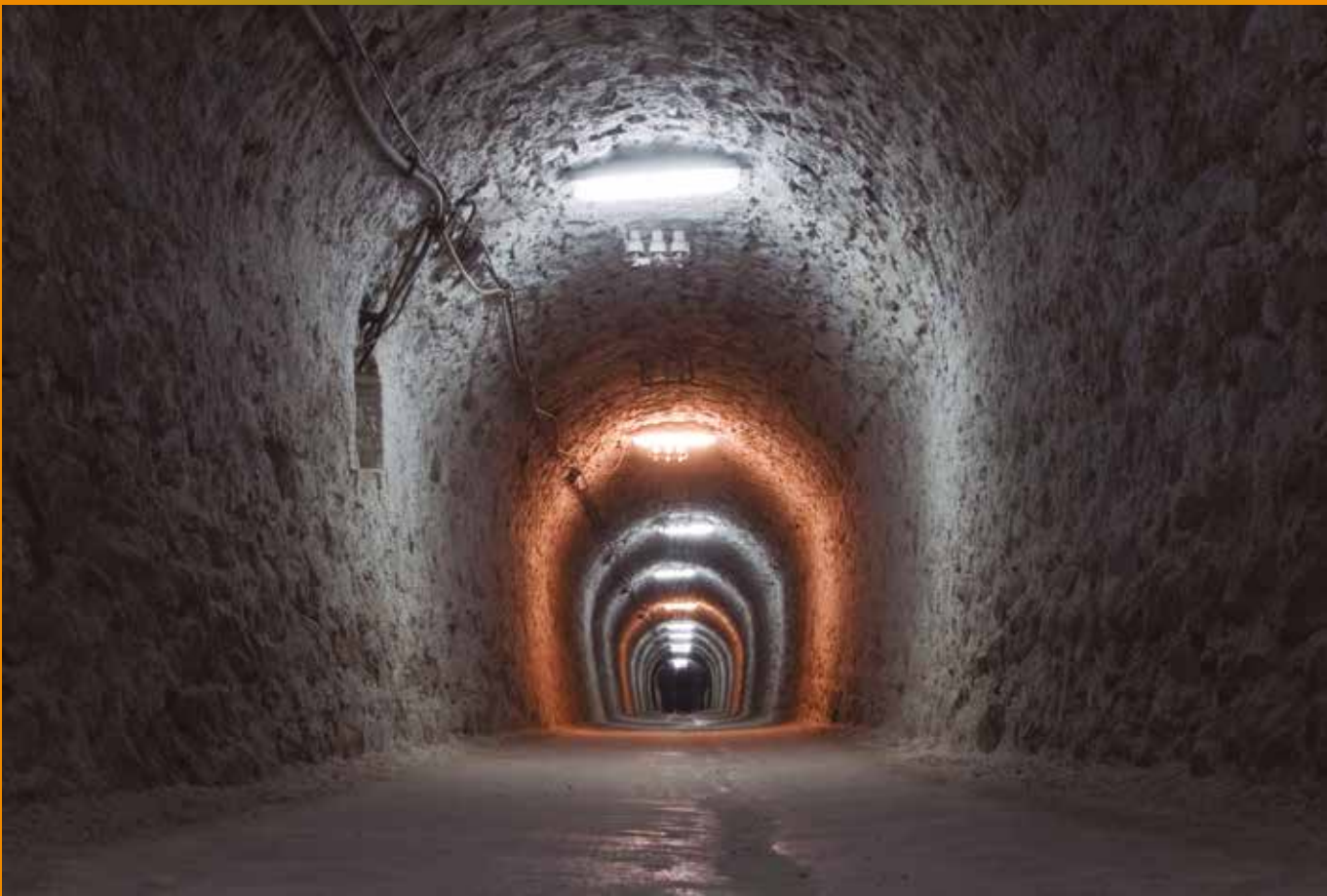


Patricio Meller & Pablo Parodi

DEL PROGRAMA DE PROVEEDORES A LA INNOVACIÓN ABIERTA EN MINERÍA



DEL PROGRAMA DE PROVEEDORES A LA INNOVACIÓN ABIERTA EN MINERÍA

Primera edición: junio de 2017

© 2017, Patricio Meller & Pablo Parodi

© 2017, Cieplan

Dag Hammarskjöld N°3269, piso 3, Vitacura
Santiago - Chile
Fono: (56 2) 2796 5660
Web: www.cieplan.org

Edición: Cecilia Barría
Diseño portada: Ingrid Rivas
Diagramación: Ingrid Rivas
ISBN:

Queda autorizada la reproducción parcial o total de esta obra, salvo para fines comerciales, con la condición de citar la fuente.

Impreso por: Gráfica LOM
Impreso en Chile / Printed in Chile

Patricio Meller y Pablo Parodi

DEL PROGRAMA DE PROVEEDORES A LA INNOVACIÓN ABIERTA EN MINERÍA

PRESENTACIÓN

Este artículo forma parte del Proyecto “Capabilidad Tecnológica e Innovación en América Latina”, apoyado por CAF y Universidad de Talca. Al analizar el precario entorno macro innovador imperante en América Latina desde una perspectiva microeconómica, la interrogante de fondo es: ¿Por qué las empresas latinoamericanas tienen un nivel relativamente bajo de innovación?, ¿qué sería necesario para incrementar el gasto en innovación en las empresas?

Para responder estas interrogantes es fundamental analizar el concepto de capacidad tecnológica. El propósito de este proyecto es estudiar los mecanismos y factores habilitantes para la generación de capacidad en Latinoamérica. Para esto se analiza, bajo distintos enfoques, experiencias y procesos de generación de capacidades en economías latinoamericanas (Chile, Argentina y Brasil), abordando también el financiamiento como factor transversal en la generación de innovación.

Para que cualquier tipo de empresa sea exitosa en un mundo global requiere capacidad tecnológica. Dado esto, es necesario profundizar en cómo las empresas la adquieren y qué herramientas y mecanismos son utilizados en este proceso. Sin embargo, las empresas se desenvuelven dentro de un contexto más amplio, por lo que los sistemas nacionales de innovación y el rol de las instituciones adquieren relevancia en este ámbito.

Entre las particularidades de las economías latinoamericanas está el papel preponderante de los recursos naturales (RRNN) dentro de sus matrices productivas. Las operaciones relacionadas a los RRNN responden –y deben enfrentar– la realidad geográfica específica en donde se desenvuelven. Esto brinda la potencialidad de que las industrias ligadas a los RRNN se transformen en plataformas de innovación tecnológica. Las particularidades de la tierra, agua, reservas, minas y clima han sido la fuente más importante de requerimientos de innovación en estos sectores.

Finalmente, la gestión de innovación requiere de acceso a financiamiento en la forma de crédito o capital, sin el cual se genera una restricción que puede afectar negativamente la tasa de innovación. Esto exige revisar el tipo de herramientas de intermediación financiera disponibles para las empresas, lo que afecta su desempeño económico y en particular a la innovación.

Versiones preliminares de los artículos fueron presentadas en dos Workshops realizados en CIEPLAN (Santiago, 29 de marzo de 2017) y en la Universidad de Talca (Talca, 30 de marzo de 2017).

Las ideas y planteamientos contenidos en este artículo (y en todos los artículos de este proyecto) son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no comprometen la posición oficial de CAF - Banco de Desarrollo de América Latina ni de la Corporación de Estudios para Latinoamérica (CIEPLAN).

DEL PROGRAMA DE PROVEEDORES A LA INNOVACIÓN ABIERTA EN MINERÍA

Resumen

Este artículo analiza las dificultades y potencialidades del Programa de Proveedores de Clase Mundial para la Minería (PPCM) como herramienta de generación de capacidades y de innovación tecnológica. Abordando también su posterior transformación en la Plataforma de Innovación Abierta en Minería (PIAM).

Dentro de las principales dificultades enfrentadas por el PPCM se encuentran: (a) Relativo bajo impacto de los proyectos en faenas mineras. (b) Problemas de posicionamiento dentro las compañías mineras. (c) Brechas importantes en cuanto a: capital humano especializado, financiamiento, espacios de prueba, asimetrías de información, fallas de coordinación, capacidades de escalamiento, etc. (d) Importante desbalance entre los recursos destinados al PPCM y las expectativas generadas. A pesar de lo descrito en este párrafo, el PPCM ha generado importantes dinámicas de aprendizaje, además de tener un significativo rol en la creación de capital social en el sector minero.

Con la finalidad de establecer los fundamentos detrás del paso del PPCM a la PIAM, se estudian conceptualmente los paradigmas de innovación cerrada e innovación abierta y también se revisa el rol del *broker* tecnológico de innovación. El concepto de innovación abierta no solo plantea una mayor transversalidad en las redes de innovación y en los actores involucrados, también está ligado a establecer la colaboración como factor central del proceso innovador. En líneas generales, dado el diagnóstico realizado, se plantea que en un sector como la minería el rol del *broker* tecnológico debiese ser más que meramente transaccional. Se requeriría un *broker* activo, en diversas fases del proceso innovador, y sobre todo en lograr un *engagement* efectivo de las grandes compañías mineras.

Finalmente, se analizan dinámicas transversales al sector minero. La innovación ha sido designada como la bala de plata para la minería. La introducción

de la innovación abierta en minería va en la dirección correcta: involucra a una mayor cantidad de actores y presenta la potencialidad de generar procesos colaborativos; sin embargo, “la innovación abierta no es perfecta”. Esto significa que muchas de las innovaciones que serán diseñadas por los participantes de una PIAM pueden fracasar. En breve, “la innovación abierta no es una panacea” y debe ser considerada como lo que es, un proyecto en progreso.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN	11
EL NUEVO ROL DE LOS RECURSOS NATURALES	13
PROGRAMA DE DESARROLLO DE PROVEEDORES DE CLASE MUNDIAL (PPCM)	18
MARCO TEÓRICO PARA LA INNOVACIÓN EN LOS PROVEEDORES DE LA MINERÍA EN CHILE	20
FUNDAMENTOS EMPÍRICOS PARA LA INNOVACIÓN EN PROVEEDORES MINEROS	20
FUNDAMENTOS CONCEPTUALES PARA LA APLICACIÓN DEL PPCM	25
CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR PROVEEDORES DE LA MINERÍA EN CHILE	27
EL SECTOR DE PROVEEDORES DE LA MINERÍA AUSTRALIANO (METS)	32
FACTORES INHIBIDORES DE LA INNOVACIÓN EN EL PPCM	35
1) EVIDENCIA EMPÍRICA DEL PPCM	35
2) IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES INHIBIDORES.	37
3) CÓMO SE GENERARON LAS EXPECTATIVAS EXCESIVAMENTE OPTIMISTAS EN EL PPCM	46
INNOVACIÓN ABIERTA EN MINERÍA	52
RELEVANCIA DE BROKER TECNOLÓGICO	58
OBSERVACIONES FINALES	62
ANEXOS	68
REFERENCIAS	77

DEL PROGRAMA DE PROVEEDORES A LA INNOVACIÓN ABIERTA EN MINERÍA

Patricio Meller y Pablo Parodi¹

INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN

¿Es descabellado plantear la utilización de la minería como plataforma para generar innovación tecnológica? La evidencia empírica revela que en América Latina (AL) los recursos naturales (RRNN) presentan desafíos tecnológicos y productivos que requieren investigación y desarrollo (I&D) específicos. Esto induce incentivos para que los RRNN se transformen en AL en un motor de estímulos a la creatividad e innovación. Para este efecto en Chile se ha promovido e implementado el Programa de Proveedores de Clase Mundial (PPCM) para la minería del cobre.

En el período reciente (últimos seis años) ha habido cerca de 30 artículos describiendo y revisando las características del PPCM; esto ha generado varias reseñas y síntesis al respecto (ver Bravo-Ortega y Muñoz, 2015; Urzúa *et al.* 2016). Entonces, ¿qué sentido tiene un nuevo artículo sobre el mismo tópico?; ¿puede haber un valor agregado en una “reseña de reseñas”? Nuestra respuesta es positiva, y por eso hemos escrito este artículo.

El PPCM es una iniciativa que tiene varios atractivos (como se verá en detalle más adelante). (i) El PPCM responde a los nuevos desafíos tecnológicos y genera una “cuádruple situación ganadora” (“quadruple win situation”, Bravo-Ortega y Muñoz, 2015, p. 48). Ganan las compañías mineras, las empresas proveedoras, todo el sector minero y el Gobierno. (ii) Dado el gran tamaño de la minería cuprífera chilena (30% de la producción mundial) hay un gran mercado local para las empresas proveedoras de insumos. (iii) Hay casi 6.000 empresas

¹ Los autores agradecen los comentarios y discrepancias de Manuel Agosín, José Miguel Benavente, Joaquín Gana, Catalina Jofré, Carlos Torres y Osvaldo Urzúa. Como es habitual, los autores son los únicos responsables por el contenido de este artículo.

proveedoras, lo cual “constituye una gran base de empresas (potencialmente) innovadoras” (Urzúa et al., 2016, p. 19); el PPCM ha generado una “sofisticación creciente de actividades intensivas en conocimiento” (Bravo-Ortega y Muñoz, 2015; Urzúa et al., 2016).

Dado lo anterior, se generaron expectativas excesivamente optimistas. El PPCM chileno “replicaría el éxito de las METS australianas”; los proveedores australianos de Equipos, Tecnologías y Servicios para la Minería (METS, por sus siglas en inglés) han crecido a tasas de 15-20% anual en la primera década de este siglo, lo que implicó avanzar de un 4% de participación en el PIB en 2002-03 a un 8,4% en 2011-12; aún más importante es su contribución a las exportaciones australianas (alrededor de US\$12.000 millones anuales). En consecuencia, el PPCM constituiría el mecanismo de implementación del clúster minero ayudando al desarrollo regional (donde están localizados los yacimientos) y a la creación de empleo; aún más, las empresas proveedoras generarían innovación tecnológica y contribuirían a la diversificación exportadora. Las predicciones efectuadas respecto del éxito del PPCM proyectan que hacia el año 2035 habría 250 empresas proveedoras cuyo nivel de exportaciones alcanzaría US\$4.000 millones anuales².

Por esto, es muy relevante examinar lo que ha sucedido con el PPCM. Las dos mayores empresas mineras (BHP Billiton y Codelco) implementan el PPCM en los años 2008 y 2010, respectivamente. Dado el soporte conceptual del Programa, el apoyo de dos grandes empresas mineras y el gran éxito de la experiencia de las METS australianas, debieran generarse resultados potenciales positivos. Entonces, ¿qué ha pasado hasta ahora, casi ocho años después de implementación del PPCM? Como se verá, los resultados son precarios. El foco de este artículo es analizar por qué una iniciativa tan razonable conceptualmente, e intuitivamente con incentivos positivos para los principales agentes involucrados, no tiene el éxito que han logrado las METS australianas; revisar cuáles son las lecciones aprendidas, las barreras para la generación de innovación que enfrentan las empresas proveedoras y qué hacer para tener un PPCM exitoso. La plataforma de innovación abierta para la minería pareciera una propuesta atractiva.

² Estas predicciones fueron revisadas a la baja. Anteriormente se había proyectado que el PPCM generaría 250 empresas innovadoras en el año 2020 y que el nivel de exportaciones alcanzaría US\$10.000 millones anuales en el año 2035.

EL NUEVO ROL DE LOS RECURSOS NATURALES

Los recursos naturales –específicamente el cobre en Chile– han desempeñado un rol clave en el crecimiento y el desarrollo de AL a través del triple impacto económico en: (i) La balanza de pagos; (ii) los ingresos fiscales y (iii) el ritmo del crecimiento. Los dos primeros efectos se observan en la Tabla 1 para una selección de economías latinoamericanas.

TABLA 1
PARTICIPACIÓN DE RRNN EN EXPORTACIONES E INGRESOS FISCALES EN PAÍSES LATINOAMERICANOS SELECCIONADOS

País	Ingresos Fiscales de RRNN (% Ingresos Totales)		Exportaciones de commodities principales (% exportaciones totales)	
	1998	2008	2003	2011
Argentina	n.d	14	45	39
Bolivia	27	33	40	77
Chile	3	22	41	63
Colombia	n.d	11	45	69
Ecuador	23	47	79	83
México	48	40	11	17
Perú	7	18	62	67
Venezuela	30	50	80	95

Fuente: Sinott, Nash & De la Torre (2010) y Meller, Ponjachik & Zenteno (2013).

Hasta hace poco, eso era suficiente para la sociedad chilena; pero ahora eso no basta, pues en el siglo XXI y sobre todo en la etapa de desarrollo en que se encuentra

Chile³ el crecimiento depende crucialmente de la innovación y de la tecnología moderna. A nuestro juicio, los recursos naturales –específicamente el cobre– pueden desempeñar un rol adicional fundamental vinculado a la innovación tecnológica.

Pero se requiere vencer ciertas barreras mentales. Desde la época de Adam Smith (siglo XVIII) prevalece la noción de que los recursos naturales (RRNN) generan poco progreso técnico; en el caso de Adam Smith esto se justifica por cuanto está deslumbrado con los primeros inventos de la Revolución Industrial y los compara con el prolongado estancamiento de la agricultura. Esto influye en los modelos teóricos desarrollados en la literatura económica. Hay varios modelos de crecimiento y comercio con dos sectores, industria y producción de RRNN, que muestran que un país que se especializa en la producción de RRNN en el presente, queda anclado a la producción de RRNN en el futuro y va a tener menores tasas de crecimiento (Krugman, 1987; Grossman & Helpman, 1991). Sin embargo, un supuesto crucial de estos modelos plantea *a priori* que toda la innovación tecnológica se realiza en la industria. En consecuencia, esto es lo que genera las conclusiones señaladas. No es obvia la validez empírica de este supuesto, pues el sector productor de RRNN es un importante usuario de tecnologías modernas, tiene una serie de desafíos productivos muy complejos y puede constituir la base para diversos procesos de innovación (ver Fundación Chile, 2016).

En Chile y en general en América Latina ha prevalecido una visión negativa respecto a los RRNN inducida por la hipótesis de Prebisch del deterioro de los términos de intercambio y la hipótesis de la “maldición de los RRNN” de Sachs y Warner (1995). Para la refutación de éstas hipótesis ver Lederman & Maloney (2001, 2007) y Meller (2013).

Para refutar la validez empírica de la hipótesis de Prebisch la Tabla 2 muestra: en 1981 se requerían 2,2 TM (toneladas métricas) de cobre para comprar un computador, mientras que en 2001 se requerían 0,7 y en 2011 solo 0,1. En 1981 se requerían 107 barriles de petróleo, mientras que en 2001 se requerían 44 y en 2011 solo cuatro. Tanto para la soya como para la carne de vacuno se requieren 15 veces menos unidades de estos *commodities* para comprar un computador entre 1981-2011. Ejercicios similares se pueden hacer para todos los *commodities* en cuestión, resultando notoria la evolución positiva de los términos de intercambio para AL durante los últimos 35 años, lo que contradice la hipótesis de Prebisch (términos de intercambio decrecientes; ver Tabla 2).

³ Chile estaría en una fase de transición desde ser una economía basada en la eficiencia a una basada en la innovación. Para más detalle ver Meller y Parodi (2016), capítulo II, sección “Trampa de países de ingreso medio”.

TABLA 2
EQUIVALENCIA ENTRE UN COMPUTADOR Y N° DE UNIDADES DE MATERIA PRIMA

Año	Cobre TM	Hierro TM	Café Kg	Petróleo Barriles	Soya TM	Carbón TM	Carne de vacuno Kg
1981	2,2	136	1.327	107	15	71	1.538
1991	1,3	60	1.661	160	16	79	1.169
2001	0,7	36	771	44	6	33	498
2011	0,1	3	71	4	1	4	105

Fuente: Meller, Poniachik & Zenteno (2013).

Nota: La tabla se lee de la forma siguiente: en 1981, el valor de un computador equivalía al de 2,2 TM de cobre, mientras que en 2011, un computador equivalía a 0,1 TM de cobre.

El foco de la discusión actual parece ya no cuestionar los modelos de crecimiento basados en RRNN, sino que está centrado en cómo aprovechar las oportunidades que estos brindan. El análisis se centra en las particularidades de este tipo de industrias y las potencialidades que estas tienen para generar un mayor valor agregado para la economía (encadenamientos productivos y/o integración a cadenas globales de valor son ejemplos de esto).

Según CEPAL, el éxito de este tipo de modelos se basa no solo en el desempeño productivo de estas industrias, sino que también en la sustentabilidad de las mismas. Este está definido por la interacción entre lo regulatorio, lo tecnológico, lo productivo y lo social (relación con la comunidad) (CEPAL, 2016). Las actividades ligadas a los RRNN han dejado de comportarse como enclave, y la unidad de análisis relevante para las políticas públicas es toda la red de actividades que rodea la extracción del recurso natural, incluyendo, por ejemplo, encadenamientos productivos aguas arriba, inversiones iniciales, estudios de factibilidad, etc. (Marín, Navas-Alemán, & Pérez, 2015).

