

SERIE DOCUMENTOS
DEL REPORTE ANUAL 2014
Recursos Naturales y Desarrollo

ESTUDIO PAÍS N°3: CHILE

El desafío de la innovación en la industria minera: el caso de Chile

José Miguel Benavente H. - Juan José Price E.



RED SUR
Red Sudamericana
de Economía Aplicada



IDRC | CRDI

International Development Research Centre
Centre de recherches pour le développement international

Canada

INSTITUCIONES MIEMBROS DE RED SUDAMERICANA DE ECONOMÍA APLICADA / RED SUR >

ARGENTINA

Centro de Estudios de Estado y Sociedad (CEDES)
Centro de Investigaciones para la Transformación (CENIT)
Instituto Torcuato Di Tella (ITDT)
Universidad de San Andrés (UDES)

BRASIL

Instituto de Economía, Universidade Estadual de Campinas (IE-UNICAMP)
Instituto de Economía, Universidade Federal de Río de Janeiro (IE-UFRJ)
Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)
Fundação Centro de Estudos do Comércio Exterior (FUNCEX)

PARAGUAY

Centro de Análisis y Difusión de Economía Paraguaya (CADEP)
Desarrollo, Participación y Ciudadanía (Instituto Desarrollo)

URUGUAY

Centro de Investigaciones Económicas (CINVE)
Departamento de Economía, Facultad de Ciencias Sociales,
Universidad de la República (DECON-FCS, Udelar)
Instituto de Economía, Facultad de Ciencias Económicas y de Administración (IECON-CCEE,
Udelar)

TÍTULOS DE LA SERIE RED SUDAMERICANA DE ECONOMÍA APLICADA / RED SUR >

- El Boom de Inversión Extranjera Directa en el Mercosur
- Coordinación de Políticas Macroeconómicas en el Mercosur
- Sobre el Beneficio de la Integración Plena en el Mercosur
- El desafío de integrarse para crecer: Balance y perspectivas del Mercosur en su primera década
- Hacia una política comercial común del Mercosur
- Fundamentos para la cooperación macroeconómica en el Mercosur
- El desarrollo industrial del Mercosur
- 15 años de Mercosur
- Mercosur: Integración y profundización de los mercados financieros
- La industria automotriz en el Mercosur
- Crecimiento económico, instituciones, política comercial y defensa de la competencia en el Mercosur
- Asimetrías en el Mercosur: ¿Impedimento para el crecimiento?
- Diagnóstico de Crecimiento para el Mercosur: La Dimensión Regional y la Competitividad
- Ganancias Potenciales en el Comercio de Servicios en el Mercosur: Telecomunicaciones y Bancos
- La Industria de Biocombustibles en el Mercosur
- Espacio Fiscal para el Crecimiento en el Mercosur
- La exportación de servicios en América Latina: Los casos de Argentina, Brasil y México
- Los impactos de la crisis internacional en América Latina: ¿Hay margen para el diseño de políticas regionales?
- La inserción de América Latina en las cadenas globales de valor
- El impacto de China en América Latina: Comercio e Inversiones
- Los desafíos de la integración y los bienes públicos regionales: Cooperación macroeconómica y productiva en el Mercosur
- Enrique V. Iglesias. Intuición y ética en la construcción de futuro
- Los recursos naturales como palanca del desarrollo en América del Sur: ¿ficción o realidad?
- Los recursos naturales en la era de China: ¿una oportunidad para América Latina?
- ¿Emprendimientos en América del Sur?: La clave es el (eco) sistema
- Uruguay + 25. Documentos de Investigación
- Reporte Anual y Resumen Ejecutivo "Recursos Naturales y Desarrollo" > Edición 2014

La Red Sudamericana de Economía Aplicada/Red Sur es una red de investigación formada por universidades públicas y privadas, y centros de producción de conocimiento de la región. Sus proyectos son regionales e involucran permanentemente a investigadores/as de varios países de América del Sur.

La misión de la Red es contribuir al análisis y el debate socioeconómico regional identificando respuestas a los desafíos del desarrollo. Promueve, coordina y desarrolla estudios conjuntos desde una perspectiva independiente y rigurosa sobre la base de metodologías comunes desde una visión regional. Integra las dinámicas globales y analiza las lecciones aprendidas de otras experiencias y regiones, para atender las prioridades para el crecimiento inclusivo y sustentable en América del Sur.

Desde sus inicios, la Red ha tenido el apoyo del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC de Canadá).



Edificio Mercosur,
Luis Piera 1992, 3^{er} piso
11200, Montevideo – Uruguay
Tel: (+598) 2410 1494
www.redsudamericana.org
coordinacion@redmercosur.org

Este estudio país se realizó en el marco del proyecto “Oportunidades para generar valor en la producción de recursos naturales: actividades de innovación y redes de conocimiento en el Cono Sur” y forma parte de los documentos base del Reporte Anual de Recursos Naturales y Desarrollo 2014 de la Red Sudamericana de Economía Aplicada/Red Sur.

Este trabajo analiza las redes que se han formado para generar y adaptar conocimiento útil para los desafíos que enfrenta la minería del cobre en Chile. Se comienza presentando a la empresa biotecnológica Agumarina y sus principales alianzas, para luego concentrarse en la red con la que estas organizaciones se relacionan. Agumarina será entonces considerada el nodo central, y a partir de las relaciones que ella mantiene con diversos organismos y empresas, se intenta comprender mejor los desafíos que enfrentan estas organizaciones y la naturaleza de las relaciones que se dan entre ellas.

La realización de este trabajo fue posible gracias al apoyo del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC, Canadá), en el marco del proyecto “Pequeñas y medianas empresas, creación de empleo y sostenibilidad: Maximizando las oportunidades del auge de los commodities en América del Sur”. Además, contó con el apoyo de Pérez-Guerrero Trust Fund for South-South Cooperation, Group of 77, Naciones Unidas, en el marco del proyecto “Integración regional e infraestructura para el desarrollo en América Latina”.