Los factores específicos que determinarían el desarrollo de las industrias ligadas a los RRNN son los siguientes: (i) La especificidad local de la función de producción y necesidad de adaptación del modelo de organización a los requerimientos medioambientales y ecológicos de cada localidad. (ii) El mayor o menor grado de asociatividad y respuesta colectiva de parte de los agentes productivos que explotan el recurso en pro de la preservación de largo plazo y el manejo adecuado del mismo. (iii) El rol de las comunidades, demandando inclusión social y respeto por sus derechos ambientales (CEPAL, 2016).

Dado que las operaciones relacionadas con las industrias ligadas a los RRNN son de localidad específica, requieren un alto grado de adaptación de técnicas productivas utilizadas, lo que también es necesario para lograr un

manejo ambiental que promueva la sustentabilidad (vital para la relación con la comunidad). Las particularidades de la tierra, agua, reservas, clima, minas, etc., han sido la fuente más importante de requerimientos de innovación en estos sectores (Marín, Navas-Alemán, & Pérez, 2015), de esta forma los RRNN tienen la posibilidad de convertirse en plataformas de innovación tecnológica, generando dinámicas de aprendizaje tecnológico que pueden aplicarse en otros sectores. Ver al respecto la serie de estudios del Proyecto “Innovación Tecnológica Latinoamericana en Recursos Naturales” (CIEPLAN-CAF), que incluye el rol de la soya argentina, petróleo brasileño, cobre chileno y carne uruguaya⁴. Utilizando la taxonomía de Pavitt (1984), las fuentes de innovación en industrias intensivas en RRNN estarían ligadas a los proveedores.

Una creciente línea de estudios se ha llevado a cabo en relación con el desarrollo de proveedores locales intensivos en tecnología en países latinoamericanos. En Argentina se ha documentado el surgimiento de empresas proveedoras del agro, altamente especializadas en tecnología (principalmente en biotecnología y genética) (Marín, Kababe, Figueiredo, & Bravo Ortega, 2012; Marín, Navas-Alemán, & Pérez, 2015). Por su parte, en Chile el sector minero muestra un incipiente desarrollo de proveedores especializados (Urzúa, 2012; Bravo-Ortega & Muñoz, 2015; Fundación Chile-Phibrand, 2016). Respecto al caso brasileño, Rocha (2015) documenta una importante proliferación de proveedores de Petrobras, lo que está ligado a la política de contenido local establecida por ese país.

En el caso particular del cobre en Chile, la visión negativa respecto a los RRNN ha generado la percepción de que la minería sería un enclave similar a una plantación de algodón en el siglo XVI, sin encadenamientos productivos ni mejoras tecnológicas. Sin embargo, la minería cuprífera es el sector más avanzado tecnológicamente del país porque utiliza automatización, control remoto, robotización, GPS satelital, exploración tridimensional, entre otros; en síntesis, es un sector que está en la frontera tecnológica de la producción cuprífera mundial.

La producción de cobre (a gran escala) ha sido una actividad que lleva largo plazo en Chile (más de un siglo). De manera gradual, han surgido muchas empresas nacionales que producen inputs y servicios para la minería. En síntesis, durante los 50, menos del 25% de los insumos de la minería del cobre eran provistos por proveedores locales; 60 años después hay más de 4.500 proveedores de la minería que representan el 60% de los costos operacionales de las mineras mediante compras de bienes y servicios (Fundación Chile, 2014).

⁴ Los estudios en cuestión son: Bisang, Anlló y Campi (2015), Rocha (2015), Meller y Gana (2015a), Zurbriggen y Sierra (2015).

El rol de Chile en la producción mundial de cobre aumentó de 16% del total mundial en 1990 a 30% hoy. El mercado de bienes, insumos y servicios para minería en Chile asciende a US\$20.000 millones⁵ (Fundación Chile, 2015). Por esto, se ha planteado críticamente ¿cómo es posible que en 25 años de acelerada expansión cuprífera Chile no haya podido insertarse en las cadenas globales de valor de los insumos y servicios asociados a la minería del cobre? Si el 30% de la producción y de las reservas cupríferas está en Chile, el 30% de I&D y el 30% de la maquinaria y equipos para la minería debieran producirse aquí (Meller & Gana, 2015a).

En otras palabras, el gran sector de producción de minería existente constituye un importante mercado interno que podría ser la base para desarrollar un sector de exportaciones de los requerimientos de insumos y de servicios profesionales (ingeniería) para actividades mineras. Esto implicaría imitar varios clústeres mineros relevantes (con encadenamientos hacia atrás), tales como el localizado en el norte de Ontario, en Canadá (Robinson, 2006), y de Bothan, en Escandinavia (Noras, 2009). Pero, como se señaló previamente, el modelo de las METS australianas es el más relevante para Chile⁶.

Promover la formación de clústeres en torno a los RRNN puede constituir una adecuada y promisorio estrategia de desarrollo para Chile, pues implica aprovechar las ventajas comparativas existentes. Además, el éxito de las METS australianas sugiere un mecanismo de diversificación de la canasta exportadora más allá de los RRNN. Este programa de proveedores es replicable para otros RRNN distintos a la minería, como la pesca, forestal, fruta e incluso el vino. Los diferentes tipos de RRNN están concentrados en Chile en regiones específicas. En consecuencia, la formación de clústeres en torno a los RRNN constituiría un mecanismo para lograr el desarrollo regional. La generación de innovaciones específicas ligadas a los diversos RRNN produciría innovaciones que estimularían la diversificación y la expansión de las exportaciones, que configurarían un motor de crecimiento regional y nacional.

⁵ En las faenas mineras existen 1.600 camiones operativos; los más grandes valen US\$5 millones cada uno. Por algo Exponor es la segunda feria mundial en maquinaria y equipos para la minería.

⁶ Las METS consideran tanto las firmas proveedoras de servicios (mantención de equipos especializados y componentes), de softwares orientados a la actividad minera, consultorías, servicios de ingeniería, etc. Ver Austmine (2013) y Scott-Kemmis (2013) para más detalles sobre la clasificación de las METS.

PROGRAMA DE DESARROLLO DE PROVEEDORES DE CLASE MUNDIAL (PPCM)

Se proporcionará una descripción sintética del PPCM⁷. Cabe señalar que el PPCM nace el año 2008 como una iniciativa de BHP Billiton, una empresa privada. Inicialmente, el sector público no participa del Programa, hasta la incorporación de Codelco el año 2010. Hoy a estos dos actores se suma Fundación Chile (entidad público-privada que promueve la innovación), la que actúa como ente intermedio entre proveedores y empresas mineras, enfocándose en la selección de proveedores y en el desarrollo de capacidades en estos. Recientemente, este Programa cuenta desde el Estado con la participación de la Corporación de Fomento de la Producción (Corfo) y el Ministerio de Minería.

El objetivo del PPCM es “resolver desafíos concretos de las compañías mineras, en conjunto con proveedores que ambicionen y tengan el potencial de transformarse en empresas de ‘clase mundial’ y cuyas propuestas de solución aporten valor al negocio” (Fundación Chile, 2012). Las empresas de clase mundial estarían definidas como: “Empresas caracterizadas por la capacidad de exportar productos y servicios intensivos en tecnología y conocimientos a otros sectores de la economía chilena y al mundo” (Fundación Chile, 2012). Para operacionalizar este concepto se ha sugerido que los proveedores de clase mundial son “proveedores que hayan exportado bienes y servicios por más de 1 millón de dólares por 3 años o más” (Fundación Chile, 2016).

En breve, el objetivo del PPCM sería desarrollar un sector de proveedores mineros con un alto potencial exportador; reiterando las expectativas, el Programa aspira a contar con 250 empresas de clase mundial al año 2035 y que las

⁷ Ver Fundación Chile, 2012; Korinek, 2013; Bravo-Ortega y Muñoz, 2015; Urzúa, *et al.*, 2016) para mayores detalles.

exportaciones de este sector alcancen los US\$4.000 millones (Fundación Chile; Roadmap Tecnológico 2015-2035, 2016).

Las principales potencialidades del Programa serían las siguientes⁸:

Beneficios para el proveedor: (i) Incorporar a su cartera productos o servicios innovadores demandados por la industria. (ii) Desarrollar su gestión de negocios. (iii) Desarrollar capacidades en conjunto con la compañía minera, fortaleciendo vínculos.

Beneficios para la compañía minera: (i) Generar mejoras y soluciones de alto valor a problemas históricamente no resueltos. (ii) Generar valor económico a la compañía (reducción de costos, continuidad operacional, aumento de productividad, etc.). (iii) Aportar al desarrollo país mediante la generación de nuevas capacidades innovadoras en proveedores.

A noviembre de 2016 en el PPCM se han incluido 104 iniciativas, en las cuales han participado 83 empresas⁹. El PPCM ha sido reestructurado y desde el 2017 en adelante está planteado sobre la base del desarrollo de una plataforma de innovación abierta para la minería, gestionada por Fundación Chile; los roles de los principales participantes serían los siguientes (Corfo y Fundación Chile, 2016-2017):

Compañías mineras: (i) Identificar y priorizar desafíos; (ii) evaluación de ofertas atractivas; (iii) brindar espacios de prueba; (iv) designar equipo para el proyecto; (v) hacer seguimiento al desarrollo de la solución; (vi) brindar oportunidades de escalamiento.

Proveedores: (i) Generar ofertas atractivas (solución/modelo de negocio); (ii) llevar a cabo el proyecto exitosamente; (iii) invertir en escalamiento; (iv) seguir desarrollando la solución.

Fundación Chile: (i) Disminuir costos de transacción de los procesos asociados al Programa; (ii) apoyar el desarrollo de proyectos; (iii) hacer preselección de proveedores por proyecto; (iv) facilitar la integración ordenada de otras organizaciones; (v) generar escala.

⁸ Sobre la base de Fundación Chile (2012).

⁹ Cifras según información contenida en la página de Fundación Chile (noviembre 2016).

MARCO TEÓRICO PARA LA INNOVACIÓN EN LOS PROVEEDORES DE LA MINERÍA EN CHILE

FUNDAMENTOS EMPÍRICOS PARA LA INNOVACIÓN EN PROVEEDORES MINEROS¹⁰

En los últimos años la industria minera a nivel mundial ha experimentado un importante proceso de “rejuvenecimiento” tecnológico y, a la vez, muchos procesos innovadores que antes eran internos a las grandes mineras han sido subcontratados a proveedores independientes. El surgimiento de proveedores de la minería intensivos en tecnología ha ido creciendo a través de los años, dando paso a la internacionalización de algunas de estas compañías; ejemplo de esto son empresas australianas, canadienses y sudafricanas, con una importante presencia internacional. El caso chileno, por su parte, muestra un sector de proveedores mineros bastante numeroso en el plano local, pero con escasa capacidad exportadora (Urzúa, 2012).

Numerosos estudios plantean que la industria minera enfrenta y enfrentará una mayor complejidad productiva, ambiental y social. Para afrontar el deterioro de la productividad asociada a estas nuevas complejidades (disminución de las leyes de los yacimientos, minería subterránea más profunda, incremento de la complejidad de los minerales, presiones por reducir el impacto ambiental, etc.; ver Fundación Chile (2016)) será necesario el desarrollo y uso de nuevas capacidades en el proceso productivo. Esta relación entre el surgimiento de nuevas complejidades y el desarrollo de nuevas capacidades para enfrentarlas permitiría “convertir el recurso natural en capital social” (aplicable a otras áreas), ver siguiente figura:

¹⁰ Parte importante de esta sección está basada en Urzúa (2012) y Urzúa (2016); Urzúa, Wood, Iizuka, Vargas, & Bauman (2016).

FIGURA 1
CONSTRUCCIÓN DE NUEVAS CAPACIDADES A PARTIR DE NUEVOS DESAFÍOS



Fuente: Reproducido de Urzúa (2016).

Las empresas mineras chilenas afrontan en el corto y mediano plazo tres fenómenos que afectan su competitividad y sustentabilidad: (i) Gran varianza en el precio internacional del cobre; (ii) aumento de los costos productivos (ley del mineral, salarios, energía); (iii) crecientes demandas ambientales y sociales. En el Anexo 1 se observan las dinámicas experimentadas por la ley y el precio del cobre en Chile. Estos factores tienen efectos contrapuestos sobre programas de las características del PPCM; por un lado, al requerirse mayor competitividad las soluciones innovadoras debiesen adquirir más relevancia; mientras que, por otro lado, las prioridades dentro de las compañías mineras cambian, pues están orientadas a la minimización de costos, lo que afecta a los proveedores.

Respecto a los desafíos para responder a estas crecientes complejidades, Urzúa (2016) divide en tres dominios las actividades de desarrollo productivas y tecnológicas para el sector: (i) Proyectos de estabilidad operacional y de costos (proceso de mejora continua). (ii) Proyectos de innovación incremental y de diseño e ingeniería avanzados. (iii) Proyectos de innovación disruptiva.

Los dominios antes descritos siguen un patrón incremental en cuanto a las capacidades y esfuerzos necesarios para su desarrollo y, por lo tanto, los retornos exigidos a cada tipo de iniciativas debiesen seguir la misma distribución.

Desde la perspectiva de las empresas mineras, lo lógico sería externalizar las soluciones que no sea rentable realizar internamente, ya que su impacto no alcanza a compensar los esfuerzos necesarios para llevarlas a cabo. Es en ese segmento en que los proveedores adquieren relevancia, puesto que estos sí pueden tener los incentivos para realizarlas, dado que su retorno no solo está determinado por el rendimiento de la solución desarrollada en las instalaciones del demandante, sino también por la posibilidad de vender esta solución a otros clientes. El primer segmento ya estaría cubierto por una importante cantidad de proveedores que desarrollan actividades de baja intensidad tecnológica, mientras que el tercer segmento de proyectos es desarrollado, en la mayoría de los casos, de manera interna por las mineras o por grandes empresas proveedoras internacionales. Entonces, el foco de las empresas participantes en el PPCM estaría en la segunda categoría de actividades (proyectos de innovación incremental y de diseño e ingeniería avanzados).

La Tabla 3 muestra la composición y los montos asociados al gasto en bienes y servicios de las mineras chilenas¹¹ para el año 2014. Los servicios de mantención y reparación representan un 15,2% de los gastos en bienes y servicios operacionales en las mineras, llegando a un total de US\$2.277 millones. Esto constituye una importante posibilidad de desarrollo de tecnologías que: (i) Monitoreen el funcionamiento en tiempo real de los diversos componentes utilizados en las faenas; (ii) adapten las tecnologías a las condiciones específicas de cada operación (causa importante en las fallas de maquinarias y equipos).

¹¹ Los montos fueron calculados sobre la base de un catastro realizado por Cochilco que incluye 18 operaciones mineras, que en conjunto representan el 85% de la producción de cobre y el 17% de la producción de oro en Chile el 2014.

TABLA 3
DISTRIBUCIÓN DE GASTOS EN BIENES Y SERVICIOS EN OPERACIONES MINERAS EN CHILE 2014 (US\$ MILLONES Y %)

Categoría	US\$ MM	%
Compras, contratos y arriendos	4.654	31,0%
Servicios varios	3.828	25,5%
Servicios de mantención y reparación	2.277	15,2%
Servicios de transportes y comunicacionales	687	4,6%
Construcción y montajes	254	1,7%
Asesorías	156	1,0%
Estudios y evaluaciones	81	0,5%
Energía y combustibles	3.082	20,5%
TOTAL	15.018	100%

Fuente: Comisión Nacional de Productividad y Fundación Chile (2016).

Dentro de las motivaciones que tienen las empresas proveedoras para desarrollar este tipo de proyectos no solo está el retorno económico directo, a corto y mediano plazo, sino que también el aprendizaje tecnológico, establecimiento de redes de contactos con grandes clientes (otras faenas de grandes mineras, tanto en el plano local como internacional), diferenciación y validación del producto o servicio proporcionado, etc.

Por otra parte, las motivaciones de las compañías mineras para apoyar y promover el PPCM debieran ir mucho más allá de la RSE (responsabilidad social empresarial) y/o de la preocupación (filantrópica) de la generación de capacidad innovadora en Chile. En efecto, de acuerdo a la estructura de gastos en bienes y servicios de una compañía minera, presente en la Tabla 3, los gastos en mantención y reparación ascienden al 15,2% del total de gastos en bienes y servicios, lo que es análogo a decir que representan un 13% del gasto operacional de las compañías mineras¹². De acuerdo al efecto observado en innovaciones tecnológicas asociadas a procesos de mantención preventiva desarrolladas por algunas

¹² El gasto en remuneraciones directas es un 14% del total del gasto operacional de las compañías mineras (Escuela de Negocios Mineros, Universidad Católica del Norte, 2015); al incluir este porcentaje dentro de los gastos operativos, el gasto en servicios de mantención y reparación baja de un 15,2% a un 13%.

empresas proveedoras¹³, podría haber un impacto en la disminución de los costos de mantenimiento y reparación superior al 25%. En consecuencia, el efecto de la incorporación de los proveedores sobre el total de los gastos operacionales podría generar una disminución que fluctuaría entre el 2% y el 4%. Estos porcentajes no incluyen reducciones de costos asociados al tiempo de detención de la maquinaria y del proceso productivo, y adicionalmente, a los ahorros en gastos de energía y combustibles que generarían las innovaciones.

En resumen, la innovación generada por los proveedores no es de naturaleza disruptiva, sino que es incremental; aun así, las compañías mineras podrían alcanzar una disminución potencial de los gastos operacionales en torno al 2% y al 4% del total.

¹³ Aumento de vida útil de neumáticos en un 48% (Bailac); aumento de vida útil de cable de pala en un 40% (Prodinsa); disminución en un 47% de las fallas de borde plástico (Polymeros); ver Meller y Gana (2015a).

FUNDAMENTOS CONCEPTUALES PARA LA APLICACIÓN DEL PPCM

Como se señaló anteriormente, existe el propósito de la generación de capacidades en los proveedores locales con la finalidad de establecer en estos las competencias necesarias para la innovación (y eventualmente traspasar esto a nuevos mercados y sectores); esto responde a la creciente complejización de la actividad minera, la que por sus características requiere soluciones innovadoras y locales específicas.

Von Hippel (1994) plantea que para innovar se requieren dos factores: (i) Información relevante sobre la innovación (generalmente *sticky information*¹⁴); (ii) capacidades para solucionar problemas y desarrollar soluciones. Ambos ítems no necesariamente se encuentran en un mismo lugar o entidad, por lo que la distribución y características de ambos factores determinarán dónde y cómo se desarrolla el proceso innovador.

El concepto de *sticky information* es atribuible a la dificultad de codificar, transferir, interpretar e internalizar, de manera utilizable por el receptor, la información relevante para la innovación. Las características del buscador y del generador de la información también influyen en este proceso, puesto que el costo de la transacción depende también de las particularidades de estos. Mientras mayor es el gasto incremental de transferir una unidad de información en un instante dado en una forma utilizable por un “buscador de información”, más *sticky* es la información (Von Hippel, 1994).

La información puede ser *sticky* por: (i) La naturaleza misma de la información; (ii) cantidad de información a transferir; (iii) características de los buscadores y compradores de la información.

Uno de los roles de Fundación Chile es servir de nexo entre las entidades que plantean las necesidades a resolver y que tienen información relevante sobre las innovaciones requeridas (compañías mineras) y las empresas con las capacidades necesarias –o con la potencialidad de desarrollarlas– para resolverlas (proveedores mineros). Las soluciones innovadoras adecuadas requerirían una perspectiva colaborativa, ya que se necesita la experiencia y el conocimiento de las particularidades de las faenas que poseen las grandes mineras y la capacidad de generación de soluciones innovadoras que debieran tener los proveedores.

Como se mencionó anteriormente, en el caso de las operaciones mineras, muchos de los requerimientos estarían ligados a la necesidad de adaptación de los procesos y maquinarias a las realidades y problemáticas locales. Soluciones

¹⁴ Una traducción posible sería “información engorrosa” o “información viscosa”.

vía adaptación o modificación de los procesos y bienes de capital utilizados responderían a estas problemáticas (innovaciones incrementales). El PPCM muestra varios ejemplos interesantes de generación de soluciones innovadoras para la minería (Fundación Chile-Phibrand, 2016); sin embargo, a nivel agregado, las cifras muestran un sector no muy promisorio, sobre todo al revisar el valor de las exportaciones efectuadas por los proveedores mineros chilenos.

En síntesis, el enfoque de Von Hippel (1994) plantea dos dilemas que debieran superar los proveedores innovadores: (i) Tener información propicia y eficaz sobre el problema a resolver; (ii) tener la capacidad tecnológica para generar la innovación adecuada.

Para examinar este último aspecto veremos a continuación una caracterización de los proveedores de la minería chilena.

CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR PROVEEDORES DE LA MINERÍA EN CHILE

El sector de proveedores de la minería en Chile cuenta con aproximadamente 4.500 empresas con ventas totales anuales de US\$20.000 millones (Fundación Chile, 2014; Fundación Chile, 2015).

A continuación, la Tabla 4 presenta una caracterización general de los bienes y servicios generados por los proveedores, diferenciando por tipo de producto y por etapa productiva asociada. En la fila superior se encuentran los bienes y servicios enfocados en la inversión y etapas previas a la operación de la mina; en relación con los bienes y servicios requeridos para la operación de estas están presentes en el extremo inferior de la tabla. La distinción entre bienes y servicios se realiza por columnas, estando los primeros en la parte izquierda de la tabla, divididos entre bienes de capital e insumos mineros.

TABLA 4
CLASIFICACIÓN DE BIENES Y SERVICIOS BRINDADOS POR PROVEEDORES
DE LA MINERÍA

Bien/Servicio	Categorías de proveedores y ejemplos de bienes/servicios			
	Consultores de servicios intensivos en tecnología	Contratistas de servicios especializados	Proveedores de bienes de capital y maquinaria	Proveedores de insumos
Bienes y servicios enfocados en inversión	<ul style="list-style-type: none"> -Servicios de exploración -Gestión y estudios de inversión-Servicios de ingeniería, tales como: Planificación de operaciones, diseño de procesos e ingeniería metalúrgica -Cierre de operaciones, diseño de recuperación y manejo medioambiental 	<ul style="list-style-type: none"> -Servicios de construcción -Construcción subterránea (túneles) -Construcción de túneles verticales -Servicios de perforación -Servicios de muestreo 	<ul style="list-style-type: none"> -Maquinaria pesada y equipos: Molinos, chancadoras, equipos de fundición 	
Bienes y servicios enfocados en operación minera	<ul style="list-style-type: none"> -Automatización y optimización de procesos -Ingeniería de tronaduras -Adaptación de equipos -Mantenimiento y reparación de equipos -Pruebas geológicas -Análisis metalúrgicos 	<ul style="list-style-type: none"> -Servicios de perforación -Servicios de laboratorios -Manejo de minerales -Procesamiento de minerales -Monitoreo ambiental -Operación y manejo de relaves 	<ul style="list-style-type: none"> -Maquinaria y equipamiento liviano -Reparación y reemplazo de partes -Equipos de perforación -Equipos de ventilación -Excavadoras -Equipos electrónicos -Motores y generadores -Camiones 	<ul style="list-style-type: none"> -Explosivos y accesorios para tronaduras -Productos químicos -Abrasivos -Ácidos -Brocas -Neumáticos

Fuente: Urzúa (2012) y Bravo-Ortega y Muñoz (2015).

Remitiéndonos a las exportaciones de proveedores de la minería en Chile (Fundación Chile, 2015), la mayoría de las exportaciones de bienes se centraría en el cuadrante inferior derecho de la Tabla 4: Bolas, partes para máquinas y aparatos para molienda (25,5%)¹⁵; nitrato de amonio (21,9%); partes moldeadas, tornillos y pernos de hierro y acero (8%). Por el lado de los servicios, la gran mayoría de las

¹⁵ Cifras representan el porcentaje del total de exportaciones de bienes y servicios exportados por proveedores mineros chilenos (537 millones de dólares).

exportaciones pertenece al cuadrante superior izquierdo de la Tabla 4: Servicios de diseño y asesoría en ingeniería para instalaciones de la minería (15,6%). Sobre la base de estas cifras se puede apreciar que las exportaciones de los proveedores de la minería se concentran mayoritariamente en bienes de baja y mediana sofisticación tecnológica.

En la Tabla 5 se observa la evolución del número de empresas exportadoras y del monto de las exportaciones de los proveedores de la minería en Chile. Ambas cifras no muestran una tendencia clara desde el 2010 hasta el 2014 y en el caso de los montos exportados parecen estar influenciados de una manera importante por las variaciones del precio del cobre. El ratio exportaciones/ventas es bastante bajo (2,7%).

TABLA 5
EXPORTACIONES DE PROVEEDORES DE LA MINERÍA EN CHILE

	2010	2011	2012	2013	2014
Monto FOB exportado (Millones de US\$)	503	649	654	572	537
Número de empresas exportadoras	308	310	345	324	329

Fuente: Fundación Chile (2015).

Respecto a la concentración de las exportaciones, los datos muestran que tres empresas representan un 51% del monto exportado y que el 87% de las empresas exporta menos de US\$1.000.000 (el monto conjunto de sus exportaciones es solo el 8% del total). Hay solo cinco empresas que exportan anualmente más de US\$25 millones y el principal destino de las exportaciones es AL, con un 87% del total.

El sector exportador de los proveedores de la minería se ve altamente concentrado, a nivel de empresas participantes y también de bienes y servicios exportados.

TABLA 6
EXPORTACIONES DE PROVEEDORES DE LA MINERÍA EN CHILE SEGÚN TAMAÑO

	Empresas		Monto exportado	
	Nº	% del total	US\$ MM	% del total
Exportan más de US\$50 MM	3	1%	275	51%
Exportan entre US\$25 MM y US\$50 MM	2	1%	53	10%
Exportan entre US\$1 MM y US\$25 MM	39	12%	165	31%
Exportan menos de US\$1 MM	285	86%	44	8%
Total	329	100%	537	100%

Fuente: Fundación Chile (2015).

Veamos ahora la evidencia respecto a la actividad innovadora de los proveedores de la minería en Chile. Para este efecto se utilizará una encuesta de información cualitativa (autorreportada por las empresas). La innovación en los proveedores de la minería chilena es mayor que en el total de las empresas chilenas. La Tabla 7 presenta el porcentaje de empresas que declaró haber efectuado innovación el año 2012; las cifras corresponden a empresas proveedoras de la minería y a empresas chilenas en general. Se observa que el sector proveedores de la minería posee un porcentaje de empresas que declaran haber innovado mucho mayor que el promedio nacional. Destaca la innovación en producto, en donde los proveedores de la minería poseen un porcentaje cinco veces mayor de empresas innovadoras respecto al total país.

TABLA 7
PORCENTAJE DE EMPRESAS QUE INNOVÓ AÑO 2012

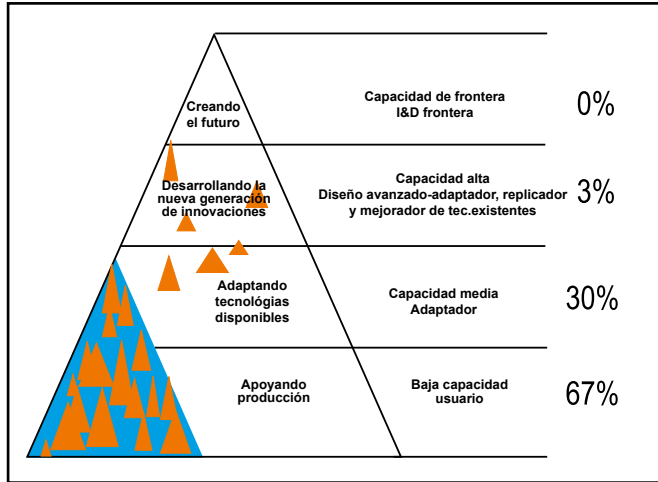
Sector/Tipo de Innovación	Producto	Proceso	Organización	Marketing
Proveedores de la minería	60%	41%	51%	31%
Promedio país	12%	16%	14%	10%

Fuente: Fundación Chile (2014).

En cuanto a quién genera la innovación, dentro de los proveedores mineros que declararon haber innovado en producto y/o proceso, un 50% declaró desarrollar la innovación de manera interna en ambas categorías; las empresas que declararon haber adaptado tecnologías fueron un 28% en innovación de producto y 20% en innovación de proceso.

En líneas generales, se observa que el sector de proveedores de la minería tendría una mayor intensidad innovadora que el resto de la economía; sin embargo, esto no se traduce en potencial exportador. Una posible explicación surge al analizar los tipos de innovación realizada o las capacidades tecnológicas que presentan las empresas de esta industria, exhibidas en la Figura 2. Se cree que la innovación y la exportación están ligadas; pero la causalidad entre ambas no es directa y las capacidades necesarias para cada proceso son distintas.

FIGURA 2
 CAPABILIDADES INNOVADORAS EN PROVEEDORES DE LA MINERÍA EN CHILE (2009)



Fuente: Reproducido de IPSOS (2009), Bravo-Ortega y Muñoz (2015).

La Figura 2 muestra el nivel de capacidad innovadora de las empresas proveedoras de la minería en Chile. Es posible apreciar que la gran mayoría de las empresas proveedoras de la minería posee baja capacidad tecnológica y solo posee capacidad productiva, siendo algunas adaptadoras de tecnologías y muy pocas “mejoradoras” de tecnologías existentes. Respecto a las empresas con capacidad de frontera, Bravo-Ortega y Muñoz (2015) establecen que no existen empresas proveedoras de la minería en Chile con esas características.

En síntesis, a nivel empírico y conceptual el sector de proveedores de la minería en Chile poseería potencialidades para el desarrollo innovador y exportador; sin embargo, estas no se han materializado hasta el momento. Esto constituye el tópico central que habría que explicar.

EL SECTOR DE PROVEEDORES DE LA MINERÍA AUSTRALIANO (METS)¹⁶

La teoría y el potencial desarrollo del sector de proveedores mineros en Chile se basan en la experiencia australiana, por lo que un análisis comparativo de ambos procesos es útil para ver las limitantes del caso chileno.

El caso australiano ha sido sugerido como un modelo a imitar por los proveedores locales chilenos, pero hasta el momento los METS australianos son más una muestra bastante distante de la potencialidad que podría tener el sector en Chile. Una comparación general de los proveedores de ambos países se proporciona en la Tabla 8:

TABLA 8
PRINCIPALES INDICADORES DE PROVEEDORES DE LA MINERÍA EN AUSTRALIA Y CHILE (CIRCA 2012)

Ítem/País	Australia	Chile
Ventas	90.000	20.000
Exportaciones totales	12.500	654
Exportación como proporción de exportaciones del sector minero	13,3%	1,7%
Número de empresas	1.500	5.988
Porcentaje de empresas de propiedad nacional	84%	n.d
Porcentaje de empresas que realizan exportaciones	50%	1%
Empresas exportadoras cuyas X superan el 10% de ventas totales	47%	28%
Edad promedio de las empresas	27	17
Empleo generado por la industria minera	386.000	700.000

Fuente: Meller y Gana (2015b).

Nota 1: En Australia, ventas considera a otros sectores también; ventas en Chile es solo el sector minero. Exportaciones refieren a ventas al exterior vinculadas directamente a minería/US\$ en TC 2012.

Nota 2: Para el caso chileno se contabilizan solo las exportaciones relacionadas a la minería y las empresas que exportan más de US\$1 millón. Para el caso australiano, al no contar con los montos exportados por empresa, se disminuye un 10% el total de empresas exportadoras para corregir por cantidad exportada.

Los METS australianos tienen un nivel de ventas totales 4,5 veces los proveedores mineros chilenos; pero el monto de las exportaciones de los METS australianos es 19 veces las exportaciones de los proveedores mineros chilenos. Si expresamos las exportaciones totales de los proveedores mineros como proporción

¹⁶ Esta sección está basada en Meller y Gana (2015b).

de las exportaciones totales de la minería, la cifra para Australia es 8,3%, mientras que para Chile es 1,7%, lo que sugeriría, en teoría, un importante espacio para el crecimiento de este sector en la economía chilena.

El sector de proveedores mineros australiano es mucho más maduro que el chileno, con una menor cantidad de empresas, pero de mucho mayor tamaño (en promedio, 18 veces el tamaño de las empresas chilenas medido por nivel de ventas), con una edad promedio que es 10 años mayor y con un ratio de exportaciones/ventas totales muy superior.

Al estudiar las diferentes trayectorias mostradas por ambos países, Urzúa (2012) destaca que un proceso importante para el desarrollo exportador de los METS australianos fue la internacionalización de las empresas mineras de ese país. El conocimiento y las relaciones históricas con los proveedores australianos hicieron que las empresas mineras siguieran su relación con ellos en faenas instaladas en otros países, siendo este un factor central para el desarrollo de capacidades y potencial exportador en los METS australianos.

Las condiciones y las grandes cantidades de reservas minerales en Chile han inducido a que las mineras chilenas se queden operando en el país; además, desde 1990 ha habido significativas inversiones extranjeras en Chile, lo cual ha implicado que casi el 60% de la producción cuprífera chilena corresponda a importantes mineras internacionales. Este proceso es distinto al australiano, pero genera las mismas potencialidades, puesto que los proveedores tienen la posibilidad de validarse y establecer vínculos ante empresas con presencia mundial, lo que también genera potencial exportador (Meller & Gana, 2015b).

Una importante diferencia entre los modelos de desarrollo de los proveedores mineros en ambos países ha sido el rol de las compañías mineras privadas y del Estado en la innovación y la institucionalidad ligada a esta. En Australia no solo se observa un mayor gasto en I&D, sino que el rol y los modelos de financiamiento de los Cooperative Research Centers (CRC)¹⁷ y de CSIRO¹⁸ han sido vitales. El aporte basal proporcionado por el Estado a estas instituciones no solo ha sido importante en términos monetarios, sino que ha sido por períodos prolongados de tiempo (más de 25 años), permitiendo el desarrollo de los mismos. Por su parte, el aporte privado a estas instituciones representa alrededor del 70% del financiamiento de los CRC y un 40% de CSIRO. En términos monetarios, los CRC han recibido desde 1991 un monto acumulado

¹⁷ Los CRC son consorcios de I&D con financiamiento público basal que, a la vez, apalancan recursos privados. Son un instrumento de política vertical, puesto que priorizan ciertos sectores productivos. En ellos participan empresas, universidades, institutos de investigación y el gobierno.

¹⁸ Agencia gubernamental para la innovación, líder en Australia.

de más de AUS\$4.000 millones de financiamiento público basal; a este monto se suman más de AUS\$12.300 millones de financiamiento en dinero y equivalentes por parte de los participantes; respecto a CSIRO, este recibió AUS\$778 millones de financiamiento estatal solo para su funcionamiento en el período 2013-2014. El cofinanciamiento de estas entidades no solo es central para la sostenibilidad futura de las mismas, sino también para establecer el foco de las problemáticas abordadas por ellas, y la relevancia de estas para el sector productivo.

El monto de recursos que Australia gasta en I&D específicamente orientada a la minería supera los US\$500 millones anuales y en algunos años ha duplicado esa cifra; parte importante favorece a los METS. El monto equivalente para la I&D de los proveedores chilenos ni siquiera alcanza el 5% de esa cifra. ¿Y con ese nivel de recursos se proyecta exportaciones de los proveedores por US\$4.000 millones?

FACTORES INHIBIDORES DE LA INNOVACIÓN EN EL PPCM

1. EVIDENCIA EMPÍRICA DEL PPCM

La Tabla 9 presenta los resultados generales del PPCM para el período 2010-2015; el análisis incorpora las 114 iniciativas de las que se tiene información, de las cuales 80 han tenido lugar en BHP Billiton y 34 en Codelco. Para este grupo, 14 proyectos han escalado hasta el momento, lo que representa un 12% del total.

TABLA 9
CARTERA DE PROYECTOS DEL PPCM 2010-2015 POR ESTADO

Estado del proyecto	N	% del total
Cancelado/terminado	76	67
Vigentes	24	21
Escalados	14	12
Total	114	100

Fuente: Elaboración sobre la base de información proporcionada por Fundación Chile, Codelco y BHP Billiton.

Para el siguiente ejercicio se utiliza una muestra compuesta por todos los proyectos en Minera Escondida (dependencia de BHP Billiton) con información completa (37 proyectos); en la Tabla 10 se observa el tiempo promedio por etapa de los proyectos aquí analizados y también el número de iniciativas que pasaron de una etapa a otra¹⁹. De las cifras se infiere que una etapa particularmente crítica es el paso desde la definición al escalamiento, debido a las dificultades y capacidades que se requieren para generar un modelo que funcione a escala industrial y bajo los estándares operativos de las mineras. Llama la atención el importante lapso que demora un proyecto promedio en desarrollarse; este factor es de alto impacto, sobre todo si se incorporan limitaciones o problemas para el acceso a financiamiento de las pymes.

¹⁹ La descripción de cada etapa se encuentra en el Anexo 2.

TABLA 10

TIEMPO PROMEDIO POR ETAPA EN PROYECTOS PARTICIPANTES EN EL PPCM

Etapa	Caracterización	I&D	Ingeniería	Definición	Escalamiento	Implementado	Total
Tiempo (años)	0,5	1,5	1,3	1,7	0,5	-	5,5
Nº	37	37	23	14	7	5	37

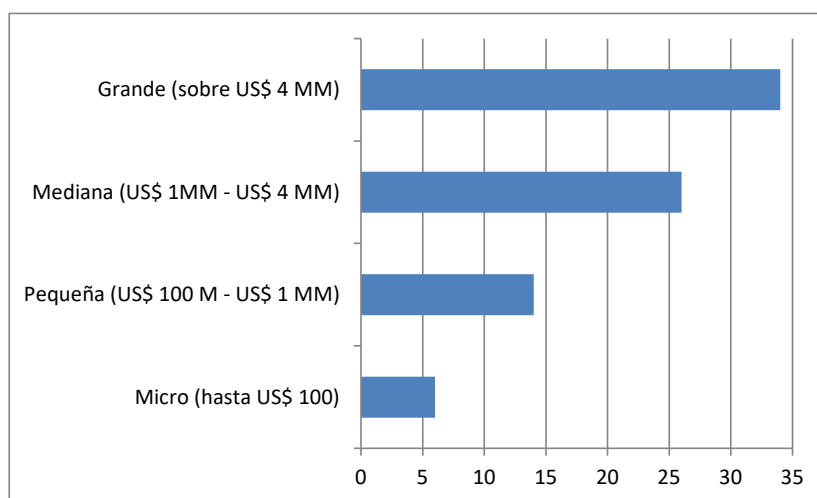
Fuente: Elaborado sobre la base de información de BHP Billiton.

Nota: La información es obtenida a partir del análisis de 37 proyectos participantes en el PPCM en Minería Escondida.

El Gráfico 1 presenta el número de empresas por nivel de ventas en el subconjunto de proveedores participantes con BHP Billiton; se aprecia una clara tendencia al alza en la participación en el Programa a medida que aumenta el tamaño de las empresas; sin embargo, a pesar de esta tendencia, las pymes representan el 50% de las empresas participantes en el Programa para esta muestra. Esto realza la importancia del estudio de las brechas y limitantes particulares de este segmento.

GRÁFICO 1

NÚMERO DE EMPRESAS PARTICIPANTES EN EL PPCM SEGÚN NIVEL DE VENTAS²⁰



Fuente: Elaborado sobre la base de información de BHP Billiton.

Nota: El ejercicio es realizado sobre empresas con información completa, tomando su nivel de ventas al año 2013.

²⁰ Los niveles de ventas son: Grande: sobre 100.000 UF; Mediana: desde 25.000 UF hasta 100.000 UF; Pequeña: desde 2.400 UF hasta 25.000 UF; Micro: hasta 2.400 UF.

Sobre la tipología de proyectos efectuados, de los 34 proyectos con información de Codelco, 20 (59%) son de sustentabilidad, 7 (20%) con foco en productividad y 7(20%) con foco en costos. Se observa sobre esta muestra que la mayoría de las iniciativas tienen que ver con medidas HSEC (Health/Safety/Environment/Community) y no con cambios cuyo foco central sean los costos o la productividad. El aporte de los proyectos de los proveedores es percibido como limitado o marginal, lo que genera problemas de posicionamiento para poder optar a participar en la generación de soluciones a problemáticas más relevantes o ambiciosas (Cesco - Fundación Chile, 2014). Sobre la base de la información proporcionada, los proyectos de la cartera de Codelco son descritos como de bajo impacto económico; respecto a la valoración de las iniciativas escaladas en BHP, se estima –utilizando el costo de los “problemas” identificados– que los proyectos escalados han reportado beneficios en promedio de US\$1 millón por iniciativa.

Respecto a las principales causas de falla (cancelación) de los proyectos del PPCM²¹, serían las siguientes:

- a) Problemas de proveedores: (i) Incumplimiento técnico (23%); problemas financieros (14%); modelo de negocios no viable (11%).
- b) Problemas interactivos entre proveedores y compañías mineras: (i) Falta de comunicación (23%); cambio en las necesidades del negocio (16%).

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES INHIBIDORES

a) Capital humano y capacidad tecnológica

Retomando el ejercicio comparativo entre Australia y Chile, la Tabla 11 presenta los principales indicadores de I&D y de capital humano calificado para ambas economías. En relación con el primer tópico, el gasto total en I&D como porcentaje del PIB australiano es 7 veces mayor que el chileno. La composición del gasto en I&D también muestra importantes diferencias entre ambas economías; el sector privado en la economía australiana tiene un rol mucho más importante que en Chile en el gasto en I&D. El indicador más relevante de este primer conjunto son los dólares gastados en I&D en las empresas productivas por trabajador empleado²². En este tópico ambas economías tienen indicadores de un

²¹ Ejercicio realizado sobre 44 proyectos de proveedores del Programa cancelados en BHP.