ESTUDIO PAÍS N° 3: CHILE

El desafío de la innovación en la industria minera: el caso de Chile

José Miguel Benavente H.

Universidad Adolfo Ibáñez y Núcleo Milenio Intelis

Juan José Price E.

Núcleo Milenio Intelis

Junio 2014



IDRC | CRDI

1 - INTRODUCCIÓN

La minería es la principal actividad económica de Chile y el crecimiento que ha experimentado esta industria en los últimos 25 años ha sido muy significativo, lo que se ha visto reflejado en el valor de producción, empleo, salarios reales, aporte al fisco y exportaciones¹. Sin embargo, hace algunos años se ha observado que el ciclo expansivo de la industria enfrenta desafíos en términos de productividad, fuentes de energía y exigencias ambientales, los que deben ser acometidos decididamente y sin pérdida de tiempo.

Como en todo desafío que consiste en lograr mayores niveles de productividad y sustentarlos en el largo plazo, la innovación aparece como un tema a tratar. Y eso supone en primer lugar analizar cuáles son las fuentes de innovación a las que pueden “echar mano” las empresas. Una de nuestras principales conclusiones es que los proveedores son una fuente de innovación muy relevante.

En efecto, en este trabajo analizamos las redes que se han formado para generar y adaptar conocimiento útil para los desafíos que enfrenta la minería del cobre en Chile. Para eso comenzaremos presentando a la empresa biotecnológica Aguamarina y sus principales alianzas, para luego concentrarnos en la red con la que estas organizaciones se relacionan. Aguamarina será entonces nuestro nodo central, y a partir de las relaciones que ella mantiene con diversos organismos y empresas, intentaremos comprender mejor los desafíos que enfrentan estas organizaciones y la naturaleza de las relaciones que se dan entre ellas.

Dedicaremos parte importante de este trabajo al llamado Programa de Proveedores de Clase Mundial (PPCM), también denominado Cluster Minero, liderado por BHP Billiton y Codelco, apoyado por el sector público y coordinado por Fundación Chile, el que ha destacado por apostar por la innovación abierta junto a proveedores como mecanismo para responder a desafíos de la industria. Dedicaremos este espacio especial al Cluster Minero por dos razones principales: (i) el Cluster Minero es tal vez la entidad más relevante de nuestra red en lo que respecta a las posibilidades de la industria para generar una masa crítica de proveedores más sofisticados, que puedan generar conocimiento útil para que la minería enfrente los desafíos que tiene; y (ii) el *cluster* es además un socio estratégico clave de nuestro nodo central, en la medida que representa

1. Ver información en el Anexo 4.

una puerta de entrada para que Aguamarina acceda a nuevos desafíos para aplicar sus soluciones biotecnológicas a problemas operacionales concretos².

El análisis de redes tendrá en cuenta la naturaleza, importancia y frecuencia de los vínculos entre el nodo central y los otros actores y de éstos entre sí. Este análisis indica que la red de conocimiento para esta industria es compleja, por cuanto en ella intervienen organizaciones con misiones muy disímiles, tales como organismos académicos, empresas, reparticiones públicas y centros de investigación, nacionales y extranjeros, con y sin fines de lucro, públicos y privados. Asimismo, veremos que el mayor grado de articulación de esta red es fundamental no sólo para generar un flujo de innovación consistente con las necesidades de la industria minera, sino también para adaptar soluciones tecnológicas que den respuesta a los problemas operacionales que tienen otros sectores productivos. Este efecto derrame (*spillover*) es un derivado fundamental del funcionamiento de la red que analizamos en este documento.

2. Además, y desde una perspectiva que trasciende el tema central de este trabajo, nos gustaría señalar que a nuestro juicio esta iniciativa respalda la política de *clusters*, impulsada por el gobierno a finales de la década pasada, abandonada por el gobierno siguiente (marzo 2010-marzo 2014) y que esperamos sea retomada por las nuevas autoridades (Benavente y Price, 2014).

2 - LA ACTIVIDAD MINERA EN CHILE: EL DESAFÍO DE LA INNOVACIÓN

La industria minera ha jugado un rol central en el crecimiento económico de Chile, principal productor de cobre del mundo y dueño de casi el 30% de las reservas de cobre que existen a nivel mundial. Luego de una producción de cobre estancada en torno a 1,4 millones de toneladas anuales durante los años ochenta, en la década siguiente superó las 4 millones de toneladas. Posteriormente ese crecimiento continuó, aunque a menor ritmo, y en los últimos años se ha estabilizado en torno a 5,3 millones de toneladas anuales. Esto ha permitido que Chile pase a representar desde un 16% de la producción mundial antes de la década del noventa a 32% en la actualidad. En el año 2012, el valor de la producción minera fue 12% del PIB, las exportaciones mineras alcanzaron un valor equivalente al 60% de las exportaciones nacionales, y el aporte que hizo la actividad al erario público fue equivalente al 14% de los ingresos fiscales³.

No obstante, la industria enfrenta desafíos importantes y crecientes en la actualidad. En efecto, se espera que la demanda por cobre siga siendo significativa (China seguirá siendo muy intensivo en este mineral), pero las minas son más complejas de operar, las leyes del mineral son más bajas, la roca es más dura, los costos de la energía y el agua son más elevados y los estándares ambientales y sociales son más exigentes. Por lo tanto, la pregunta (y el desafío) es cómo atendemos esta fuerte demanda en las próximas décadas manteniendo costos para seguir ofreciendo el producto de manera competitiva.

Veremos que para enfrentar este desafío la industria minera requiere de un esfuerzo de innovación abierta, que incorpore a los proveedores como una de sus principales fuentes para nutrirse de nuevos conocimientos, tecnologías e innovaciones. El conjunto de proveedores de la minería constituye un *driver* de innovación que puede permitir iniciar un camino hacia la sofisticación productiva, dejando de ser principalmente un país productor y exportador de recursos naturales sin mucho valor agregado⁴.

3 Si consideramos una serie de tiempo de las dos décadas pasadas, la participación de la minería en el PIB se ha ubicado en torno al 13%, con picos de 20% y mínimos de 7%, las exportaciones mineras han representado el mencionado 60% y el aporte a las arcas fiscales ha sido en promedio cercano al 19%.

4. La experiencia de Australia es un ejemplo interesante en este sentido; ese país ha logrado desarrollar un potente sector de proveedores de servicios, equipamientos y tecnologías para la minería (ver Scott-Kemmis, 2011)

¿Existe información que respalde una estrategia de innovación que confíe especialmente en los proveedores? La verdad es que sí. Un reciente estudio (FCH, 2014) indica que la innovación es más prevalente en la industria minera que a nivel de la economía en general. También se observa que la innovación es más generalizada entre proveedores que a nivel de la industria minera, siendo similar en lo que respecta a la innovación de procesos. La mitad de la innovación de productos y procesos se realiza al interior de la empresa pero solo el 18% de las empresas colabora con otras instituciones para innovar.

Durante 2012 Fundación Chile publicó el Primer Estudio de Caracterización de Proveedores de la Minería, que recopiló información del sector relativa a los años 2009 y 2010. Esto es fundamental para tener una idea sobre la dimensión del sector y sobre las brechas que éste enfrenta. El estudio concluye, entre otras cosas, que los proveedores poseen altas tasas de innovación, significativamente mayores que las observadas en la industria nacional y minera. Un 25% de las empresas se clasificó como Innovadores Esenciales, empresas que poseen altos niveles de innovación y capacidades para desarrollar nuevas tecnologías y equipos. Aunque también es cierto que requieren apoyo en ámbitos relacionados con la gestión de la innovación.

Para enfrentar esto, como veremos más adelante en este capítulo, el Cluster Minero (PPCM) ha buscado potenciar a empresas proveedoras locales en el desarrollo de nuevas soluciones para la minería, que sean intensivas en conocimiento y tecnologías, y que tengan el potencial de ser escaladas y exportadas a otros países e industrias, contribuyendo de ese modo a mejorar la competitividad de la industria minera nacional.

3 - LA RED, SUS ACTORES Y LAS RELACIONES ENTRE ELLOS

Hemos visto que los proveedores pueden desempeñar un rol fundamental en la generación de conocimiento útil para que la industria minera enfrente los desafíos que tiene en materia de productividad, control de costos e impacto ambiental.

A continuación profundizaremos en el análisis de la forma como el colectivo de empresas proveedoras se relacionan entre ellas y con las empresas mineras para cumplir con este objetivo. Para lograr esto, hemos decidido estudiar el trabajo de Aguamarina, una empresa chilena que, liderada por la microbióloga Pamela Chávez, está creando soluciones para la minería y otros sectores en base al uso de microorganismos.

El trabajo de esta empresa se ve beneficiado por una serie de relaciones con otros actores, públicos y privados, en el ámbito productivo y académico, tanto en Chile como en el extranjero. Analizaremos las capacidades internas de esta firma y los vínculos que ha desarrollado con estos actores. Veremos también que estos otros actores se relacionan no sólo con el nodo central (Aguamarina) sino también entre ellos, en aspectos que incluyen las actividades de investigación, capacitación y transferencia tecnológica, por nombrar algunas. Un listado de los entrevistados se presenta en el Anexo 1. Al final de esta sección se hace referencia a las principales conclusiones en términos de tipos, frecuencia y dirección de los vínculos entre distintos actores de la red.

a. El nodo central: Aguamarina SA

El nodo central de nuestra red es Aguamarina SA, empresa de capital nacional que fue creada en 2007 y tiene sus oficinas centrales en la ciudad de Antofagasta, donde opera un laboratorio privado de investigación (el único de la zona norte de Chile). Aguamarina fue creada y es liderada por Pamela Chávez, doctora en microbiología y especialista en microorganismos extremófilos. A partir de su conocimiento de los microorganismos, Pamela está creando soluciones para la mediana y gran minería y, a partir de esos resultados y de alianzas con otras empresas, para otros sectores productivos. Como dice ella: *"el origen de la vida está en los microorganismos que vivieron en condiciones muy extremas. Como no se ven, no nos damos cuenta de su importancia. Pero no podemos vivir sin ellos. Si hay que lograr algo, siempre habrá un microorganismo que te pueda ayudar"*. Y continúa: *"Las bacterias son responsables de la fijación de las vitaminas en el*

estómago y del crecimiento de las plantas, por nombrar sólo algunos procesos vitales fundamentales. Sólo el uno por ciento de las bacterias son patógenas; el resto constituye una ayuda fundamental para la vida humana y la sustentabilidad de nuestro planeta. Y las bacterias también pueden ayudar en procesos industriales”.

Aguamarina es un ejemplo notable de investigación orientada por misión. Uno de sus productos más destacados, y con el cual comenzó a relacionarse con un número significativo de empresas mineras, consiste en una solución biotecnológica para reducir la cantidad de material particulado en suspensión. También han desarrollado soluciones y servicios en materia de biolixiviación bacteriana, lo cual impacta significativamente la rentabilidad de las empresas, pues permite recuperar metales desde minerales de baja ley y disminuir los tiempos de operación.

La empresa también ha diseñado soluciones para la evaluación de recursos hídricos de uso industrial, combinando técnicas tradicionales de medición de corrosión con modernas tecnologías de análisis microbiológico. Por último, en el área de los relaves⁵ Aguamarina ofrece servicios basados en el diagnóstico microbiológico que disminuyen los problemas operacionales, reduciendo la cantidad de lodo y los molestos olores asociados, lo cual tiene un impacto positivo en términos de la producción de agua para uso industrial y de mejoras ambientales en general.