²² El indicador más utilizado para ver el esfuerzo innovador en una economía es el gasto en I&D como porcentaje del PIB; sin embargo en un mundo globalizado las empresas compiten

orden de magnitud totalmente distinto, las empresas australianas gastan en I&D más de 25 veces lo que gastan las empresas chilenas por trabajador empleado.

En relación con las cifras de capital humano calificado presentadas en la Tabla 11, Australia posee 17 veces la cantidad de investigadores con que cuenta Chile, diferencia que se hace aún más significativa en el sector privado, donde los investigadores en Australia son casi 30 veces más que los que hay en Chile.

Ambos factores (gasto en I&D y capital humano calificado) son dos importantes cuellos de botella para la economía chilena en el plano tecnológico, volviéndose aún más críticos al incorporar al análisis el débil rol del sector privado en I&D e incorporación de capital humano calificado. Cabe señalar que las cifras aquí abordadas subestiman las diferencias entre las condiciones en que se desenvuelven los sectores de proveedores de la minería en ambos países. Esto se debe a que los METS australianos son mucho más intensivos –de manera relativa al país– en el uso y la generación de tecnología que el sector de proveedores mineros chileno, por lo que un análisis comparativo de ambos sectores probablemente proporcionaría diferencias todavía más significativas.

TABLA 11
PRINCIPALES INDICADORES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (2010*)

	Australia	Chile
Gasto en I&D (% PIB)	2,2%	0,3%
Gasto Privado en I&D (% I&D total)	61,1%	29,6%
Gasto Universidades en I&D (% I&D total)	24,2%	38,5%
Gasto Público en I&D (% I&D total)	12,1%	3,7%
Gasto Privado sin fines de lucro en I&D (% I&D total)	2,6%	28,2%
Gasto Privado en I&D por trabajador (US\$ PPP)	1.039	39
Número de Investigadores (total)	92.649	5.440
Investigadores en Sector Privado (n°)	36.309	1.298
Investigadores en Sector Público (n°)	8.283	292
Investigadores en Educación Superior (n°)	53.588	3.274

Fuente: OCDE Stats Main Science and Technology Indicators Database.

Notas: Número de Investigadores refiere al equivalente en Jornadas Completas;

*2008 o 2010, último año disponible en caso de Australia.

internacionalmente y el indicador más relevante, en relación al esfuerzo en innovación, son los dólares gastados en I&D en las empresas productivas por trabajador empleado. Ver Meller y Parodi (2016).

La disponibilidad de capital humano calificado es condición necesaria para el desarrollo de sectores intensivos en tecnología; el desarrollo de este tipo de capital humano es lento y requiere de importantes esfuerzos, por lo que una oferta acotada del mismo es un importante cuello de botella para el desarrollo de este tipo de industrias.

Para estudiar el stock actual de capital humano y sus capacidades utilizaremos los resultados de la prueba PIAAC²³ que entrega indicadores sobre las competencias en adultos para un set de países. La Tabla 12 presenta indicadores para tres economías: Australia, Canadá y Chile²⁴. En línea con lo anterior, Chile muestra órdenes de magnitud muy distintos a los dos países seleccionados, tanto en porcentaje de personas con capacidades bajo el mínimo, como en *top performers* para comprensión lectora y razonamiento matemático.

Si utilizamos este ejercicio como una aproximación de la disponibilidad de capital humano calificado, la disparidad de resultados entre los países refleja una de las grandes limitaciones de la economía chilena respecto a los otros países mineros²⁵.

TABLA 12
PORCENTAJE DE ADULTOS POR NIVEL EN PRUEBAS PIAAC

Prueba PIAAC	País/Indicador	% bajo nivel mínimo	% <i>top performers</i>
Comprensión de lectura	Australia	13	17
	Canadá	16	14
	Chile	53	2
Razonamiento matemático	Australia	20	13
	Canadá	22	13
	Chile	62	2

Fuente: OCDE (2017), disponible en <http://www.oecd.org/skills/piaac/>.

Nota: Se ha definido "Bajo el mínimo" como el porcentaje de adultos en o bajo el nivel 1; *top performers* es el porcentaje de adultos en niveles 4 o 5. La descripción de los niveles por prueba se encuentra en el Anexo 4.

²³ Un producto realizado por el Programme for International Assessment of Adult Competencies (PIACC).

²⁴ Se elige Canadá y Australia como comparación por ser líderes a nivel mundial en proveedores de la minería intensivos en tecnología.

²⁵ Un ejercicio análogo con los resultados históricos de la Prueba PISA es presentado en el Anexo 3.

Otro factor fundamental dentro de los determinantes de la innovación a nivel de empresa es la capacidad tecnológica de las mismas²⁶; esta se define como “la habilidad de hacer uso efectivo del conocimiento tecnológico en los ámbitos de producción, ingeniería e innovación; esta capacidad le permite a la firma usar, adaptar y cambiar, la tecnología existente (...) permitiendo también crear nuevas tecnologías en respuesta a un ambiente económico cambiante” (Kim, 1999)²⁷. Como se vio previamente en la Figura 2, las capacidades innovadoras de los proveedores mineros en Chile son más bien bajas, lo que limita la cantidad y complejidad de proyectos existentes.

Al examinar los determinantes –internos a la firma– del desempeño tecnológico/ productivo de estas, encontramos dos factores fundamentales (Dutrénit, 2004; Meller & Parodi, 2016): (i) La estrategia tecnológica utilizada; (ii) la gestión del conocimiento dentro de las firmas. La estrategia tecnológica de las firmas se define como el plan o set de decisiones que guía la acumulación y el desarrollo de los recursos tecnológicos y capacidades por parte de las firmas (Zahra, 1996). Por su parte, la gestión del conocimiento dentro de las firmas dice relación con los procesos de aprendizaje, generación, adquisición y difusión del conocimiento dentro de las firmas.

Ambos factores están determinados de manera importante por la orientación y las capacidades de *management* presentes en la empresa, las que no necesariamente están relacionadas a las capacidades tecnológicas de estas, sobre todo en firmas pequeñas. En este sentido, Cesco y Fundación Chile (2014) plantean que aunque existen compañías proveedoras capaces de innovar y presentar soluciones rentables al mercado, se observan brechas entre las capacidades tecnológicas y las capacidades de gestión de las empresas.

b)Financiamiento

La literatura sobre las barreras para la innovación ha revisado ampliamente el financiamiento como una de las principales restricciones para los procesos innovadores. La evidencia indica que las firmas innovadoras y sobre todo las

²⁶ Para un estudio más detallado de este concepto y su importancia sobre la capacidad innovadora, ver Meller y Parodi (2016).

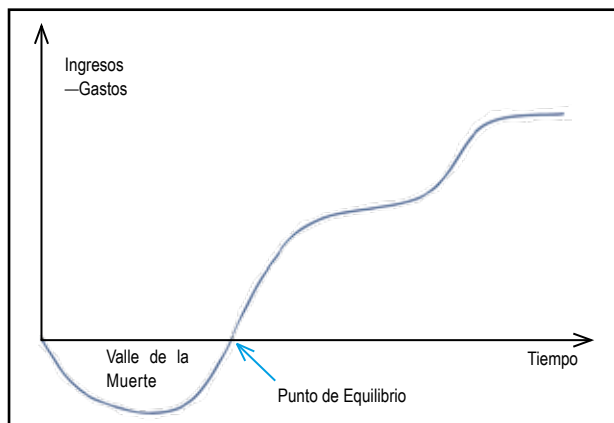
²⁷ Bell (2009) plantea que la capacidad tecnológica se puede dividir en dos componentes centrales: (i) Capacidad productiva: Dice relación con la incorporación de tecnologías existentes a las labores de una compañía. (ii) Capacidad innovadora: Hace referencia a la generación de nueva tecnología. Por su parte, Kim (1997) incorpora a su análisis un tercer tipo de capacidad, denominada “investment capability”, referida a las capacidades y habilidades para realizar estudios previos, a nivel de proyectos y financieros, como también a factores de capacitación relacionados a la adquisición y difusión de habilidades y competencias de diversos tipos, entre otros.

pymes enfrentan altos costos de capital, los que solo son mitigados, en parte, por la existencia de fuentes de capital de riesgo (Hall, 2002). En el caso de las economías en vías de desarrollo el panorama es más complejo aún, ya que en ellas el mercado de capitales suele estar menos desarrollado. Factores relevantes para la falta de financiamiento en este tipo de proyectos serían asimetrías de información, intangibilidad de activos y contratos incompletos (Howell, 2015).

El financiamiento es particularmente importante en las primeras etapas de un negocio o proyecto, donde los ingresos (si es que existen) no alcanzan a compensar los diversos gastos existentes. Es en este contexto donde surge el concepto de “valle de la muerte”; este estaría definido, precisamente, como el período de tiempo en que las nuevas empresas tienen gastos mayores a sus ingresos o, dicho de otra manera, el período de tiempo desde la identificación de una oportunidad hasta el punto de equilibrio financiero (donde los ingresos se igualan con los gastos).

Superar este “valle” está relacionado a un número importante de factores (Echecopar & Musso, 2014), e. g. planificación financiera, acceso a fondos, *timing*²⁸, plan de negocios adecuado, etc. Pero siempre está ligado al acceso a financiamiento para superar las diversas complejidades presentadas en etapas tempranas. Una versión simplificada del esquema del “valle de la muerte” se presenta en la Figura 3.

FIGURA 3
VERSIÓN SIMPLIFICADA DEL “VALLE DE LA MUERTE”



Fuente: Elaboración propia.

²⁸ Hace referencia a la capacidad de identificar cuándo es el momento correcto para tomar diversas decisiones (ampliar escala productiva, entrar a mercados, desarrollo de productos, etc.).

Si incorporamos la información contenida en la Tabla 10, el “valle de la muerte” para los proveedores participantes en el PPCM sería (en promedio) al menos de cinco años y medio. Período de tiempo relevante para empresas que intentan desarrollar una innovación (que por definición es incierta) con capacidades financieras limitadas.

Estudiando las implicancias y determinantes del “valle de la muerte” en los procesos innovadores, Ford *et al.* (2007) plantean que es relevante discutir lo que implica el término “valle”. Este hace alusión a una etapa que es precedida y que –si es superada– será seguida por “cúspides”, si no fuera así, simplemente estaría ligada a la falta de financiamiento de la innovación. Ford *et al.* (2007) consignan que el “valle de la muerte” se presenta de manera heterogénea en las distintas fases del proceso innovador²⁹, siendo particularmente importantes las etapas intermedias de este. Según este estudio, la presencia del “valle de la muerte” sería consecuencia, en parte, de las asimetrías de financiamiento estatal a través de las distintas etapas del proceso innovador. La investigación básica está relativamente mucho más cubierta que otras etapas por herramientas públicas de financiamiento. Por su parte, los fondos privados tienden a estar focalizados en las etapas posteriores del proceso (más cercanas a la comercialización). Esto generaría que después de fases iniciales los proyectos entren a un “valle” –etapas intermedias donde la idea o concepto desarrollado a través de ciencias básicas debe transformarse en un producto comercializable–, dada la escasez de recursos disponibles.

En síntesis, el proceso innovador tendría características particulares que hacen que la dificultad de acceso y las restricciones del financiamiento sean mayores que en otras actividades. Para incorporar las características del sector bajo estudio es necesario reconocer las restricciones propias de las pymes, las que por lo general se profundizan en economías emergentes.

Rojas (2017) detalla las principales barreras para el acceso al financiamiento que muestran las empresas en AL, haciendo énfasis en las condiciones particulares de las pymes. Dentro de las observaciones efectuadas por este estudio se encuentran: (i) Las fuentes de financiamiento que están disponibles para las empresas están determinadas por la etapa de desarrollo en que estas se encuentran (en etapas tempranas el capital propio y fuentes informales son muy relevantes, mientras que las fuentes formales adquieren mayor protagonismo en etapas

²⁹ Ford *et al.* (2007) proponen un esquema simplificado del proceso innovador, dividiéndolo en tres etapas: (i) Investigación básica; (ii) factibilidad técnica/económica; (iii) producción/difusión comercial.

posteriores)³⁰. (ii) El proceso de financiamiento de las pymes es particularmente complejo, debido a asimetrías de información existentes en el mercado –entre los intermediarios financieros y los demandantes de los fondos– y los costos asociados a obtener o a generar dicha información. (iii) Las pymes poseen un mayor grado de informalidad en relación con su manejo gerencial al no tener, por ejemplo, estados financieros auditados, lo que complejiza su análisis como sujeto de crédito u otra forma de financiamiento. Este problema es particularmente difícil en proyectos innovadores, caracterizados por ser complejos, específicos y tener retornos inciertos (Hottenrott & Peters, 2009).

En el caso de los proveedores mineros existen tres puntos particulares que afectan la capacidad de financiamiento de los proyectos innovadores: (i) Inversiones en innovación son a largo plazo (ver Tabla 10). (ii) Los montos involucrados en el desarrollo de la innovación son más altos que en otras industrias. (iii) Falta de políticas públicas a la medida que incorporen las particularidades del sector (Bravo-Ortega & Muñoz, 2015), como las abordadas en los puntos (i) y (ii). Este diagnóstico general se ajusta a la evidencia empírica del sector de proveedores mineros en Chile, en el que se observa una ausencia de fuentes de capital de riesgo interesadas en este tipo de proyectos/empresas (Corfo y Fundación Chile, 2016-2017).

c) Identificación de brechas particulares del sector de proveedores mineros³¹

La literatura convencional identifica una amplia variedad de brechas o barreras para la innovación; sin embargo, dadas las particularidades del sector bajo análisis, es importante incorporar la visión de los participantes en el proceso de innovación de los proveedores de la minería en Chile. En este sentido, el estudio “El sistema de innovación minero en la región de Antofagasta” (Phibrand, 2016) brinda información de utilidad³². Este documento aborda las principales problemáticas identificadas por los participantes relevantes a través de entrevistas semiestructuradas.

³⁰ Rojas (2017) divide el ciclo del negocio en cuatro etapas: Gestación, creación, desarrollo y expansión. Por su parte, las fuentes de financiamiento son divididas en tres tipos: Capital, deuda y fondos no reembolsables; cada una con distintos actores que se distribuyen heterogéneamente en las cuatro etapas del ciclo del negocio.

³¹ Sección basada en Phibrand (2016), Cesco - Fundación Chile (2014) y Bravo-Ortega y Muñoz (2015).

³² Las brechas diagnosticadas para proveedores pymes y compañías mineras se basan en este documento.

Un factor preponderante es la incapacidad de los proveedores de brindar un bien o servicio integral. La demanda de bienes y servicios desde la minería requiere soluciones integrales, lo que en muchas ocasiones supera las capacidades técnicas o el área de conocimiento del proveedor. Otro factor mencionado es la desconfianza en las capacidades técnicas que estos poseen por parte de las compañías mineras. Por otra parte, se señala la dificultad de generar ofertas de valor complejas, en el sentido de que las soluciones muchas veces deben ser diseñadas a la medida y no son fácilmente replicables por el proveedor.

Es importante señalar que a pesar de que las empresas proveedoras tengan las capacidades ingenieriles o técnicas para la conceptualización y generación de una solución viable, “se han observado brechas importantes en las capacidades tecnológicas y de gestión en los proveedores. Del mismo modo, se ha observado que muchos proveedores carecen de las capacidades adecuadas de escalamiento y comercialización de soluciones industriales, lo que constituye una barrera para el desarrollo de innovaciones” (Cesco - Fundación Chile, 2014). Esto limita el crecimiento de empresas con alto conocimiento técnico, pero de baja capacidad de desarrollo de soluciones a escala industrial.

La relación y procesos de compra entre las compañías mineras y los proveedores pymes son descritos como asimétricos (Corfo y Fundación Chile, 2016-2017; Phibrand, 2016), lo que puede desincentivar la búsqueda activa de nuevas innovaciones por parte de los proveedores. Además, tanto proveedores como compañías mineras están acostumbrados a transar bienes y servicios ya desarrollados y bajo esquemas tradicionales. En este contexto, los procesos de innovación colaborativos son mucho más desafiantes que un esquema de intercambio meramente transaccional.

El estudio elaborado por Phibrand (2016) indirectamente identifica las dificultades y costos de generar pruebas a escala industrial; las compañías mineras tienen un importante costo de oportunidad al detener sus operaciones para brindar espacios de prueba a escala real. Esto no solo tiene impacto en las restricciones impuestas en la prueba industrial misma, sino que limita también las posibles pruebas e iteraciones in situ y a escala real necesarias para el desarrollo de soluciones innovadoras que podrían ser efectivas y de alto potencial (Cesco - Fundación Chile, 2014).

Se observa que la excesiva dependencia de cargos influyentes dentro de las compañías mineras es un obstáculo importante para el desarrollo de proyectos innovadores. Estos proyectos no solo necesitan el “visto bueno” de personeros o cargos clave, también requieren involucramiento y liderazgo por parte de agentes dentro de la organización para su adecuada consecución. Esto es relevante

para levantar iniciativas internas y también para la viabilidad y priorización de proyectos propuestos por proveedores.

Ligado a lo anterior, “ser percibidos como RSE y ser financiados con presupuestos ligados a esta área, limitaría su potencial contribución al negocio principal” (Cesco - Fundación Chile, 2014).

Brechas generales y conceptuales del PPCM

En la interacción entre empresas proveedoras de insumos y las grandes compañías se generan “fallas de mercado”, las cuales están asociadas a la ausencia de los mercados en cuestión, problemas de información asimétrica, fallas de coordinación y altos costos de transacción. En la relación entre las empresas proveedoras y las grandes compañías el foco debiera estar orientado y acotado a la solución de un problema específico³³; en el PPCM esta relación está focalizada predominantemente en la transacción de un producto o servicio previamente establecido. En breve, cuando la relación entre las empresas proveedoras y las grandes compañías se reduce a una elemental transacción de bienes y/o servicios entre dos actores con distinto poder de negociación y de información, disminuyen los espacios de una colaboración más dinámica y creativa y esto afecta la generación de valor compartido. En consecuencia, se requieren esfuerzos de articulación y coordinación cuyos costos son elevados y sobrepasan los ámbitos de acción de las empresas.

Cuando se logra asegurar el compromiso y la adhesión de un número significativo de actores en torno a una agenda de trabajo conjunta, se pueden generar beneficios significativos y diversos. Hay una disminución de los costos de transacción y de coordinación; se estimula el surgimiento de sinergias y se fomenta la participación de nuevos actores, por cuanto se reducen los riesgos de entrada al proyecto.

Adicionalmente, la implementación de este tipo de políticas y sobre todo su sostenibilidad en el tiempo enfrenta “fallas de Estado” que afectan a las políticas públicas y, en particular, a las de innovación: la inconsistencia dinámica. Esta está asociada a: (a) Los incentivos negativos que posee un Gobierno para implementar y perseverar con una política específica que puede tener altos costos en el corto plazo, riesgo e incertidumbre respecto a sus resultados (particularmente los asociados a la innovación) y cuyos beneficios se ven en el largo plazo. (b) Los cambios de Gobierno y de autoridades pueden generar discontinuidades en las

³³ Andrews *et al.* (2015) enfatizan un enfoque que denominan “putting problems-driven iterative adaptation principles into practice”.

preferencias y en las prioridades respecto de programas existentes versus nuevos programas.

En síntesis, a lo largo de su aplicación el PPCM ha presentado diversos problemas: (a) Relativo bajo impacto de los proyectos de la mayoría del PPCM en las faenas mineras. (b) Poca prioridad asignada por las compañías mineras al PPCM. (c) Brechas importantes en cuanto a: Capital humano especializado, financiamiento, espacios de prueba, modelos contractuales, disonancia de tiempos, asimetrías de información y fallas de coordinación. (d) Incapacidad de las empresas proveedoras exitosas para escalar soluciones innovadoras. (e) Desbalance muy grande entre los recursos destinados al PPCM y las expectativas generadas. Sin embargo, este también ha sido un espacio de aprendizaje y de construcción de capital social en la minería, fenómeno que se analizará más adelante.

3. CÓMO SE GENERARON LAS EXPECTATIVAS EXCESIVAMENTE OPTIMISTAS EN EL PPCM

Como se ha señalado previamente, el PPCM es un Programa que tiene “muchas virtudes” y estimula fuertemente el *wishful thinking*, especialmente en el caso de la minería.

(a) El sector cuprífero chileno siempre fue cuestionado y criticado porque instauraba un enclave. El clúster constituye la solución conceptual para que el cobre deje de ser un enclave y se conecte al entorno donde están los yacimientos. Aún más, el PPCM representa una solución moderna y eficiente para implementar el clúster cuprífero.

(b) El PPCM responde a los nuevos desafíos tecnológicos y de esta forma ayuda al aprendizaje de la generación de innovación tecnológica de pymes proveedoras.

(c) El PPCM genera una “cuádruple situación ganadora”: ganan las compañías mineras, las empresas proveedoras, todo el sector minero y el Gobierno.

(d) El 30% de la producción mundial de cobre está en Chile; luego, hay un gran mercado local para las empresas proveedoras de insumos.

(e) Hay casi 6.000 empresas proveedoras de insumos, lo cual “constituye una gran base de empresas (potencialmente) innovadoras”.