Aguamarina se financia con aportes privados (principalmente de los mismos clientes en la etapa de investigación) de los clientes y propios y con fondos públicos (programas Innova de la Corporación de Fomento de la Producción -Corfo- y Fondef de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica -Conicyt-). Además, en el caso de los fondos privados, éstos obtienen beneficios tributarios, pues la empresa está inscrita en Corfo y registrada para obtener los beneficios de la Ley de I+D. Aquí, por tanto, vemos que se da una relación virtuosa en materia de financiamiento de la I+D, en que concurren el Estado, la empresa creadora de conocimiento y aquella que lo demanda.

El equipo está compuesto por treinta profesionales de distintas especialidades. Este es un “equipo emprendedor”, con dos personas que han recibido la distinción Emprendedor Endeavour, los que se suman a otros ejecutivos jóvenes que mantienen emprendimientos en otros sectores. Además, el equipo tiene una estructura organizacional bastante horizontal, cuestión que se refleja en que Pamela Chávez ha delegado funciones críticas en otras gerencias, las que se

5. Los relaves son lugares (tales como tranques) donde se depositan los desechos tóxicos de los procesos mineros. Estos desechos presentan una alta concentración de químicos y otros elementos nocivos para el medio ambiente y solo si son manejados eficientemente puede el agua ser recuperada y se puede así evitar la contaminación del suelo y las napas. El manejo de este proceso es caro y las empresas deben buscar soluciones económicas desde el punto de vista privado y ambiental.

relacionan directamente con el Directorio, permitiéndole a ella concentrarse en las tareas de investigación y en la “parte creativa” del proyecto.

Los investigadores del laboratorio son el corazón de la empresa. En general ellos han llegado a la empresa en búsqueda de oportunidades para realizar sus tesis de doctorado o para empezar a trabajar como investigadores luego de obtener sus grados de doctor o de haber finalizado un post doctorado en las mejores universidades de Japón, Estados Unidos e Inglaterra. La figura de Pamela Chávez ha sido muy importante en esto.

Aguamarina recibe a estos investigadores en la medida que el plan de trabajo propuesto sea interesante para la empresa (y en general lo ha sido). Además, para recibir aquellos que aspiran a realizar su tesis de doctorado, la empresa postula estos proyectos académicos a alguno de los programas de financiamiento que cuentan con financiamiento público.

Aunque esta empresa aún debe ser considerada un emprendimiento (actualmente facturan dos millones de dólares) es esperable que crezca en un futuro cercano. En efecto, actualmente muchos de sus proyectos están en desarrollo y la idea es que una vez testeados a nivel industrial puedan ser empaquetados y comercializados.

En efecto, el modelo de negocios reconoce que la principal fuente de valor agregado de Aguamarina es el desarrollo de soluciones tecnológicas y no su empaquetamiento ni su comercialización; estas tareas pueden ser delegadas en otras empresas (incluso en el mismo cliente) y el flujo de ingresos para Aguamarina depender de alguna forma de licenciamiento. Esto se ha cumplido en la mayoría de los proyectos emprendidos por la empresa; una empresa interesada ha pedido a AM desarrollar una solución innovadora de alto impacto para un problema operacional puntual, y la investigación ha sido financiada por el cliente. Además del licenciamiento la relación se mantiene para desarrollar mejoras, otros productos, monitoreo y servicios especializados de post venta. Aunque esto determina que en general los flujos sean *out* (servicios prestados por Aguamarina a los otros actores), también hay cosas específicas que AM no realiza internamente en su laboratorio, sino que las contrata a otros.

El modelo basado en la generación de flujos por licenciamiento no está, sin embargo, exento de problemas y riesgos. Por ejemplo, si el escalamiento es muy lento, los flujos de ingresos derivados del licenciamiento pueden ser muy bajos por mucho tiempo. Es por eso que los proveedores buscan asesoría de abogados expertos en transferencia tecnológica. Este es un tema de gran relevancia para Aguamarina y, consecuentemente, tienen un presupuesto significativo destinado

a trabajar con estudios de abogados que los asesoran en asuntos relativos a patentes y contratos de confidencialidad. Actualmente, el principal desafío en esta materia es seguir patentando y terminar de implementar un sistema de gestión del conocimiento, y la empresa se está certificando en la norma UNE 166200 (Sistema de Vigilancia Tecnológica para la gestión de la I+D).

En el área de patentamiento y transferencia tecnológica también ayudan las aceleradoras. En el caso de AM ha sido Endeavour la organización que ha ayudado. La idea es que el contrato incluya elementos que disminuyan esta incertidumbre; por ejemplo, que mientras no escale el proyecto se contemple el pago de una cuota a todo evento. Aquí el acelerador cumple un rol fundamental, al contactar al proveedor con una red de especialistas que hacen que éste se equivoque lo menos posible. La relación entre AM y Endeavour se dio naturalmente pues, como ya se indicó, en el equipo hay dos Emprendedores Endeavour, y Pamela Chávez es uno de ellos.

Luego de estos años de trabajo, que empezaron con la biolixiviación, han desarrollado varias soluciones. Y en lo que respecta a la biolixiviación, han llegado a separar la biolixiviación tradicional de una no tradicional, aplicada a otras industrias. De hecho, en el laboratorio de Aguamarina trabajan microbiólogos que se dedican a ajustar métodos de laboratorio a nuevas áreas. Esto destaca el hecho de que los procesos de innovación suelen generar soluciones para un sector productivo y luego generar oportunidades, por medio de adaptaciones, para otros sectores.

El caso de Pamela Gutiérrez, una de las investigadoras de planta del laboratorio de AM, es un buen ejemplo de esto. Esta investigadora llegó a hacer su tesis de doctorado con Pamela Chávez, para lo cual ha contado con financiamiento del Programa Tesis de Doctorado en la Industria, que CONICYT abrió en el marco del Programa de Atracción e Inserción de Capital Humano Avanzado. Esta investigación era de mucho interés para Aguamarina; la idea era combatir el problema de contaminación (deshechos) de la minería utilizando una bacteria. Más concretamente, lo que se busca es encontrar una solución al problema de la contaminación que se genera a raíz del abandono de faenas mineras. Muchas de estas faenas cierran sin implementar los procesos adecuados y producto de la exposición en la que quedan residuos como el arsénico, el mercurio, y el cianuro, se producen los drenajes ácidos, los que se convierten en un riesgo para la seguridad y salud de las personas. Esta investigadora busca desarrollar un proceso de biorremediación para el tratamiento de estos drenajes mediante el uso de la bacteria *Bacillus Pasteurii*, la que está presente naturalmente en el suelo, produce la cristalización y precipitación de los

metales pesados contenidos en el residuo tóxico y aumenta el pH de las aguas ácidas, permitiendo de esta manera su recuperación para ser utilizadas en los procesos productivos o devueltas al medio. Esta investigación es relevante no sólo en la minería del cobre, sino también de otros minerales, y por tanto sus resultados pueden tener un impacto positivo en faenas a lo largo de todo el país y el extranjero.

Los intercambios informales de conocimiento son fundamentales. Lo mismo sucede con las fuentes de conocimiento académico. "Leer y estudiar es parte del día a día", señala Pamela Chávez. "Ir a congresos es fundamental, al igual que estar en permanente contacto con nuestros colegas. Yo voy muy frecuentemente a congresos y seminarios especializados, en los que se tratan temas muy específicos y luego se junta gente en rondas de negocios. Todo eso es parte del proceso creativo, y también fuente de oportunidades comerciales. Lo que hacemos es tan específico, que todos esos contactos ayudan. El caso del Congreso AIREMIN (sobre material particulado y control de contaminación) es un ejemplo interesante. Muchas veces sucede que luego de esos congresos se acercan clientes potenciales y estudiantes de doctorado que quieren trabajar en el laboratorio de Aguamarina. Las ferias, en cambio, no son tan efectivas para nosotros, pues en ellas por lo general se presentan productos ya terminados". En general se observa que los intercambios informales de conocimiento son muy frecuentes e importantes en el caso de casi todos los entrevistados, tal como muestra el análisis de redes.

Aguamarina mantiene una importante red de contactos con altos centros de investigación en Japón, Estados Unidos y Alemania. Asimismo tiene una estrecha vinculación con entidades gubernamentales tales como Corfo, Conicyt, Comisión Nacional de Energía, universidades locales y nacionales, entre otras. En cuanto a la capacitación, es relevante pues tener gente capacitada es tener gente motivada. Esto es especialmente cierto en el caso de los científicos, quienes se sienten más realizados mientras más actualizados estén en su especialidad. Por eso es política de la empresa enviar cada cierto tiempo a sus investigadores a cursos de especialización en las mejores universidades. Respecto a los vínculos *out* en materia de capacitación, la empresa les entrega servicios de capacitación a las empresas mineras (por ejemplo, cursos completos para entender la biolixiviación bacteriana).

A continuación presentaremos las alianzas estratégicas y otras relaciones que mantiene AM con una serie de organizaciones. De esta manera comenzaremos a investigar la red de conocimiento que es objeto central de este capítulo.

b. Descripción de la red

Para comenzar a describir la red, nos enfocaremos en aquellas empresas y organizaciones con las que Aguamarina se relaciona más frecuentemente y que tienen mayor importancia en su actual portfolio de proyectos.

Tal como señalan los entrevistados, una vez que el producto (nuevo conocimiento) es desarrollado y ha sido validado a nivel industrial, es fundamental tener alianzas que permitan empaquetarlo y comercializarlo. Sin esto AM nunca podrá tener un escalamiento significativo. Es por esta razón que la empresa ha firmado alianzas comerciales estratégicas con las siguientes empresas: Vial Corp, New Tech Copper (NTC), Harsco, Aplik y ESSBIO. A continuación detallamos en qué consiste el trabajo de AM con estas empresas.

Alianza con Vial Corp

VialCorp S.A. es un consorcio formado por las empresas constructoras SV S.A y San Mateo Ltda., con más de 10 años de experiencia conjunta en la gestión integral de control de polvo y hielo en caminos. Su especialidad son los caminos de operación (principalmente forestales y mineros) y de tierra (rurales). “En este tema hay pocos especialistas para mucho suelo (la relación entre caminos de tierra y asfaltados es aproximadamente uno por mil)” señala Felipe Domínguez, Gerente General de la empresa. Y la suspensión del polvo es algo que afecta a comunidades y a las máquinas; por seguridad algunas máquinas tienen que salir cuando otras ya pasaron hace rato (tiempos muertos).

Comenzaron utilizando bischofita (sal de magnesio obtenida como subproducto de la producción de litio) para fijar suelos. Este compuesto suprime ostensiblemente la emisión de polvo y además retiene la humedad de la base formando una carpeta resistente al rodado de vehículos y maquinaria pesada. En ese sentido es muy efectivo. Sin embargo, la bischofita altera la calidad del suelo agrícola y por eso Vial Corp tenía problemas en algunas de sus zonas de operación, tales como la agroindustria en el sur del país. Por eso los ejecutivos de esta empresa decidieron, junto con la empresa consultora Invertas y con la escuela de mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC), invertir en un kit para la aplicación de otras soluciones de riego de camino. Pero siguieron algunos años ofreciendo servicios de control de polvo utilizando principalmente productos existentes. El valor agregado estaba en este caso dado por el conocimiento en la utilización de estos productos (hay que saber pintar caminos, especialmente en minería; sino la actividad puede ser peligrosa). Es decir, el cómo es la clave, pues existe una brecha entre el fabricante del producto y el cliente; Vial Corp actúa entonces como “maestro pintor”.

Hace un año y medio la empresa comenzó a desarrollar productos propios. En esta empresa la investigación es intra muro y dirigida por el Gerente Técnico, quien para eso se relaciona frecuentemente con el Laboratorio de Suelo de la Universidad Católica de Valparaíso (PUCV).