(f) El PPCM chileno “replicaría el éxito de las METS australianas” y de esta forma contribuiría a la diversificación exportadora.

(g) Las operaciones relacionadas con el proceso productivo de los RRNN son de localidad geográfica específica; estas requieren un alto grado de adaptación

de técnicas productivas. Luego, los RRNN no solo contribuirían al desarrollo regional; además, tienen el potencial de convertirse en plataformas de innovación tecnológica, generando dinámicas de aprendizaje tecnológico que pueden aplicarse en otros sectores productivos.

(h) Las dos mayores empresas mineras (BHP Billiton y Codelco) implementan el PPCM en los años 2008 y 2010, respectivamente. Este es un gran patrocinio y espaldarazo al PPCM³⁴.

Dado todo este set de “soporte virtuoso”, no hubo detractores del PPCM. Por el contrario, gran apoyo transversal, en que ocurrió una especie de escalada respecto a las bondades y potencial del Programa (“la nueva estrategia de desarrollo latinoamericana en torno a los RRNN”; “una promisorio estrategia de desarrollo regional”; “el mecanismo para la generación de innovación tecnológica”). Esto induce expectativas bastante optimistas. Las proyecciones iniciales (años 2012-2013) planteaban que el PPCM generaría 250 empresas innovadoras en el año 2020. Posteriormente, se especuló (año 2015) que el nivel de exportaciones (del PPCM) alcanzaría US\$10.000 millones anuales en el año 2035. La evidencia empírica obliga en el año 2016 a reducir significativamente estas predicciones; ahora se plantea que habrá 250 empresas proveedoras innovadoras recién en el año 2035. Por otra parte, se estima que en el año 2035 el nivel de exportaciones de los proveedores alcanzaría (solo) a US\$4.000 millones anuales.

¿Por qué un Programa tan virtuoso y promisorio tiene resultados precarios?; ¿por qué no se replica en Chile lo que sucede con las METS australianas? Como veremos, hay problemas con los supuestos, con la implementación, con las proyecciones e indicadores del éxito del Programa y con el monto de los recursos destinados al PPCM.

La definición del potencial innovador de las empresas proveedoras de la minería se basa en dos supuestos: (i) Tamaño del sector; (ii) capacidades tecnológicas de las empresas proveedoras.

Respecto al tamaño total del sector proveedores, Fundación Chile (2014) sugiere un universo total de 5.998 empresas proveedoras de la minería en Chile. Sobre la base del último estudio de caracterización (Comisión Nacional de Productividad y Fundación Chile, 2016), el número de empresas proveedoras habría disminuido a 4.438³⁵. Sin embargo, estos cálculos son estimaciones del

³⁴ En el año 2003, Lima & Meller (2003) le plantearon al Consejo Minero que las compañías mineras deberían ser el “motor del clúster minero”.

³⁵ Ambos cálculos se basan en el número de empresas inscritas en la base de datos del REGIC (registro de proveedores de la minería, de la empresa Achilles).

número total de empresas del sector, pero no de la cantidad de empresas con capacidades innovadoras o con el potencial de desarrollarlas.

Una forma de aproximar el número de empresas proveedoras con potencial o características innovadoras sería utilizar la información contenida en la Figura 2. En esta Figura 2 se observa que solo el 3% de las empresas tienen una capacidad de innovación alta –replicar, adaptar o mejorar tecnologías existentes–. Además, se señala que no existen en Chile empresas (proveedoras de la minería) con capacidades innovadoras de frontera. Si consideramos el total (más reciente) de empresas que componen el sector, el 3%, proporciona menos de 150 empresas con la potencialidad de desarrollar soluciones innovadoras.

Pero las empresas proveedoras adolecen de un problema grave: no tienen la capacidad tecnológica³⁶. Capacidad implica conocer y dominar la tecnología moderna; además, tener las competencias para modificarla y generar nuevas tecnologías, i. e., mover la frontera tecnológica. Hay consenso en torno a que las empresas chilenas en general poseen una “brecha de capacidad tecnológica”. Según encuesta a proveedores: “Estábamos ocupando tecnología de los años 70, y ni siquiera sabíamos que había una tecnología del siglo XXI” (Phibrand, 2016). Para cerrar esta brecha se requiere aprendizaje tecnológico y adquisición de capacidad tecnológica, los que distan de ser procesos rápidos y automáticos³⁷. Adicionalmente, las empresas proveedoras tienen una “brecha de capacidad de *management*”; se aprecia una deficiencia estructural para el manejo e interacción con grandes compañías mineras.

En las compañías mineras el PPCM no constituía un Programa relevante. Lo desconocía la mayoría de las personas que trabajaban en las compañías. Estaba asignado al área de RSE (responsabilidad social empresarial). El tipo de desafíos tecnológicos que abordaba el PPCM era de naturaleza marginal; i. e., “no movía la aguja”. Además, los profesionales y supervisores chilenos de las compañías mineras tienen un “sesgo antichileno”; no creen que haya innovadores chilenos y no están dispuestos a correr riesgos utilizando soluciones tecnológicas desarrolladas por empresas nacionales. Si hay una falla de estas, serán culpados por haber seleccionado a una empresa “rasca”; en cambio, si hay una falla de una

³⁶ Capacidad correspondería a la traducción literal del inglés del término *capability* (capacity + ability). No hay en español la palabra correspondiente. Capacidad no solo es la síntesis de capacidad y habilidad; es eso, pero adicionalmente es: aptitud, calificación, experiencia, potencial, *know how*, facultad, competencia. Ver Meller y Parodi (2016) para una revisión a fondo de este concepto.

³⁷ Hay varios mecanismos para la generación de capacidad tecnológica: (i) Ingeniería reversa. (ii) Manufactura de equipos originales. (iii) Inversión extranjera directa. (iv) Compras gubernamentales para incentivar la innovación. Ver Meller y Parodi (2016).

solución de una gran empresa proveedora extranjera, la culpa la tiene la empresa extranjera.

Examinemos a continuación el objetivo exportador o indicador de éxito del PPCM.

Las exportaciones de proveedores de la minería chilena para el período 2010-2014 ascienden a US\$500-650 millones anuales (Fundación Chile, 2015). Solo hay 44 proveedores mineros que exportaron montos superiores a US\$1 millón. Pero únicamente hay cinco empresas con un nivel de exportaciones anuales superior a US\$25 millones. Para lograr el nivel de exportaciones de US\$4.000 millones, el ritmo de crecimiento de las exportaciones debiera ser 10% anual durante 20 años. Esta tasa de crecimiento es elevada y dicha meta no será fácil de lograr³⁸.

Adicionalmente, hay dos objeciones de fondo al uso de las exportaciones como un indicador de éxito de un Programa como el PPCM. El propósito central del PPCM es que los proveedores de la minería generen innovaciones tecnológicas, i. e., aprendan a innovar. Una empresa puede aprender a innovar, pero eso no la transforma automáticamente en exportadora. La capacidad de *management* que se necesita para innovar es diferente de la que se requiere para exportar. En breve, “innovar no es sinónimo de exportar” (ver Bitrán *et al.* 2014).

Si el 30% de la producción cuprífera mundial está aquí en Chile, ¿no sería más racional y optimizador para una empresa proveedora innovadora tratar primero de abastecer la demanda existente en el país que embarcarse en una actividad productora para el resto del mundo? A esto se agrega el importante rol que desempeñaron las compañías mineras australianas en la internacionalización de las METS australianas, induciéndolas a que las acompañaran en sus inversiones mineras en otros países. Aquí en Chile, ¿qué compañías mineras ejercerían ese rol: las chilenas que no efectúan inversiones en el exterior o las compañías extranjeras?

En breve, no se justifica y no es comprensible que se fije un objetivo exportador como indicador de éxito a las empresas proveedoras de la minería.

Por último, en una economía monetaria el dinero constituye una especie de combustible que facilita el desempeño de la parte real de la economía. Un caso análogo concreto es la cantidad de bencina que requiere un automóvil para ir de Antofagasta a Punta Arenas; si solo tiene 10 litros de bencina, no alcanza a recorrer ni el 10% de la distancia. ¿Por qué el auto no logra llegar a su destino

³⁸ Utilizando diversas metodologías de proyección del nivel de exportaciones a 20 años plazo, se obtienen cifras que fluctúan entre US\$900 millones y US\$5.200 millones (ver Meller y Gana, 2015b).

(Punta Arenas)?: ¿Falla del auto?, ¿falla del chofer?, ¿falla de la carretera? (¿falla de mercado?, ¿falla de coordinación?, ¿información asimétrica?, ¿falla sistémica?, ¿trampa de los países de ingreso medio?). En otras palabras, el monto de recursos destinado a la implementación del PPCM ha sido realmente reducido; los resultados esperados no tienen ninguna relación con los montos consignados. Como dice la lógica monetaria del mercado: *“If you pay peanuts you should get peanuts”*.

Entonces, del PPCM ¿qué es lo que queda? ¿Solo resultados mediocres? Hay algo que no ha sido señalado en la mayoría de los artículos que se han escrito sobre el PPCM. El PPCM cumplió un rol importante en la creación de capital social en la minería. Gracias al PPCM tenemos hoy la plataforma PIAM.

El Programa PPCM marca un antes y un después respecto al clúster minero. Pre-2008 el clúster era solo la solución conceptual para el enclave minero; para constituir el clúster se nombró al “Gerente General del clúster”, i. e., hubo pura retórica y no pasó nada. A partir de 2008 el PPCM muestra un mecanismo viable para que se articule el clúster. Además, pone fin al debate sobre cuál sería el tipo de encadenamientos (hacia atrás o hacia adelante) que habría que impulsar; al seleccionar los encadenamientos hacia atrás permite identificar el tipo de empresas que habría que estimular, las empresas proveedoras de insumos. El involucramiento de las dos mayores compañías mineras (BHP Billiton y Codelco) proporciona credibilidad y factibilidad respecto a que ahora hay una trayectoria clara para lograr el antiguo anhelo: conectar el cobre a la actividad productiva local. El PPCM incluso era más ambicioso; el tipo de vínculo sería a través de la generación de innovación tecnológica.

El PPCM impulsa al Consejo Minero y Fundación Chile (Innovum) a la creación del Consejo de Competencias Mineras (CCM); el desafío de capital humano para la minería radica en la necesidad de contar con una cantidad adecuada de trabajadores formados en función de los requerimientos actuales y futuros de la minería. Para abordar este desafío se debe trabajar en una serie de brechas, asociadas principalmente a la formación técnica. El CCM ha generado productos claves como: el Estudio de Fuerza Laboral de la Gran Minería Chilena, el Marco de Cualificaciones para la Minería, Paquetes para Entrenamiento en Minería, Manual de Buenas Prácticas de Formación. Por su parte, la coalición Cesco - Fundación Chile - Minnovex produce estudios sobre las brechas que enfrentan los proveedores para potenciar la innovación tecnológica.

Todo lo anterior prepara el terreno para estimular a un grupo de especialistas liderados por el expresidente Ricardo Lagos a plantear la premisa de que Chile requiere una visión sobre su minería que sea compartida por todos los actores interesados, para que promueva en forma más efectiva el desarrollo sostenible del

país. Esto genera el documento “Minería y desarrollo sostenible de Chile: hacia una visión compartida” (año 2014), que sugiere que la industria minera en Chile se convierta en un ejemplo a nivel internacional y en un orgullo nacional, por su aporte al crecimiento económico sostenible, por su contribución a un desarrollo con mayor equidad social y solidaridad regional e intergeneracional del país y de sus regiones mineras. Se proponen tres objetivos: una “minería innovadora, inclusiva y sostenible”. El Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID) toma este planteamiento y constituye dos iniciativas público-privadas: Valor Minero y el Programa Nacional de Minería Alta Ley. Valor Minero está abocado a impulsar el desarrollo de los proyectos e iniciativas vinculadas a los objetivos de inclusividad y sustentabilidad. Por su parte, el Programa Nacional de Minería Alta Ley es impulsado por Corfo y el Ministerio de Minería y está focalizado en el objetivo “minería innovadora”. Con la coordinación y participación activa de Fundación Chile³⁹ se produce el Roadmap Tecnológico que identifica los principales desafíos del cobre para los próximos 20 años.

En breve, no hay otro sector productivo que tenga un capital social equivalente a la minería. El PPCM ha aportado su grano de arena a esto. No obstante lo anterior, la minería es el sector que tiene bloqueados (o paralizados) más proyectos de inversión; además, la minería es el sector que más multas ambientales ha recibido (dos tercios del total). Aún hay varias asignaturas pendientes.

³⁹ Veintiséis profesionales de Fundación Chile dedican parte importante de su jornada durante 1 año.

INNOVACIÓN ABIERTA EN MINERÍA⁴⁰

Dados los resultados observados en el PPCM, este ha sido reemplazado por un nuevo Programa, Plataforma de Innovación Abierta en Minería (PIAM). Este no es solo un cambio de nombre, sino que un cambio de paradigma. Cabe señalar que se mantiene el objetivo central del Proyecto: Aportar al desarrollo de un sector que contribuya a la generación de innovación tecnológica (en los proveedores) de bienes y servicios utilizados por la minería chilena.

En términos gruesos, las diferencias entre el PPCM y la PIAM son:

(a) El PPCM se basaba en una relación bilateral entre una empresa proveedora (pequeña) y una gran compañía minera. Implícitamente, la firma proveedora utilizaba el paradigma de “innovación cerrada”. La PIAM tiene como foco una visión global de todo el ecosistema de innovación tecnológica de la minería; esta es la base de la “innovación abierta”.

(b) De lo anterior se desprende que el PPCM restringe la solución de un problema tecnológico (de la compañía minera) a un subconjunto de las actuales empresas proveedoras que operan en el mercado local. La PIAM plantea una apertura total a todo tipo de empresa –no necesariamente vinculada a la minería– en la búsqueda de la solución a un determinado desafío tecnológico minero.

(c) En el caso del PPCM los problemas existentes eran planteados por las compañías mineras; *demand pull*. En la PIAM hay una mezcla de *demand pull* y *supply push* en la identificación de los desafíos tecnológicos. En otras palabras, tanto las compañías mineras como cualquier empresa (del sector minero o no)

⁴⁰ Esta sección está basada en Chesbrough (2003; 2010); FCH (2016); Corfo y FCH (2016-2017); Bryant (2015); VCI (2014).

pueden sugerir soluciones e innovaciones a problemas de diversas etapas del proceso productivo.

(d) La elaboración de un “Roadmap tecnológico con los desafíos de la minería cuprífera chilena para el período 2015-2035” (Fundación Chile, 2016) ha permitido: (i) Crear, consensuar y promover una visión global conjunta de todos los *shareholders* involucrados en la minería chilena. (ii) Las diversas empresas mineras han podido comprobar que tienen problemas similares y que hay problemas comunes y transversales al sector. (iii) Se ha generado una visión de largo plazo que identifica los principales desafíos tecnológicos que va a enfrentar el sector.

Dado lo anterior, esto es más consistente con el uso de un paradigma de “innovación abierta” que permite y estimula pensar, preparar y anticipar la solución de los desafíos futuros.

A continuación revisaremos brevemente los principales aspectos conceptuales de los paradigmas de “Innovación Cerrada” (IC) y de “Innovación Abierta” (IA).

La lógica de la IC es lo que una gran cantidad de las empresas hacían (y creían) en el siglo XX. La I&D y la innovación eran consideradas el activo estratégico más valioso que tenía una empresa. Cuando comienza la expansión de la globalización, las grandes corporaciones multinacionales descentralizan casi todas las etapas del proceso productivo, menos todo lo que estuviera conectado con la I&D y la innovación; creían que este era el factor central de la competitividad de la empresa, tanto en el presente como en el futuro.

La lógica de la IC se basa en la premisa de que hay que tener “control total de la innovación”. Los supuestos implícitos son (Chesbrough, 2003; 2010): (i) “La gente más creativa en esta área está aquí”, i. e., trabaja en la empresa. (ii) Para que la inversión en I&D genere ganancias hay que ser los primeros en desarrollar una innovación y, así, ser los primeros que la ponen en el mercado. (iii) “Si somos los primeros en generar las mejores ideas del sector, seremos los líderes y maximizaremos las utilidades”. Esto generará más recursos para invertir en I&D y repetir la secuencia. (iv) Por esto hay que “controlar la innovación para que los competidores no se beneficien de nuestras ideas”.

En el siglo XXI se observa que empresas medianas, pequeñas y *startups* que no tienen grandes equipos y laboratorios propios de I&D y que no efectúan investigación básica son bastante prolíficas en generar nuevas ideas e innovación tecnológica muy competitiva con la de las grandes corporaciones multinacionales. Hay dos componentes que facilitan esto: (i) El gran número de expertos que abandonan los centros de I&D de las grandes corporaciones llevando las ideas en sus cabezas y formando sus propias empresas. (ii) El aumento de recursos en

los fondos de inversión y de capital de riesgo dispuestos a financiar proyectos con potencial innovador.

En este nuevo entorno surgen otros agentes que comercializan tanto las ideas propias como las innovaciones de otras empresas. Todo el ecosistema innovador se vuelve muy poroso, permitiendo que las innovaciones fluyan en todas direcciones. Así surge el paradigma de la IA, al cual también se incorporan las grandes corporaciones multinacionales; estas conectan su I&D interno con las innovaciones de empresas externas.

La lógica de la IA se apoya en los siguientes supuestos (Chesbrough, 2003; 2010): (i) Nadie tiene el monopolio de las buenas ideas. Gracias a la revolución digital, estas buenas ideas fluyen y se diseminan por todas partes. (ii) Ninguna empresa concentra a todas las personas más creativas e inteligentes del mundo. (iii) Ser el primero en generar una nueva innovación no es condición necesaria ni suficiente para lograr conquistar el mercado. Muchas veces un buen modelo de negocios supera a una buena innovación tecnológica⁴¹.

Para las empresas medianas y pequeñas, la IA implica desafíos y oportunidades. Los desafíos están asociados a (Chesbrough, 2010; Bryant, 2015): (i) Falta de capacidad para identificar y absorber conocimientos e ideas vinculados a nuevas innovaciones. (ii) Escasez de expertos con el conocimiento adecuado para adaptar las nuevas tecnologías. (iii) Dado su pequeño tamaño, no tienen el poder para capturar el valor de mercado de la innovación.

Por otro lado, las ventajas de las empresas medianas y pequeñas con la IA radican en la posibilidad de focalizarse y especializarse de manera efectiva en desafíos acotados. Además, estas empresas pueden tomar decisiones rápidamente e implementarlas de inmediato. En consecuencia, las grandes compañías tienen incentivos para establecer relaciones colaborativas para la generación de innovaciones en áreas específicas. Hay artículos que muestran que la integración intensiva de los proveedores en la creación de innovaciones para los procesos productivos aporta valor positivo significativo a las grandes corporaciones (Brem, 2010; Brem & Tidd, 2012).

Lo planteado previamente proporciona el marco conceptual que ha llevado a la reformulación del PPCM y su sustitución por la **Plataforma de Innovación Abierta en Minería (PIAM)** que debiera generar un mayor impacto en la economía del país, convocando un mayor número de actores. Cabe señalar que el PPCM ha sido una especie de punta de lanza para implementar la IA en la minería.

⁴¹ Para una crítica a este enfoque dicotómico de IC vs. IA de Chesbrough (2003), ver Trott & Hartmann (2014).

La nueva iniciativa PIAM, que será coordinada por Fundación Chile, tiene como objetivo principal consolidar una plataforma que permita integrar a empresas mineras, proveedores locales, grandes proveedores, centros de excelencia, emprendedores, organismos estatales y todos aquellos actores que permitan robustecer la industria de servicios y tecnología asociada a la industria minera. La misión es desarrollar un sector de proveedores intensivo en conocimiento, mediante la generación de soluciones tecnológicas planteadas desde la demanda (compañías mineras) y desde la oferta (todo tipo de proveedores, centros de I&D, profesionales, emprendedores, *startups*).

En otras palabras, la PIAM busca ampliar el foco original concentrándose en tres ejes orientados a la oferta: Grandes Proveedores, Centros de Investigación, Empresas Medianas y Pequeñas (incluyendo emprendedores, *startups*); por el lado de la demanda, se pretende atraer a la Mediana Minería. Además, la Plataforma busca facilitar el acceso a otros actores, tales como fuentes de financiamiento e instituciones de aceleración y escalamiento que permitan potenciar las propuestas desarrolladas.

Una breve síntesis de las diferencias entre la PIAM y el PPCM (Corfo y FCH, 2016–2017) es la siguiente: (a) Hay un importante aumento en la envergadura del Programa principalmente debido a la incorporación de numerosos *stakeholders* vinculados a la minería. (b) Por el lado de la generación de soluciones innovadoras el espectro va más allá de empresas proveedoras pequeñas, incluyendo grandes empresas y centros de investigación. (c) Se quiere expandir la participación de más empresas mineras. (d) Tener un equipo que induzca soluciones tecnológicas trabajando con la demanda y la oferta; i. e., no se desea tener una plataforma pasiva que solo proporciona información, sino ser proactivos en todas las etapas del proceso innovador hasta su test en el mercado. Adicionalmente identificar desafíos más profundos y sofisticados. Esto también implica focalizarse más en los desafíos que en el proceso de “consultoría” de los proveedores.

Una preocupación crucial que ha habido en la elaboración de la nueva propuesta PIAM es la creación de una institucionalidad más permanente con un sistema ágil y flexible de gobernanza. Esto incluye tener un agente que desempeñe el rol intermediario entre demandantes y oferentes de soluciones tecnológicas, una especie de “*broker* tecnológico” o “*broker* de la innovación” (Winch y Courtney, 2007). La Fundación Chile ejercerá este rol.

Esta propuesta PIAM ilustra cómo implementar una estrategia colaboracionista público-privada, la llamada **Alianza Público-Privada**. A nuestro juicio, es relativamente más fácil implementar esta **Alianza Público-Privada** a nivel sectorial que a nivel nacional. Con el propósito de contar con una instancia de concertación y coordinación con diversos actores e iniciativas públicas y

privadas, la PIAM contará con un comité *ad hoc* coordinado por el Programa Minería Alta Ley.

En breve, la institucionalidad del Programa PIAM tendrá reuniones mensualmente, y los agentes y agencias participantes son: Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID), Ministerio de Economía, la Corporación de Fomento y la Producción (Corfo), la Empresa Nacional de Minería (Enami), la Corporación del Cobre de Chile (Codelco), el Instituto Nacional de Propiedad Industrial (Inapi), la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (Conicyt), la Asociación de Proveedores Industriales de la Minería (Aprimin), Asociación Gremial de empresas para la innovación y la exportación de productos, insumos y/o servicios intensivos en conocimiento para el sector minero e industrial (Minnovex), el Consejo Minero (Asociación Gremial de grandes compañías mineras), la Sociedad Nacional de Minería (Sonami), grandes compañías mineras (BHP Billiton, Antofagasta Mineral, Angloamerican, Mitsui), pymes proveedoras (Aguamarina, Neptuno Pumps), asociaciones gremiales regionales de compañías mineras y proveedores de la minería (Asociación de Industriales de Antofagasta [AIA] y universidades [Centro Avanzado de Tecnología para la Minería de la Universidad de Chile y la PUC]).

El monto total de recursos asignados a la PIAM es cercano a \$6.000 MM para un período de tres años –poco más de US\$9 millones–, US\$3 millones/año. El financiamiento proviene de fuentes públicas, privadas y multilaterales. Dado el nivel de recursos involucrados hay que evitar la generación de expectativas excesivamente optimistas respecto de los logros del Programa.

Hay que tener presente que la PIAM es solo una plataforma facilitadora y habilitante; la sola presencia de esta no va a generar espontáneamente innovación. Aun cuando se aprecia un nutrido y diverso conjunto de actores, agencias y empresas participantes en la institucionalidad de la PIAM, el rol fundamental para la generación de innovación lo siguen desempeñando las principales compañías mineras. Si se quiere “mover la aguja de la innovación minera” se requiere que haya un “*engagement* efectivo” de las grandes compañías; esto implica que estas (i) planteen abiertamente los problemas y desafíos sustantivos que enfrentan; (ii) sean receptivas a sugerencias y soluciones innovadoras diseñadas por diferentes agentes externos.

La innovación ha sido planteada como la “bala de plata”⁴² para la minería australiana y chilena. El foco reside en aumentar la colaboración para resolver los grandes desafíos tecnológicos actuales. Más aún, se ha señalado recientemente que “hay que cambiar el paradigma tradicional de funcionamiento de la minería

⁴² El Report Australia 2016 dice que “innovación es ahora la moda retórica en minería”.

(australiana)”. Esto implica, según Deloitte (2016): (a) Innovación abierta. (b) Hackatones⁴³. (c) Nuevos modelos interactivos entre compañías mineras y proveedores METS. (d) Interacción con agentes del sector financiero.

Pareciera haberse llegado al límite en ganancias de productividad asociadas a aumentar el tamaño de la maquinaria (camiones, excavadoras, palas, etc.). Hay que probar otras vías. La actividad minera ha tendido a pensar que no tiene nada en común con otros sectores productivos. Pero estos otros sectores han adaptado la tecnología utilizada por sectores muy distantes de su quehacer (*core business*); por ejemplo, la adaptación de la tecnología de la NASA. En breve, la minería tiene que analizar lo que hacen los otros sectores productivos para adquirir nuevas perspectivas.

Según Deloitte (2016), adicionalmente a lo anterior, las compañías mineras aún no perciben que la innovación de los siglos XX y XXI es una labor colaborativa y de *networks*. Siguen creyendo que la innovación la generan individuos aislados, como los inventores del siglo XIX. La mayor parte de las innovaciones de la era digital fueron el resultado de trabajos colaborativos; “esta habilidad para trabajar en equipo los tornó más creativos aún”. El Internet ha sido creado para facilitar esta interacción colaborativa (Isaacson, 2014)⁴⁴. Pero no se trata de estimular la innovación por la innovación, sino que innovar para anticipar el próximo ciclo tecnológico de incremento de la productividad.

Dada la experiencia de expectativas extremadamente optimistas que se generaron con el PPCM, conviene tener presente las advertencias de Trott & Hartman (2014, p. 381) respecto de la IA: “La innovación abierta no es perfecta”, esto significa que muchas de las innovaciones diseñadas por los participantes de una PIAM pueden fracasar; “la innovación abierta puede considerarse como un proyecto en progreso”. En breve, “la innovación abierta no es una panacea”.

En consecuencia, conviene volver a revisar las cuestiones básicas. Chesbrough (2003) plantea que el cambio de paradigma de la IC a la IA se caracteriza porque las corporaciones detectan que la interacción del conocimiento interno con el conocimiento externo a la empresa acelera el proceso innovador. El hecho de que numerosas grandes corporaciones internacionales hayan adoptado el concepto de IA se debe a que “la innovación abierta no constituye ahora un factor de ventaja competitiva, sino que se ha transformado en una necesidad competitiva” (Poot, Faems, & Vanhaverbeke, 2014, pág. 298).

⁴³ Encuentros de programadores cuyo objetivo es el desarrollo colaborativo de software, aunque en ocasiones puede haber también un componente de hardware. Estos eventos pueden durar entre dos días y una semana (Google).

⁴⁴ Ver (y leer) el libro de Isaacson (2014) sobre la interesante historia de los *hackers*, genios y tipos raros que crearon la revolución digital.

Hay que enfatizar lo siguiente: No es válido el argumento de que una empresa (minera) “recurre a la IA porque su ventaja comparativa está en la producción de cobre y no en la innovación”, i. e., estaría externalizando la generación de innovación. Las estrategias de innovación interna y externa son complementarias y no sustitutas; se requiere una interacción colaborativa entre la gran compañía y el proveedor tecnológico externo para generar innovaciones exitosas. Pero las grandes empresas (corporaciones y compañías) van a poder aprovechar el conocimiento externo solo si poseen la capacidad adecuada de absorción interna del conocimiento externo (Cohen & Levinthal, 1990; Meller & Parodi, 2016). Para este efecto, las grandes corporaciones que han adoptado el paradigma de innovación abierta han creado una nueva estructura organizacional con procedimientos especiales para interactuar y colaborar con los proveedores innovadores externos que están abocados a la solución de los desafíos tecnológicos. Esto correspondería a un “*engagement* efectivo” por parte de las compañías mineras (Buganza, *et al.*, 2014).

RELEVANCIA DE BROKER TECNOLÓGICO

En este nuevo entorno de innovación abierta surgen actores denominados *broker* de innovación o *broker* tecnológicos. Estos *brokers* son agentes que participan en actividades tan variadas como (Stewart & Hyysalo, 2008): (i) Recopilar, desarrollar y difundir conocimientos; (ii) levantar y distribuir recursos financieros, técnicos e institucionales (apoyo de usuarios y patrocinadores); (iii) regular, encauzar y promover la participación de diversos agentes relevantes en las redes de innovación.

La literatura ha revisado la existencia de *brokers* de innovación como también el proceso de intermediación en la innovación (Howells, (2006), pág. 718). Las clasificaciones generales de las funciones que pueden cumplir los *brokers* de innovación se presentan en la Tabla 13⁴⁵.

⁴⁵ Para una revisión detallada de los roles de los *brokers* tecnológicos, ver Anexo 5.

TABLA 13
FUNCIONES DE LOS *BROKERS* DE INNOVACIÓN

1.	Proyecciones y diagnóstico (generar hojas de ruta)
2.	Recopilación y procesamiento de información
3.	Generación, procesamiento y difusión (combinación) de conocimiento
4.	Generación de “matching” y asesoría contractual
5.	Testeo, validación y regulación
6.	Protección de Propiedad intelectual y comercialización
7.	Evaluación de los resultados

Fuente: Modificado de Howells (2006).

La Tabla 13 –una simplificación de las labores en las que puede incurrir un broker de innovación– describe los posibles roles en un proceso cronológico lineal, el que claramente puede mostrar patrones distintos a los aquí descritos (dependiendo del proceso a analizar). Lo relevante de la información presentada es que ilustra la amplia gama de actividades en que se desenvuelven estos *brokers*. Actividades que van desde generación de proyecciones y creación de hojas de ruta tecnológicas, hasta acreditación de soluciones y evaluaciones *ex post* de las tecnologías desarrolladas. Las labores del *broker* trascienden el rol un intermediario pasivo entre “usuarios” y “generadores” de innovación; este tiene la facultad de ejercer roles activos en el seguimiento, desarrollo y evaluación de proyectos y también en la generación de información relevante para las partes.

La complejidad de la intermediación en las redes de innovación tiende a ser subestimada. Esta complejidad está, en parte, determinada porque los participantes involucrados a menudo tienen muy poco contacto previo con otros jugadores en un mercado naciente. Este fenómeno es especialmente crítico en la relación entre los desarrolladores y los potenciales usuarios de la tecnología (Russell & Williams, 2002; Hyysalo, 2004; Williams, Slack, & Stewart, 2005; Stewart & Hyysalo, 2008).

En el siglo XXI la colaboración es pieza central de las actividades innovadoras, y el auge de la innovación abierta así lo demuestra; en la sección anterior se planteaba que la innovación abierta ha pasado de ser una ventaja competitiva a una necesidad competitiva. Este fenómeno es más relevante aún en ambientes con alta carga tecnológica; de hecho, se observa una relación positiva entre complejidad tecnológica y trabajo colaborativo⁴⁶ en labores innovadoras (Lazzarotti & Manzini, 2009). Esto hace que el rol del intermediario sea crucial a la

⁴⁶ Hace referencia al grado de apertura –a nivel de colaboradores y de fases de la innovación– del proceso innovador.

hora de interconectar los diversos agentes en las redes de innovación, facilitando la generación de contactos y, sobre todo, de trabajo colaborativo. Pero el *broker* no solo puede conectar a usuarios y a innovadores, sino también a distintos participantes en la generación de innovación (empresas, universidades, centros de estudio etc.).

En la innovación en minería la colaboración es particularmente importante. Del diagnóstico de las brechas efectuado en la sección anterior, llama la atención la dificultad de encontrar proveedores que brinden soluciones innovadoras integrales (desde la generación de la idea hasta su implementación). En este sentido, tanto las capacidades tecnológicas de distintos proveedores, como también de otras entidades del clúster minero, pueden ser complementarias. Aquí el trabajo conjunto de entidades que generen sinergias entre sus bases de conocimientos y capacidades tecnológicas adquiere relevancia. Como esta asociatividad no es automática, el *broker* tecnológico brinda la posibilidad de catalizar, y en algunos casos gestar, la formación de redes y ecosistemas colaborativos de innovación.

Otra de las brechas detectadas en el sector dice relación con las dificultades de posicionamiento y difusión del PPCM dentro de las compañías mineras. El *broker* podría jugar un rol crucial al respecto, ya que –como se vio con anterioridad– sus potenciales labores superan con creces la generación de un simple *match* entre generador y usuario (en este caso, entre proveedor y compañía minera). Para enfrentar esta problemática, el *broker* debe gestionar y promover el adecuado *engagement* de la compañía minera con la iniciativa. En otras palabras, en una relación incipiente de colaboración, si una de las partes no muestra el compromiso necesario, las posibilidades de escalamiento del proyecto disminuyen de manera considerable. Por lo visto en experiencias anteriores, la relación compañía minera/ proveedor requeriría del rol activo de un *broker* de innovación en esta área.

Un caso particular de *broker* de innovación son las plataformas de innovación abierta (PIA) online. Estas surgen aproximadamente 15 años atrás y en los últimos años han tenido una creciente importancia en la industria tecnológica. Las PIA digitales tienen ventajas y desventajas; dentro de las primeras se encuentran (Hossain, 2012): (i) Acceso a un número mucho mayor de usuarios; (ii) transacciones y conexiones más expeditas; (iii) costos más bajos para intercambiar información; (iv) generan un *match* más rápido entre usuarios e innovadores.

En relación con las desventajas, su principal contra es la complejidad y el costo del manejo de una gran cantidad de información, lo que puede generar problemas en la búsqueda de soluciones y ser un elemento distractor al momento de buscar innovaciones valiosas. La gran cantidad de información recibida por las plataformas requiere capacidades en *Big Data*, no solo para procesar de manera adecuada la información, sino también para hacerlo de manera eficiente, generando aprendizaje y obteniendo el mayor partido posible de la información con que se cuenta.

Hossain (2012) estudia cinco casos de *broker* que utilizan PIA online en Norteamérica⁴⁷: InnoCentive, NineSigma, YourEncoure, Yet2.com e IdeaConnection. Este estudio destaca las importantes cifras de crecimiento de estas compañías; su capacidad de prestar servicios a distintos tipos de “buscadores de innovación” (compañías de distintos tamaños y tipos de propiedad) y, por sobre todo, la amplia base de expertos o innovadores que cada una de estas poseen. En este tópico destacan NineSigma (que declara tener más de 2 millones de expertos inscritos en su plataforma) e InnoCentive (380.000 “solucionadores”).

Estas empresas brindan distintos servicios adicionales a sus clientes, complementando y potenciando el proceso de innovación abierta. Dentro de estos se encuentran, por ejemplo: Fortalecer y asesorar su estrategia de innovación (NineSigma); facilitar la adopción y operacionalización de las soluciones desarrolladas (YourEncoure e InnoCentive) y promover las dinámicas colaborativas entre los generadores de innovación (YourEncoure e InnoCentive), entre otros.

Cabe señalar que Hossain (2012) destaca la creciente participación que han tenido las PIA en labores innovadoras en el mundo; sin embargo, los *brokers* de innovación aún no son un mecanismo activo en los países en desarrollo.

A pesar de las ventajas expuestas, el éxito los *brokers* de innovación no está asegurado. Estos enfrentan las problemáticas propias de cualquier proceso innovador⁴⁸ y aunque efectivamente presentan una alternativa válida para catalizar la generación de redes de innovación, los éxitos siguen siendo mucho más escasos que los fracasos (Hossain, 2012).

⁴⁷ Cuatro de ellas están basadas en EE.UU. y una en Canadá.

⁴⁸ Intangibilidad de activos, protección de propiedad intelectual, viabilidad comercial de la innovación, entre muchos otros.

OBSERVACIONES FINALES

La premisa inicial de este artículo planteaba implícitamente la factibilidad de usar la minería como base para la generación de innovación tecnológica. Hemos visto que el Programa PPCM diseñado para este propósito no ha generado los resultados esperados. En la sección “Cómo se generaron las expectativas excesivamente optimistas en el PPCM” se planteaba que el reducido monto de recursos financieros asignado al Programa sería uno de los factores determinantes de los resultados. Esta restricción financiera ¿es algo específico que solo afecta al PPCM?

En realidad, en relación con la disponibilidad de recursos financieros para la innovación, nos encontramos en este caso con una situación doblemente desfavorable. Por una parte, Chile como país gasta poco en I&D. Por otra parte, en general, la minería es uno de los sectores productivos que relativamente menos gasta en innovación.

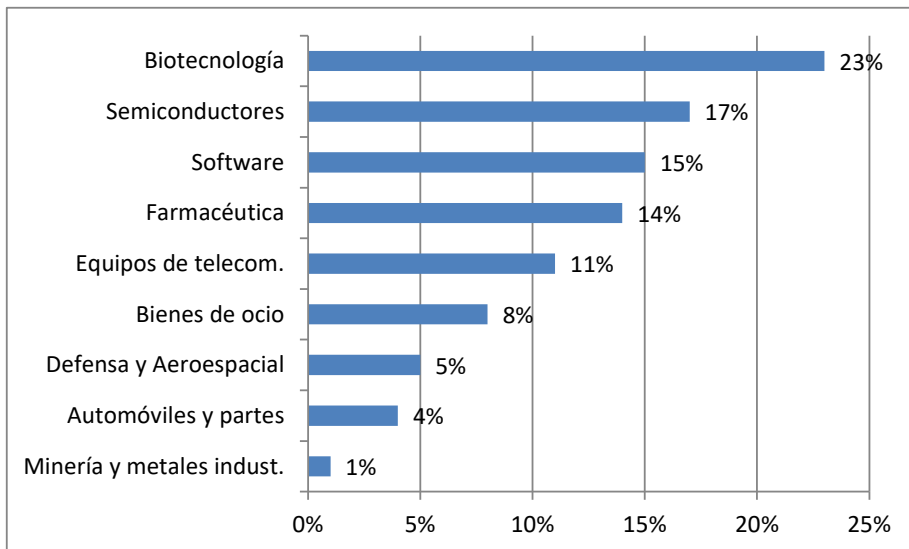
El indicador convencional asociado a la innovación es el gasto en I&D como % PIB; Chile gasta en I&D alrededor del 0,4% (PIB). Este valor se reduce relativamente aún más cuando tomamos en cuenta quién hace la innovación (empresas, universidades o sector público) y queda de manifiesto al contabilizar cuántos dólares invierten las empresas productivas en I&D por trabajador contratado. En un mundo global lo que interesa no son los porcentajes relativos al PIB, sino que los montos de recursos (US\$) gastados en I&D por trabajador ocupado. Al respecto, se aprecia que mientras en Corea del Sur el sector privado gasta en I&D US\$1.627/trabajador, en Chile la cifra equivalente es US\$56/trabajador (ver Meller & Parodi, 2016).

A nivel de las empresas, el gasto en I&D como porcentaje de las ventas se utiliza como indicador asociado a innovación. Consolidando esta información a nivel de sector productivo se aprecia lo siguiente (ver Gráfico 2): (a) Hay varios

sectores que gastan más del 10% de las ventas en I&D; biotecnología (23%), semiconductores (17%), software (15%), farmacéutica (15%), telecomunicaciones (11%). (b) En cambio, la minería solo destina el 1% de las ventas totales como gasto en I&D. (c) Un sector similar a la minería es el petróleo. Este sector gasta en I&D alrededor del 2,5% de las ventas (período 2006-2014; Bloomberg), i. e., en términos relativos, más del doble que la minería.

Al considerar específicamente las grandes compañías mineras, se observa que estas en promedio destinan solo el 0,61% de las ventas al gasto en I&D (Gráfico 3). Si observamos solo las grandes empresas mineras que operan en Chile, este porcentaje se reduce a la mitad, solo el 0,3% de las ventas se destina a gasto en I&D (en que podría decirse que más del 50% corresponde a Codelco). Presumiblemente, la mayor parte de este gasto en I&D sería realizado por las compañías mineras dentro de la empresa.

GRÁFICO 2
RATIO PROMEDIO GASTO EN I&D/VENTAS DE COMPAÑÍAS "TOP" EN I&D
POR INDUSTRIA (2013)

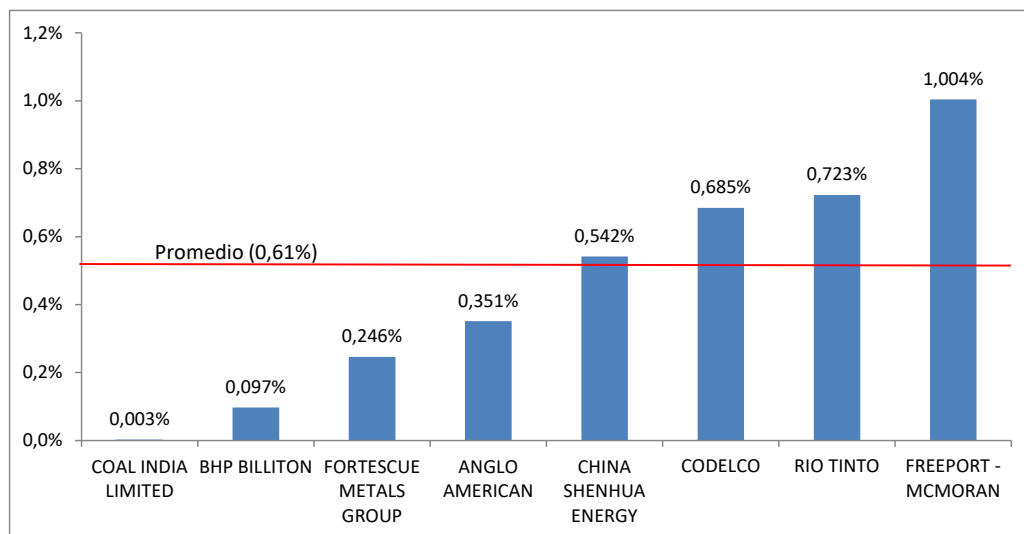


Fuente: Elaborado sobre la base de Moncada-Paternò-Castello (2016).