Estando acogida a los beneficios de la Ley I+D, comenzaron a contratar a proveedores estratégicos de materias primas y comenzaron a trabajar con la PUCV en desarrollo de ensayos de mecánica de suelos. En esta alianza Vial Corp contribuye con conocimientos sobre los beneficios y efectos de las materias primas sobre el suelo, mientras la PUCV contribuye con análisis de muestra. De esa manera se genera la I+D conjunta.

Y fue precisamente buscando especialistas que en octubre de 2013 los ejecutivos de Vial Corp llegaron a Aguamarina; estaban interesados en ver qué utilidad podrían tener las bacterias en el trabajo con suelos y en una revista especializada en minería vieron un reportaje en que Pamela Chávez explicaba en qué consistía el Bioseal, producto básico que había sido aplicado con éxito a la minería. Vial Corp decidió testear y adaptar el Bioseal al trabajo con suelos de otro tipo (rurales en general y forestales en particular).

Hoy también trabajan en un sistema autónomo de riego que regula las válvulas (responsables de la emisión de la solución desde el camión al terreno) de acuerdo a la velocidad del camión. Esto lo están haciendo pues identificaron un problema: que el cambio de marcha de los camiones que riegan los caminos genera un cambio de velocidad que determina que se comience a regar más litros por metro cuadrado, y ese riego en exceso puede ser peligroso para la operación.

Esta empresa reconoce que las fuentes informales de conocimiento son muy importantes. Por eso asisten constantemente a ferias y están suscritos a revistas especializadas. De hecho, repetimos, supieron de Aguamarina por una de estas revistas. En cuanto a las capacitaciones, Vial Corp utiliza el conocimiento propio (que se genera en cada proyecto) para realizar entrenamiento a nivel de los distintos niveles jerárquicos. Sólo contratan capacitación externa en temas relacionados con seguridad operacional.

Consultada por esta alianza, Pamela indica que ésta muestra hasta qué punto Aguamarina puede aprender de sus clientes. "Al testear nuestros productos para otras aplicaciones, nos señalan qué tan potente es nuestra innovación desde el punto de vista de su escalamiento a otros sectores". Y Felipe Domínguez complementa: "Los supresores de polvo son una materia prima principal y varios aditivos. Aguamarina tenía un producto básico y nosotros lo complementamos

con lo necesario para operar en caminos rurales. Hoy estamos testeando esta solución en terreno con la Escuela de Caminos de la UC. Aguamarina nos vende un desarrollo tecnológico, y si vemos que es comercial y técnicamente viable en nuestro sector productivo, pagaremos en la forma de licenciamiento más un delta por volumen de ventas”.

Hoy Bioseal es uno de los cuatro productos con que opera Vial Corp. Hay dos listos, de afuera, que los están testeando a escala real. Además tienen un 30% de una empresa importadora de productos químicos en Perú, la que importa los productos desarrollados en Chile. La red se extiende; los productos desarrollados originalmente por Aguamarina y adaptados para otro sector por Vial Corp podrán ser comercializados luego más allá de las fronteras chilenas.

Alianza con la Empresa de Servicios Sanitarios de Bío-Bío (ESSBIO)

ESSBIO es una empresa chilena que produce y distribuye agua potable y realiza tratamiento de aguas servidas en las regiones de O’Higgins y del Biobío, en la zona centro sur de Chile. Han realizado varios proyectos de I+D, para lo cual se han relacionado con el Centro de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción (UDC) y con las Universidades San Sebastián (USS), Andrés Bello (UAB) y Técnica Federico Santa María (UTFSM).

Jorge Vásquez (Gerente de Desarrollo de ESSBIO) y su equipo hicieron un recorrido por los centros de investigación de todo Chile, en búsqueda de una solución para el problema de los lodos (residuos de los procesos de tratamiento de aguas servidas). Aguamarina propuso una solución innovadora, inodora y biodegradable: biocementación. Luego de una serie de pruebas ya están con pilotaje industrial de tres meses, y los resultados preliminares son muy alentadores.

Nuevamente vemos que el trabajo en red permite adaptar una solución originalmente pensada para un sector (minería) para solucionar un problema, en este caso ambiental, en otro sector (sanitario), con impactos positivos en términos ambientales y de reducción de costos logísticos.

En el convenio comercial quedó ESSBIO como comercializador oficial de la solución y deberá pagar a Aguamarina una cuota por metro cúbico tratado. Y la idea ahora es dar un paso más para construir biobloques. Dado que, al ser tratados con esta solución, los residuos de la limpieza del agua quedan inodoros y dejan de ser tóxicos, pueden ser compactados y utilizados por ejemplo para hacer caminos.

También están evaluando la posibilidad de generar electricidad a partir del lodo, pues el lodo es materia orgánica que alimenta las bacterias, las cuales generan un diferencial de potencial que se convierte en transferencia de electrones y esos electrones en corriente eléctrica. Para esto ambas empresas están postulando a fondos públicos en el marco de un proyecto conjunto.

Alianza con New Tech Copper S.A. (NTC)

Otra alianza interesante es aquella con NTC, empresa chilena de innovación tecnológica que tiene un centro de investigación minera. Esta empresa comenzó sus operaciones el año 2003 con el objetivo de desarrollar tecnologías en el proceso *electrowinning* (EW o electrodeposición en español), proceso electroquímico que crea una solución que recubre los cátodos de cobre con fines de protección y presentación estética.

En el marco de esta alianza NTC financia la investigación desarrollada por AM para trabajar con calcopirita, el mineral donde está dos tercios del cobre, pero nadie puede extraerlo; hasta ahora es un problema no resuelto, pero en Aguamarina tienen algunas ideas para resolverlo, aunque se necesita financiamiento para I+D, y NTC quiere participar como financista. NTC también financia la participación de un destacado metalurgista de la Universidad de Stanford en el proceso.