Nota: Análisis es efectuado sobre datos de las 1.000 compañías top en I&D a nivel mundial.

GRÁFICO 3

RATIO GASTO EN I&D/VENTAS PRINCIPALES COMPAÑÍAS MINERAS CIRCA 2014-2015



Fuente: Reproducido de presentación Fundación Chile (2016).

La minería como sector –en el mundo y en Chile– se ha caracterizado histórica y tradicionalmente por (Bryant, 2015): (i) Bajo gasto en I&D. (ii) Relación antagonista con los proveedores. (iii) “Innovación cerrada”, i. e., la innovación es un problema interno de la compañía minera.

Dados los desafíos tecnológicos que enfrenta la minería y basado en los niveles de inversión de los otros sectores, Bryant (2015) sugiere que debiera haber un aumento sustantivo (duplicación) de la inversión en I&D al 2% de los ingresos mineros; algo similar o mayor sugiere para las grandes empresas proveedoras de maquinarias y equipos (en este caso, aumentar del 1% actual a una inversión en I&D del 3% de las ventas).

El comportamiento observado de las compañías mineras en la inversión en I&D pareciera no estar vinculado a la evolución del precio del cobre. (a) Cuando el precio del cobre baja –el objetivo central del *management* es la contracción (drástica) de costos–. El reducido gasto en I&D disminuye aún más; esto destruye incentivos internos y externos para generar innovaciones. (b) Cuando el precio del cobre es alto –el objetivo central lo constituye la maximización de la producción, pues esto genera las mayores ganancias–. Implícitamente se supone que “los altos precios van a durar para siempre”; luego, para qué preocuparse de la innovación.

La consecuencia de este tipo de comportamiento radica en que la minería ha “fracasado en captar los beneficios de las recientes revoluciones tecnológicas”;

a muchos de los ejecutivos “el concepto de innovación les produce pánico” y no vislumbran una oportunidad para la empresa (Bryant, 2015).

Obviamente, hay excepciones al patrón anterior, en que se percibe un foco en la creación de valor de largo plazo. Ejemplos: Río Tinto, Komatsu, Caterpillar, que están preocupados de las innovaciones asociadas a automatización, operaciones remotas, “minería inteligente”, *Big Data* minera.

En síntesis, las empresas del PPCM enfrentan un entorno en que Chile y específicamente las compañías mineras destinan un reducido monto de recursos para financiar la innovación tecnológica. Adicionalmente, por el lado del sector de capital de riesgo, la mayor parte de los recursos están destinados a empresas consolidadas de tamaño medio; luego, esto tiende a marginar a las empresas típicas del PPCM que requieren montos en el rango de US\$50.000 a US\$1 millón para el desarrollo de las etapas iniciales de la innovación.

Dado lo anterior, cabe plantear lo siguiente: Si hubiera habido un monto significativamente mayor de recursos financieros disponibles, ¿se habría generado un gran y sustantivo aumento de la innovación tecnológica? Rojas (2017) plantea que (en América Latina) hay una “escasez de innovación de calidad”; i. e., “la ausencia de un *pipeline* de proyectos de alto potencial ha limitado el desarrollo de la industria de capital de riesgo”.

Esto último es consistente con la doble brecha de capacidad tecnológica y de management existente en gran parte de las empresas del PPCM. Para subsanar esto se ha promovido la creación de aceleradoras e incubadoras. Aun cuando puede haber algunas excepciones exitosas, esta no ha sido la solución del problema. Como se ha señalado en la literatura, las brechas de capacidad tecnológica y *management* solo se resuelven incorporando profesionales dentro de las empresas (ver Meller & Parodi, 2016).

En Chile, la minería cuprífera es el sector más “tecnologizado”. En el futuro lo será aún más; como se señaló previamente: minería inteligente, autónoma, robotizada, control remoto, con sensores por todas partes, Internet de las cosas, lo cual implica “Internet de las operaciones mineras”, “*Big Data* minero”, “TIC minero”, etc. En consecuencia, las grandes compañías mineras tienen la oportunidad única de transformarse en el motor de la innovación en Chile y así demostrar que el “cobre es sinónimo de innovación”. Pero ¿qué incentivos podrían tener para hacerlo?: (i) La minería tiene que incorporarse a las revoluciones tecnológicas del siglo XXI. (ii) La minería es una actividad de largo plazo y las grandes compañías mineras van a seguir produciendo aquí por los próximos 30 a 50 años. (iii) La producción futura de cobre enfrenta diversos y complejos desafíos tecnológicos (ver Fundación Chile, 2016). (iv) Chile tiene el 30% de las reservas

mundiales de cobre. (v) El cobre es un material multiuso y si bien puede que sea sustituido en alguno de sus usos, no lo será en el total.

Para que el cobre sea realmente sinónimo de innovación se necesita que haya una postura proactiva de las grandes compañías mineras. Los altos ejecutivos de las compañías mineras manifiestan interés en apoyar a las empresas innovadoras. Como se señaló previamente, son profesionales chilenos de mandos medios de las empresas mineras los que no creen que las firmas chilenas puedan generar innovaciones útiles. Esto es justo lo opuesto a lo que sucede en Australia. Se sugieren algunas ideas al respecto: (a) Hacer cambios de fondo en la estructura organizacional de modo que la innovación adquiriera una importancia estratégica de largo plazo. La Vicepresidencia de Innovación debiera tener un estatus similar a la de Finanzas. (b) Debiera usarse un indicador vinculado a la innovación de empresas chilenas (proveedoras) en los convenios de desempeño para los bonos del personal (mandos medios) de las empresas mineras. (c) Además, un capítulo especial de los Informes de Sustentación de las Compañías Mineras (y tal vez el capítulo central) debiera estar dedicado a la contribución para generar innovación chilena.

Finalmente, ¿quién debiera ser el agente central para la generación de innovación? Los jóvenes. Los jóvenes de hoy piensan ¿en qué emprendimiento me meto?; son arriesgados y se tienen confianza; quieren que se les dé una oportunidad para aplicar sus ideas. Pero los jóvenes están encandilados por las TIC y por lo que han hecho los jóvenes en EE.UU.; sin embargo, es casi imposible que puedan crear el SuperGoogle. Por eso en Fundación Chile (con el apoyo de Corfo) se ha creado una plataforma de innovación abierta para que usen sus habilidades con TIC en tópicos y desafíos de la minería (PIAM). A nuestro juicio, es mayor la probabilidad de encontrar una importante y rentable innovación tecnológica minera, que inventar el SuperGoogle. En breve, la PIAM permitiría sesgar las preferencias de los jóvenes y, además, fomentar dinámicas colaborativas entre distintos agentes y participantes con habilidades y capacidades complementarias, ya que una de las principales brechas para la innovación de los proveedores mineros es la dificultad para desarrollar un producto de manera integral (bien o servicio completo); la colaboración entre actores con distintas capacidades sería una importante herramienta en este ámbito.

Visita de delegación china a colegio innovador de EE.UU. Pregunta del ministro chino de Educación: “¿Cuáles son los cursos del currículo donde se enseñan creatividad e innovación? Eso es lo que queremos que aprendan nuestros estudiantes”. Respuesta del director del colegio: “Le tengo una mala noticia. Eso no está en el currículo – Está en el aire que respiramos, en el agua que

bebemos, en la historia de EEUU – en el ADN: la predisposición a probar nuevas ideas – y en los proyectos que se hacen en los Colegios” (Trilling & Fadel, 2015).

El ideal sería que un ambiente parecido prevaleciera en toda la minería. Luego, esto haría que un joven fanático TIC considerara ir a trabajar a la minería como si fuera un sustituto cercano de Silicon Valley.

ANEXOS

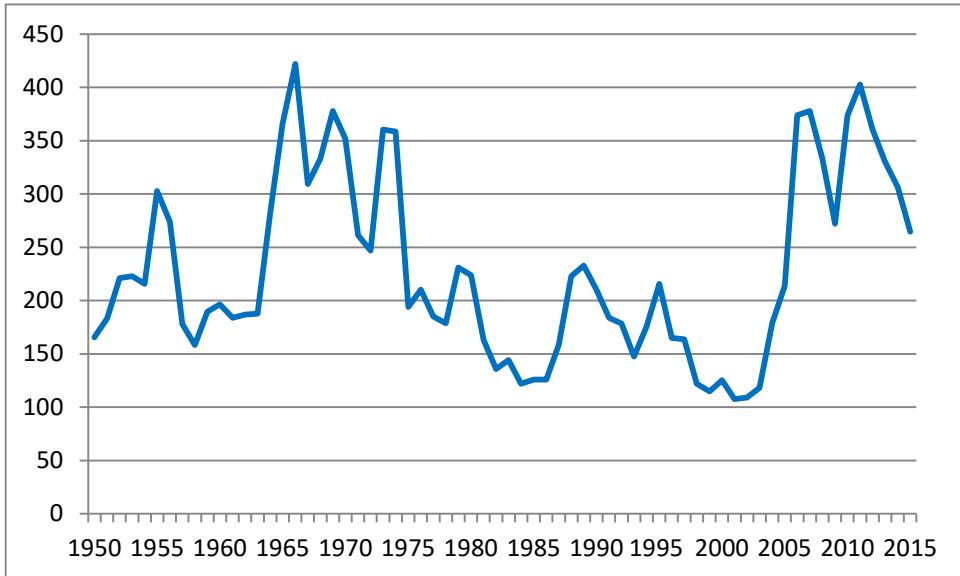
ANEXO 1 DINÁMICAS EXPERIMENTADAS POR LA LEY Y EL PRECIO DEL COBRE EN CHILE

GRÁFICO 4
LEYES DEL MINERAL EN LA MINERÍA DEL COBRE EN CHILE



Fuente: Consejo Minero (2017).

GRÁFICO 5
PRECIO REAL DEL COBRE (2012 US\$/LIBRA)



Fuente: Elaborado sobre la base de series de precios de los metales de Cochilco. Nota 1: Deflactor: Índice de Precios al por Mayor de Estados Unidos (PPI, *all commodities*), base Promedio 2012=100. Nota 2: Precio corresponde a la Bolsa de Metales de Londres.

ANEXO 2
DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DE INNOVACIÓN DEL PPCM
SEGÚN CLASIFICACIÓN DE BHP

- I. Caracterización: Levantamiento del desafío, desarrollo del caso de negocio, priorización y proceso de selección⁴⁹.
- II. I&D: Prueba de hipótesis a nivel laboratorio.
- III. Ingeniería: Desarrollo de prototipo a nivel laboratorio.
- IV. Definición: Prueba en faena.
- V. Compra de la solución validada.

⁴⁹ No todos los proyectos pasan por una etapa de caracterización, ya que hay casos donde el proveedor es el que ofrece a la minera con una propuesta de innovación.

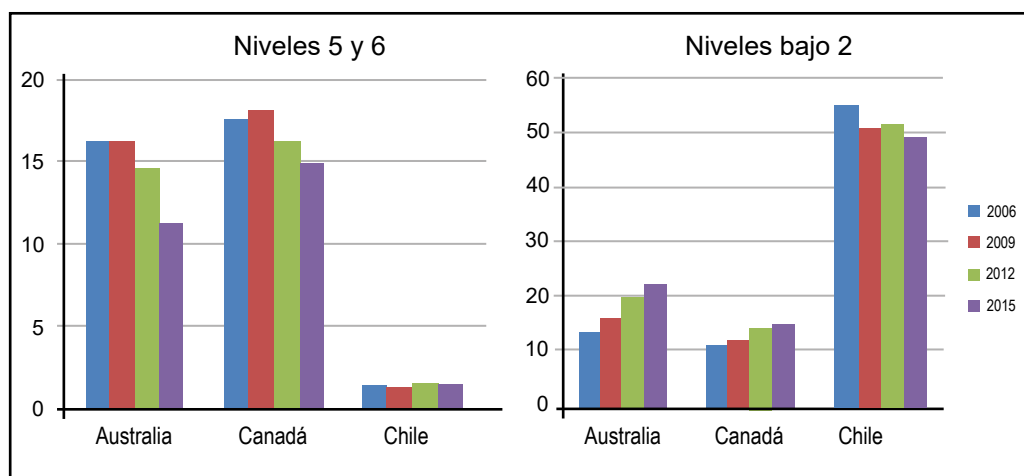
ANEXO 3

PUNTAJES DE PRUEBA PISA DE LECTURA EN ECONOMÍAS SELECCIONADAS

Como un ejercicio adicional sobre la calidad de la fuerza de trabajo, utilizaremos los resultados de la Prueba PISA para obtener órdenes de magnitud de la potencial formación de capital humano a corto y mediano plazo para tres economías: Australia, Canadá y Chile⁵⁰. Se hace énfasis en los resultados de Matemáticas y Ciencias, dado el sector relevante para el estudio.

La Prueba PISA permite clasificar los resultados de los estudiantes en seis niveles, siendo el nivel 6 el de mejores resultados. Como metodología, se propone estudiar el porcentaje de estudiantes que presentan resultados bajo el mínimo esperado (nivel 2)⁵¹ y para los *top performers* (niveles 5 y 6) en cada economía, para ver potencialidades y limitaciones en relación con la calificación del capital humano.

GRÁFICO 6
PORCENTAJE DE ALUMNOS POR NIVELES EN PAÍSES SELECCIONADOS EN PISA DE MATEMÁTICAS

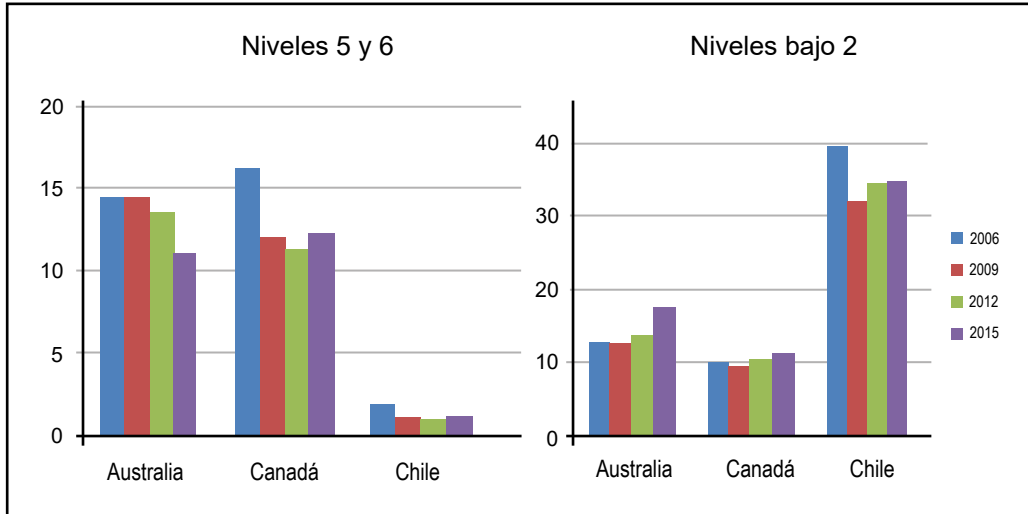


Fuente: Elaboración propia sobre la base de informes PISA.

⁵⁰ Se elige Canadá y Australia como comparación por ser líderes a nivel mundial en proveedores de la minería intensivos en tecnología.

⁵¹ El nivel 2 indica que los estudiantes han alcanzado el nivel básico mínimo en Matemáticas, Ciencias y Lectura.

GRÁFICO 7
 PORCENTAJE DE ALUMNOS POR NIVELES EN PAÍSES SELECCIONADOS EN PISA DE CIENCIAS



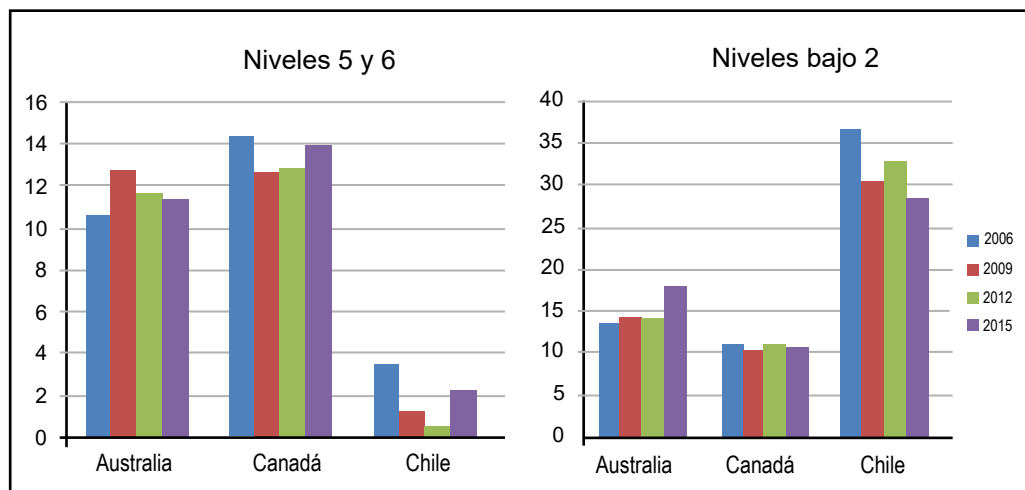
Fuente: Elaboración propia sobre la base de informes PISA.

En el Gráfico 6 se observa la disparidad de resultados entre los países bajo análisis. En Matemáticas los porcentajes de alumnos en los mejores niveles en Canadá y Australia oscilan⁵² entre el 15% y el 20% del total, mientras que para Chile esta cifra no supera el 2%. Por su parte, los alumnos que no alcanzan el nivel 2 en Chile son el 50% de los que rinden la prueba, mientras en los otros dos países este porcentaje está entre un 10% y un 20% dependiendo del año, mostrando un mejor desempeño Canadá.

En Ciencias, estas tendencias se mantienen y aunque Chile logra un mejor desempeño comparativamente que en la prueba de Matemáticas, las distancias entre este país y las otras dos economías bajo análisis siguen siendo muy importantes. El análisis presenta resultados similares –aunque un poco mejores para Chile– si se utiliza la Prueba PISA de Lectura (ver Gráfico 8).

⁵² Varían según año y país.

GRÁFICO 8
PORCENTAJE DE ALUMNOS POR NIVELES EN PAÍSES SELECCIONADOS EN PISA
DE LECTURA



Fuente: Elaboración propia sobre la base de informes PISA.

ANEXO 4

DESCRIPCIÓN DE NIVELES DE DESEMPEÑO PIAAC

TABLA 14
DESCRIPCIÓN DE NIVELES DE DESEMPEÑO EN COMPRENSIÓN LECTORA

Nivel	Tipos de tareas completadas con éxito en cada nivel de desempeño
Inferior a 1	Lectura de textos breves sobre tópicos familiares para localizar una información específica, idéntica en forma a la información de la pregunta, sin información contrapuesta en el texto.
1	Lectura de textos digitales o impresos (continuos, discontinuos o mixtos) relativamente cortos para localizar una información específica, idéntica o sinónima a la información de la pregunta, con poca información contrapuesta en el texto.
2	Lectura de textos digitales o impresos (continuos, discontinuos o mixtos) para relacionar e integrar dos o más fragmentos de información, parafrasear y realizar inferencias de bajo nivel, descartando fragmentos de información contrapuesta.
3	Lectura de textos densos o largos que incluyen varias páginas de texto continuo, discontinuo o mixto para identificar, interpretar o evaluar uno o más fragmentos de información y realizar inferencias. Requiere entender el texto y las estructuras retóricas.
4	Lectura de múltiples tipos de textos, complejos o largos, continuos, discontinuos o mixtos para integrar, interpretar o sintetizar información, llevar a cabo inferencias complejas y aplicar conocimientos personales previos.
5	Lectura de textos múltiples y densos para buscar e integrar información, sintetizar ideas o puntos de vista similares y contrastados, o evaluar argumentos verídicos. Normalmente se requiere seleccionar información clave de fuentes fidedignas para evaluar su fiabilidad.

Fuente: Centro de Estudios Mineduc (2016).