Ambas empresas firmaron un *Non-Disclosure Agreement* (NDA) y Aguamarina comenzó a hacer la investigación. Si llega a haber resultados a nivel de la investigación, firmarán un contrato comercial y buscarán el cliente para el pilotaje y la operación.

Este es un ejemplo de vínculo bidireccional pues Aguamarina es la fuente de algunas ideas pero también recibe el aporte del especialista en metalurgia.

Los ingresos esperados se concentran en licenciamiento, otros proyectos derivados y patentes. También hay acuerdos de exclusividad; por ejemplo NTC tiene que hacer todas sus inversiones en biotecnología con Aguamarina.

Alianza con Harsco

Esta empresa norteamericana opera en la industria de las fundiciones de acero. Tiene 15.000 empleados, está abierta en bolsa desde 1930 y factura cuatro mil millones de dólares al año.

Harsco está siempre mirando otras industrias, buscando subproductos industriales para aplicarlos en otros sectores. Así han conectado, por ejemplo,

soluciones desarrolladas para la minería con desafíos operacionales en el sector de la construcción. Tienen programas de entrenamiento propios y trabajan con una amplia red de universidades, entre las que destacan Carnegie Mellon, Birmingham, Louven y Beijing, además de consultoras y proveedores tecnológicos (siendo Aguamarina uno de ellos).

Chris Stuckey (*Vice President of Business Development* de Harsco) señala también que los intercambios informales de conocimiento son fundamentales. Que para esto se relacionan frecuentemente con asociaciones gremiales y comerciales, y que también reciben constantemente mucha investigación académica que está en una fase de desarrollo temprano (*early stage research*), la que se suma a las ideas que les llegan de consultoras y empresas como Aguamarina, ideas que ya están en una fase más avanzada pero que necesitan ser escaladas.

En términos del financiamiento de la investigación, esta empresa ha optado por los fondos propios, aunque recientemente decidieron postular a fondos (*grants*) públicos. Han desarrollado muchos prototipos industriales pero han optado por el secreto comercial por sobre las patentes, pues señalan que el costo de mantenerlas es mayor que el beneficio. Además, *“sabemos cómo hacer algo y lo mantenemos confidencial”*, señala Chris Stuckey.

Harsco busca constantemente capacidades internacionales en biolixiviación y fue por eso que llegaron a Pamela Chávez con una pregunta: ¿cómo extraer cobre de los residuos (escorias) de las fundiciones? Las escorias de las fundiciones de fierro y cobre constituyen un pasivo ambiental para quienes las producen. Las fundiciones Chagres y Altonor son ejemplos de esto. Harsco le ofrece a su cliente (una fundición) separar el cobre de la escoria, utilizando una tecnología basada en bacterias y desarrollada por Aguamarina. Harsco le cobra por esto una cuota mensual a su cliente, de la cual un porcentaje es de Aguamarina (empresa que es dueña de la licencia).

Fijaron un plazo de dos años para un contrato de investigación. Harsco invierte en el desarrollo, están en estudios de ingeniería conceptual y se aprontan a realizar un primer pilotaje industrial. Son procesos lentos pero ambas empresas creen que tienen un potencial enorme. Harsco es una alianza muy relevante para Aguamarina, tanto por los avances del proyecto como por el impacto que puede tener.

Alianza con Aplik

Aplik es una empresa chilena que entrega servicios de innovación y transferencia tecnológica basados en el uso de TICs, electrónica, mecánica y metalurgia a empresas de la minería y a la industria médica. Fue formada en 2001 y ha recibido

varios premios por su aporte a la innovación, particularmente por sus desarrollos de Sistemas de Visión Artificial para la minería.

Las soluciones desarrolladas por Aplik (casi todas en el marco del Programa Cluster Minero, al que nos referiremos más adelante en este capítulo) incluyen un sistema predictivo para identificar fallas en correas transportadoras de mineral, un sistema para la medición de la calidad de los cátodos de cobre, un sistema de visión y otro de manipulación de cátodos de cobre en plantas de electroobtención de cobre y un sistema de control para pesaje de camiones con gas y equipos educativos operados remotamente, y equipos portátiles de medicina nuclear, en lo cual trabajan con el área médica de la PUC y con el Depto. de Física de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM).

Esta empresa ha realizado cinco proyectos de innovación con el apoyo de CORFO, está inscripta en el registro de empresas acogidas a los beneficios de la Ley I+D y ya tiene 10 patentes inscriptas. Mantiene una relación permanente con la UTFSM, y de esa casa de estudios ha egresado la mayoría de los ejecutivos seniors de la firma.

A nivel internacional una de sus principales alianzas es con el INRIA, la que será fundamental en esta etapa que inician, cuando requerirán más talento en algunas áreas específicas tales como visión artificial y modelamiento matemático, en las que este organismo francés tiene mucho expertise.

Están siempre muy interesados en incorporar doctores en física, metalurgia, química y modelamiento matemático a sus proyectos, por lo cual frecuentemente acuden a la base de datos de Conicyt, donde encuentran a los candidatos.

Las fuentes informales de conocimiento son fundamentales para esta empresa; por eso están suscritos a muchas revistas especializadas, compran libros y asisten periódicamente a congresos y seminarios.

Entre sus clientes se cuentan Minera Cerro Colorado, Minera Escondida, Minera Spence, la Empresa Nacional del Petróleo (Enap), el Laboratorio de Física de la UTFSM y la Unidad de Medicina Nuclear del Hospital Clínico de la Universidad Católica de Chile.