TABLA 15
DESCRIPCIÓN DE NIVELES DE DESEMPEÑO EN RAZONAMIENTO MATEMÁTICO

Nivel	Tipos de tareas completadas con éxito en cada nivel de desempeño
Inferior a 1	Realizar procesos simples tales como contar y ordenar; operaciones aritméticas básicas con números enteros o dinero; reconocer representaciones espaciales comunes en contextos familiares sin distractores y con poco o sin texto
1	Realizar procesos matemáticos básicos como contar y ordenar; operaciones aritméticas básicas; porcentajes elementales como el 50%; y localizar elementos de representaciones gráficas sencillas en contextos comunes y concretos, en los que el contenido matemático aparece de forma explícita con poco texto o distractores.
2	Realizar procesos matemáticos que requieren la aplicación de dos o más pasos que implican cálculo con números decimales de una o dos cifras, porcentajes y fracciones; medidas simples y representación espacial; estimación; y la interpretación de datos y estadísticas sencillas en textos, tablas y gráficos, en contextos comunes en los que el contenido matemático se presenta de forma visual o explícita.
3	Realizar procesos matemáticos que impliquen estrategias de resolución de problemas; la aplicación de conceptos de número y sentido espacial; reconocimiento de relaciones matemáticas, patrones, y proporciones expresadas tanto numérica como verbalmente; y la interpretación y análisis básico de datos y estadísticas en textos, tablas y gráficos en contextos no familiares y con la información matemática representada de forma más compleja.
4	Realizar procesos matemáticos de resolución de problemas en múltiples pasos, análisis y razonamiento sobre cantidades y datos; estadística y probabilidad; relaciones espaciales; proporciones y fórmulas en contextos no familiares con una amplia variedad de información matemática compleja o abstracta.
5	Realizar procesos matemáticos para integrar múltiples tipos de información matemática; realizar inferencias; desarrollar o trabajar con modelos o argumentos matemáticos; y justificar, evaluar y reflexionar de forma crítica acerca de los resultados en contextos con ideas matemáticas y estadísticas abstractas y formales, posiblemente incluidas en textos complejos.

Fuente: Centro de Estudios Mineduc (2016).

ANEXO 5

TIPOS DE INTERMEDIACIÓN EN EL PROCESO INNOVADOR

TABLA 16
TIPOS DE INTERMEDIACIÓN Y FUNCIONES DE INTERMEDIARIOS DE INNOVACIÓN

Tipo de intermediación	Función y comentarios
1) Pronosticar y diagnosticar: (a) Previsión y pronóstico tecnológico (b) Articular necesidades/requerimientos	Prever, pronosticar, generar hojas de ruta, etc.
2) Escaneo y procesamiento de información: (a) Escaneo e inteligencia tecnológica (b) Definición de alcance y filtro	
3) Procesamiento, generación y combinación de información: (a) Combinación (b) Generación y recombinación	Ayudar a combinar conocimiento de uno o más actores Análogo a lo anterior, pero también se actúa como generador de conocimiento que será compartido
4) "Gatekeeping and brokering" (a) Formación de "parejas" y <i>brokering</i> (b) Asesoría contractual	Facilitar la generación de contratos, una vez que los agentes están definidos Puede involucrar un especialista en propiedad intelectual
5) Testeo, validación y capacitación (a) Testeo, diagnóstico, análisis e inspecciones (b) Instalaciones de prototipaje y generación de pilotos (c) Escalamiento (d) Validación (e) Capacitación	Salas de testeo Incluye modelar manufactura (superar cuellos de botella) Validación de métodos analíticos Capacitación conjunta en uso de nuevas tecnologías
6) Acreditación y validación de estándares (a) Regulador de especificación y asesoramiento (b) Verificación y regulación de estándares formales (c) Regulador de estándares voluntarios	Incluye desarrollo de modelos de referencia
7) Regulación y arbitraje (a) Regulación (b) Autorregulación (c) Regulación informal y arbitraje	Regulación formal Árbitro informal entre diferentes entidades
8) Propiedad intelectual (a) Asesoría sobre propiedad intelectual (b) Gestión de la propiedad intelectual	Asesorar en proteger los derechos de PI provenientes de la colaboración Asegurar propiedad intelectual y su gestión
9) Comercialización (a) Marketing y planificación comercial (b) Redes de ventas y distribución (c) Búsqueda de financiamiento en etapas tempranas (capital) (d) Capital de riesgo (e) Oferta pública de acciones	Plan de negocios Establecimiento de canales de venta y distribución

10) Valoración y evaluación de tecnologías

(a) Valoración de tecnologías

Valoración general de tecnologías

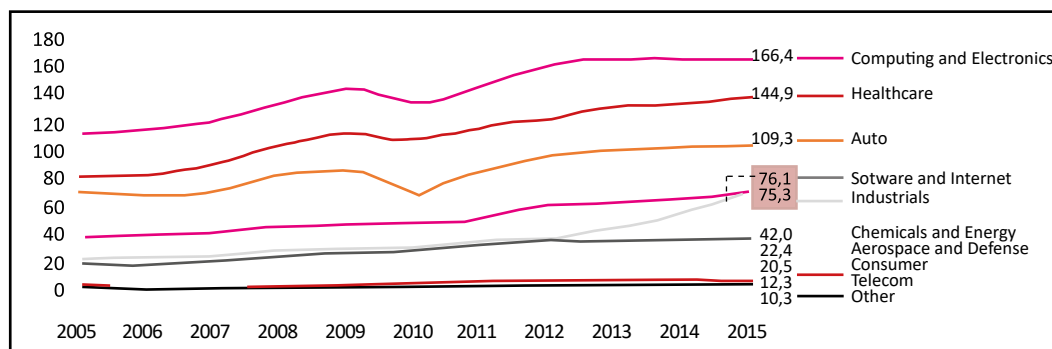
(b) Evaluación de tecnologías

Evaluación de productos y tecnologías (ya en el mercado)

Fuente: Modificado de Howells (2006).

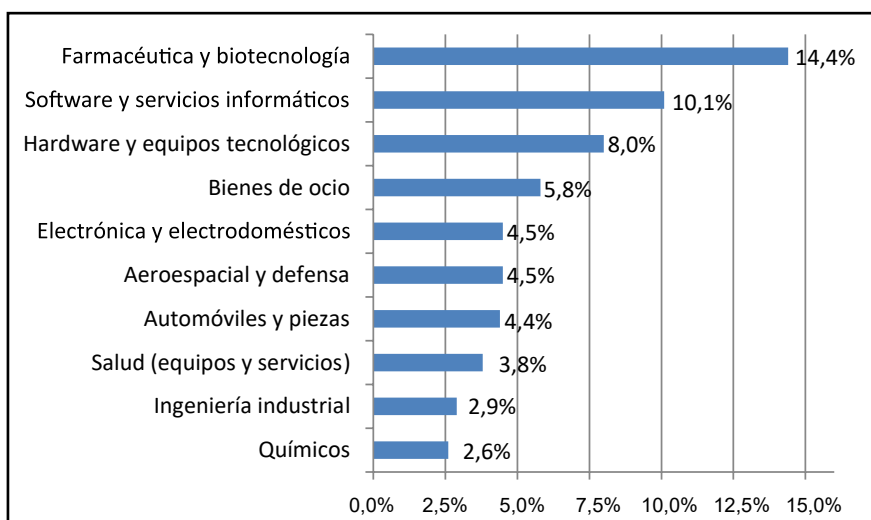
ANEXO 6 GASTO EN I+D POR INDUSTRIAS

GRÁFICO 9 EVOLUCIÓN GASTO EN I+D POR INDUSTRIA (US\$ MILES DE MILLONES)



Fuente: PricewaterhouseCoopers (PwC) <http://www.strategyand.pwc.com>

GRÁFICO 10 RATIO GASTO EN I&D/VENTAS POR INDUSTRIA (2014)



Fuente: Elaborado sobre la base de www.statista.com

REFERENCIAS

- Andrews, M., Pritchett, L., Samji, S., & Woolcock, M. (2015). Building capability by delivering results: Putting Problem-Driven Iterative Adaptation (PDIA). En A. Whaites, E. Gonzalez, S. Fyson, & G. Teskey, *A Governance Practitioner's Notebook: ALTERNATIVE IDEAS AND APPROACHES* (123-133). Paris.
- Austmine. (2013). *Australia's New Driver for Growth - METS*. Disponible en: <http://www.austmine.com.au/Portals/25/Content/Documents/Austmine%20Survey%20Highlights.pdf>.
- Bell, M. (2009). Innovation Capabilities and Directions of Development. STEPS *Working Paper 33*. Brighton: STEPS Centre.
- Bisang, R., Anlló, G., & Campi, M. (2015). *Políticas tecnológicas para la innovación: La producción agrícola argentina*. CIEPLAN-CAF.
- Bitrán, E., González, C., Greve, F., & Villena, M. (2014). ¿Innovar para exportar o exportar para innovar? Un análisis a nivel de firma de la industria manufacturera chilena, 1995-2010. *Estudios Públicos* (134), 109-130.
- Bravo-Ortega, C., & Muñoz, L. (2015). *Knowledge Intensive Mining Service in Chile: Challenges and Opportunities for Future Development*. Discussion Paper N° IDB-DP-418, Inter-American Development Bank, Competitiveness and Innovation Division.
- Brem, A. (2010). Special Issue on Open Innovation and The Integration of Suppliers Part One. *International Journal of Innovation Management*, 14(4).
- Brem, A., & Tidd, J. (2012). *Perspectives on Supplier Innovation: Theories, Concepts and Empirical Insights on Open Innovation and the Integration of Suppliers, Series on Technology Management*. Londres: Imperial College Press.
- Bryan, P. (2015). *The Case for Innovation in the Mining Industry*. Clareo.
- Buganza, T., Chiaroni, D., Colombo, G., & Frattini, F. (2015). Investigating Inter-Industry Differences in the Implementation of Open Innovation. En

- J. Tidd (Ed.), *Open Innovation: Research, Management, and Practice* (323-355). London: Imperial College Press.
- Centro de Estudios Mineduc. (2016). Competencias de la población adulta en Chile: Resultados PIACC - *Evidencia nacional e internacional para la reforma en marcha*. Serie Evidencias N° 33, año 2016, Ministerio de Educación.
- CEPAL. (2016). *La política de desarrollo productivo tras la reestructuración de la economía hacia los recursos naturales*. Mimeo.
- Cesco-Fundación Chile. (2014). *Proveedores y Minería: Desafíos para potenciar la Innovación de Alto Impacto*.
- Chesbrough, H. (2003). The Era of Open Innovation. *MIT Sloan Management Review*, 35-41.
- Chesbrough, H. (2010). How Smaller Companies can benefit from Open Innovation. *Economy, Culture & History Japan Spotlight Bimonthly*, JAPECO, Japan Economic Foundation (JEF).
- Comisión Nacional de Productividad y Fundación Chile. (2016). *Caracterización de Proveedores de la Minería Chilena 2016*. Santiago, Chile. Mimeo.
- Consejo Minero. (2017). *Minería en Cifras*.
- Corfo y Fundación Chile. (2016-2017). Formulario de postulación de iniciativas al Fondo e Inversión Estratégica - FIE: *Programa de Innovación Abierta en Minería*.
- Deloitte. (2016). *Innovation in mining: Australia 2016*.
- Dutrénit, G. (2004). Building Technological Capabilities in Latecomer Firms: A Review Essay. *Science Technology Society*, 209-241.
- Echecopar, G., & Musso, R. (24 de 03 de 2014). La Tercera. Recuperado el 03 de 02 de 2017, de <http://www.latercera.com/noticia/clase-3-atravesando-el-valle-de-muerte-curso-emprendimiento/>
- Escuela de Negocios Mineros, Universidad Católica del Norte. (2015). *Informe Final Primera Etapa Programa Estratégico Regional Clúster Minero para la Región de Antofagasta*.
- Ford, G., Koutsky, T., & Piwak, L. (2007). *A Valley of Death in the Innovation Sequence: An Economic Investigation*. Phoenix Center for Advanced Legal & Economic Public Policy Studies.
- Fundación Chile. (2012). *Guía programa de proveedores de clase mundial*. Santiago.
- Fundación Chile. (2014). *Proveedores de la minería. Segundo estudio de caracterización 2014*.
- Fundación Chile. (2015). *Proveedores de la minería chilena. Reporte de exportaciones 2010-2014*.
- Fundación Chile. (2016). *Desde el cobre a la innovación: Roadmap tecnológico 2015-2035*.

- Fundación Chile-Phibrand. (2016). *Casos de innovación de proveedores de la minería chilena*.
- Gassman, O., & Enkel, E. (2004). Towards a Theory of Open Innovation: Three Core Process Archetypes. *R&D Management Conference (RADMA)*. Lisboa, Portugal.
- González, C., & Bitrán, E. (2017). Cooperar en I+D+i: ¿Con quién y para qué? *Evidencia microeconómica para Chile*. Mimeo.
- Grossman, G., & Helpman, E. (1991). *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge: MIT Press.
- Hall, B. H. (2002). The Financing of Research and Development. *NBER Working Paper* (8773).
- Hossain, M. (2012). Performance and Potencial of Open Innovation Intermediaries. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (58), 754-764.
- Hottenrott, H., & Peters, B. (2009). Innovative capability and financing constrains for innovation: More money, more innovation? *ZEW Discussion Papers*, 09-081.
- Howell, S. (2015). *Financing Constraints as Barriers to Innovation: Evidence from R&D Grants to Energy Startups*. JOB MARKET PAPER.
- Howells, J. (2006). Intermediation and the role of intermediaries in innovation. *Research Policy*, 35(5), 715-728.
- Hyysalo, S. (2004). *Uses of Innovation. Wristcare in the Practices of Engineers and Elderly*. Helsinki: Helsinki University Press.
- IPSOS. (2009). *Informe final encuesta segmentación de proveedores de la minería 2009*. Preparado para InnovaChile.
- Isaacson, W. (2014). *The Innovators: How a Group of Hackers, Geniuses, and Geeks Created the Digital Revolution*. New York: Simon & Schuster.
- Kim, L. (1997). *Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea's Technological Learning*. Harvard Business Press.
- Kim, L. (1999). Building Technological Capability for Industrialization: Analytical Frameworks and Korea's Experience. *Industrial and Corporate Change*, Volume 8, Number 1, 1999, 111-136.
- Korinek, J. (2013). Mineral Resource Trade in Chile: Contribution to Development and Policy Implications. *OECD Trade Policy Papers* (145).
- Krugman, P. (1987). The narrow moving band, the Dutch disease, and the competitive consequences of Mrs. Thatcher: Notes on trade in the presence of dynamic scale economies. *Journal of Development Economics*, 27(1-2), 41-55.

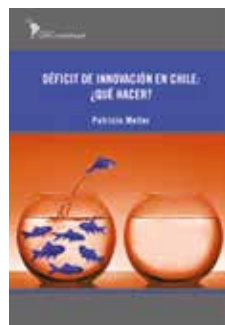
- Lazzarotti, V., & Manzini, R. (2009). Different Modes of Open Innovation: A Theoretical Framework and an Empirical Study. *International Journal of Innovation Management*, 13(4), 615-636.
- Lederman, D., & Maloney, W. (2001). *Open Questions about the Link Between Natural Resources and Economic Growth: Sachs and Warner Revisited*. Washington DC: World Bank.
- Lederman, D., & Maloney, W. F. (2007). *Natural Resources: Neither Curse nor Destiny*. DC: World Bank; Palo Alto, CA: Stanford University Press.
- Lima, M., & Meller, P. (2002). *Dilemas y Debates del Cobre*. Dolmen Ediciones.
- Marín, A., Kababe, Y., Figueiredo, P., & Bravo Ortega, C. (2012). Using Natural Resources Industries as a Platform for the Development of Knowledge Intensive Industries in Latin America: The Seed Industries in Argentina, Brazil and Chile. *Working Paper Cenit*, N° 49.
- Marín, A., Navas-Alemán, L., & Pérez, C. (2015). Natural Resource Industries as a Platform for the Development of Knowledge Intensive Industries. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 106(2), 154-168.
- Meller, P. (2013). *Recursos Naturales y Diversificación Exportadora: Una Mirada de Futuro para América Latina*. Santiago: CIEPLAN-CAF.
- Meller, P., & Gana, J. (2015a). *El cobre chileno como plataforma de innovación tecnológica*. Santiago: CIEPLAN-CAF.
- Meller, P., & Gana, J. (2015b). *El desarrollo de proveedores mineros en Australia: Implicancias para Chile*. Santiago: CIEPLAN.
- Meller, P., & Parodi, P. (2016). La importancia de la capacidad tecnológica en un mundo global. Santiago: CIEPLAN-CAF.
- Meller, P., Poniachik, D., & Zenteno, I. (2013). América Latina & la bendición de los recursos naturales. En P. Meller (Ed.), *Recursos naturales y diversificación exportadora* (15-72). Santiago: CIEPLAN-CAF.
- Moncada-Paternò-Castello, P. (2016). *Sector dynamics and demographics of top R&D firms in the global economy*. JRC Working Papers on Corporate R&D and Innovation N° 06/2016, Joint Research Centre.
- Noras, P. (2009). *Development of the Scandinavian Mining Clusters*. Presentación en Seminario Sofofa “Innovación para crecimiento y sustentabilidad - Éxito de Finlandia y Chile”. Santiago de Chile, noviembre 2009.
- Pavitt, K. (1984). Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory. *Research Policy* 13, 343-373.
- Phibrand. (2016). *El sistema de innovación minero en la región de Antofagasta*. Encargado por el Ministerio de Minería.
- Poot, T., Faems, D., & Vanhaverbeke, W. (2014). Toward a Dynamic Perspective on Open Innovation: A Longitudinal Assessment of the Adoption of

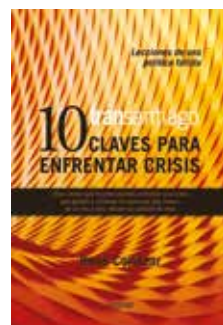
- Internal and External Innovation Strategies in the Netherlands. En J. Tidd (Ed.), *Open Innovation: Research, Management and Practice* (297-322). London: Imperial College Press.
- Robinson, D. (2006). *An Emerging Innovation System: Sudbury's Mining Supply and Services Sector*. Institute for Northern Ontario Research and Development and Department of Economics, Laurentian University.
- Rocha, F. (2015). *Recursos naturales como alternativa para la innovación tecnológica: Petróleo y gas en Brasil*. Santiago: CIEPLAN-CAF.
- Rojas, L. (2017). *Situación del financiamiento de la innovación en América Latina*. Santiago: CAF-CIEPLAN.
- Russell, S., & Williams, R. (2002). Concepts, spaces and tools for action? Exploring the policy potential of the social shaping technology: Perspective. En K. Sørensen, & R. Williams (Edits.), *Shaping Technology, Guiding Policy: Concepts, Spaces and Tools* (133-154). Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Sach, J., & Warner, A. (1995). Natural Resource Abundance and Economic Growth. *NBER Working Paper* N° 5398.
- Scott-Kemmis, D. (2013). *How about those METS? Leveraging Australia's mining equipment, technology and services sector*. A public policy analysis produced for the Minerals Council of Australia.
- Sinnott, E., Nash, J., & de la Torre, A. (2010). *Natural Resources in Latin America and the Caribbean, Beyond Booms and Busts?* World Bank Latin American and Caribbean Studies.
- Sørensen, K. (1996). Learning technology, constructing culture. Socio-technical change as social learning. *STS Working Paper University of Trondheim* (18).
- Stewart, J., & Hyysalo, S. (2008). Intermediaries, Users, and Social Learning in Technological Innovation. *International Journal of Innovation Management*, 12(3), 29-325.
- Trilling, B., & Fadel, C. (2015). *21st Century Skills: Learning for Life in Our Times*. San Francisco: Wiley.
- Trott, P., & Hartmann, D. (2014). Open Innovation: Old Ideas in a Fancy Tuxedo Remedy a False Dichotomy. En J. Tidd (Ed.), *Open Innovation Research, Management, and Practice* (359-386). Londres: Imperial College Press.
- Urzúa, O. (2012). Emergence and Development of Knowledge-Intensive Mining Services (KIMS). *The Other Canon Foundation and Tallinn University of Technology Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics* (41).
- Urzúa, O. (23 de 11 de 2016). *Minería, una plataforma de futuro: Una estrategia para desplegar el potencial de desarrollo de una minería sustentable*. Presentación

en MBA Global - Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Industrial.

- Urzúa, O., Wood, A., Iizuka, M., Vargas, F., & Bauman, J. (2016). *Discovering new Public-Private Partnerships for productive and technological development in emerging mining countries*.
- VCI. (2014). *Innovation State of PLayer: 2014 Report*.
- Von Hippel, E. (1994). Sticky information and the Locus of Problem Solving: Implications for Innovation. *Management Science*, 40(4), 429-439.
- Williams, R., Slack, R., & Stewart, J. (2005). *Social Learning in Technological Innovation - Experimenting with Information and Communication Technologies*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Winch, G. M., & Courtney, R. (2007). The organization of innovation brokers: An international Review. *Technology Analysis & Strategic Management*, 19(6), 747-763.
- Zahra, S. (1996). Technology strategy and new venture performance: a study of corporate-sponsored and independent biotechnology ventures. *Journal of Business Venturing*, 11, 289-321.
- Zurbriggen, C., & Sierra, M. (2015). *Redes, innovación y trazabilidad en el sector cárnico uruguayo*. Santiago: CIEPLAN-CAF.

PUBLICACIONES CIEPLAN /UTALCA







PROGRAMA
CIEPLAN|UTALCA