Aplik es un proveedor muy destacado de la minería y podríamos decir que es como el hermano gemelo de Aguamarina pero en un área más ligada a la ingeniería y las tecnologías de información y comunicación (particularmente el monitoreo óptico basado en tecnologías láser). Ambas empresas han sido reconocidas con importantes distinciones y han desarrollado proyectos en conjunto. De hecho,

ambas fueron parte, junto con otras tres empresas, de un Proyecto Asociativo de Fomento (PROFO) de CORFO y luego firmaron un acuerdo de confidencialidad para desarrollar una solución para lixiviación y monitoreo de pilas de lixiviación que incluye los servicios especializados de ambos. Esto es fundamental para la productividad de las empresas mineras. En efecto, la utilización y el mantenimiento de una pila de lixiviación es un proceso complejo, y se requiere utilizar una técnica de monitoreo continuo, que asista en la toma de decisiones y contribuya en la optimización del uso de recursos. El sistema desarrollado por Aplik detecta fallas operacionales en el sistema de riego y entrega información sobre variables clave (como porcentaje de área regada y homogeneidad del riego), útil para tomar decisiones oportunamente. En efecto, el riego sobre las pilas produce un efecto visible a las cámaras; si el riego no es homogéneo la reacción química exotérmica entre el ácido (riego) y el mineral es más alta en algunas áreas, lo cual genera calor y es captado por los rayos infrarrojos del sistema de cámaras.

En 2011 ambas empresas empezaron a trabajar en esto en terreno (en faenas de la Minera Spence) y concluyeron que: (1) la medición de riego estaba teniendo un impacto en eficiencia del proceso de lixiviación y por lo tanto se recupera más cobre, y (2) que el riego era la principal variable explicativa de las mejoras de eficiencia. A partir de esta información las empresas pueden diseñar mejoras. Como señala Guillermo Vidal, Gerente General de Aplik: *“Los procesos que no se pueden medir no se pueden mejorar. Es por eso que el hombre ha creado instrumentos y escalas; de ahí vienen las mejoras de los procesos”*.

El convenio comercial entre AM y Aplik también establece que la primera es el proveedor exclusivo de servicios biotecnológicos de la segunda y lo mismo al revés en el caso de los servicios de ingeniería. El convenio también define criterios para aceptar contratos con otros clientes, etc.

Otras relaciones

Aguamarina mantiene una serie de relaciones con otros actores, entre los que destacan:

- Centro de Innovación Anacleto Angelini (Universidad Católica de Chile): en este centro realizan testeos de prototipos, paso previo al escalamiento.
- Minera Sierra Gorda, con la que están iniciando un nuevo contrato de investigación.
- Japan Oil, Gas and Metals National Corporation (JOGMEC), empresa japonesa con la que están estudiando un contrato de biolixiviación en minas de la tercera región de Copiapó.
- Vínculos directos con el Estado incluyen: Programas CONICYT (Programa

de Tesis en la Industria, Programa Atracción de Investigadores y FONDEF) e Innova CORFO.

- FreePort Morgan, Process Technology Center (Arizona), que es el laboratorio de investigación de Minera El Abra, primer cliente de Aguamarina (ver punto siguiente).
- La relación con la Minera El Abra es interesante pues muestra que el cliente final de Aguamarina no es la industria minera en sí, sino el líder en cada área donde se encuentra una solución.

En efecto, hace unos años El Abra envió a AM y a otros cuatro laboratorios una muestra de gel que obstruía las tuberías de las pilas de lixiviación. AM descubrió que se trataba de un hongo. La pregunta que inquietó tanto a AM como a Minera El Abra fue por qué había un hongo, si los hongos se alimentan con materia orgánica y se supone que en la pila de lixiviación no hay materia orgánica. AM convenció a El Abra de la importancia que tenía salir de la duda. Fueron a terreno e identificaron el hongo. Le dijeron a la empresa que era probable que este hongo estuviera dañando la capacidad extractante, pero para tener una idea sobre la magnitud del problema se requería hacer una inversión en investigación. Fue entonces que El Abra dijo que no estaba dispuesta, que siempre había vivido con el problema, que ya estaba asumido en la estructura de costos.

Tres años después, en agosto de 2013, hicieron un recuento de las bacterias de lixiviación y descubrieron que éstas se estaban muriendo. Los hongos generaban material orgánico y éste estaba matando a las bacterias. Aguamarina realizó una nueva línea base y encontró que el problema estaba desbordado. Buscaron una solución (mucho más costosa que aquella que hubiera sido necesaria tres años atrás, por cierto) y todo mejoró. Pero además de eso hubo un cambio en la cultura de la empresa respecto a la importancia de medir periódicamente la cantidad de bacterias y su capacidad productiva.

En este caso se aprendió durante cuatro años sobre un problema que nadie tenía dimensionado. El aporte de AM a la frontera del conocimiento es la capacidad de identificar este hongo y ver las consecuencias que éste puede tener. Ahora el desafío es cómo concretar una oportunidad comercial a partir de esta experiencia; esta es una solución que se debería empaquetar y vender a otras empresas. Para esto AM está encargando a proveedores especializados en TICs (la UTFSM y un proveedor de Antofagasta) el desarrollo de una “calculadora de eficiencia”, que indica cuánto material orgánico existe y cuánta capacidad extractante se está perdiendo, dando una alerta cuando se requiera limpieza de las pilas. Esta aplicación se podría comercializar como una marca registrada de Aguamarina, lo cual permitiría generar ingresos y viralizar la marca (de más está decir que los

otros cuatro laboratorios dieron un diagnóstico distinto a aquél de AM). Vemos que los acuerdos analizados son acuerdos comerciales, que la empresa ha hecho para empaquetar y comercializar algunas de sus soluciones, lo cual representa uno de sus mayores desafíos. Desde el punto de vista de la investigación, la empresa cuenta con capacidades internas que en general le han permitido acometer estos desafíos sin ayuda externa. En particular, destaca la excelencia de su equipo de investigación, el que se ha visto fortalecido gracias al financiamiento público que entrega el Programa de Inserción de Doctorado de Conicyt. En los poquísimos casos en que Aguamarina no ha contado con las suficientes capacidades ha buscado asesoría para temas puntuales (como fue señalado, en el proyecto con NTC han sido asesorados por un especialista de Stanford).

c. Cluster Minero

Hemos visto que el trabajo en red tiene una importancia fundamental para la minería, pues permite que haya mayor especialización en las tareas de generación de conocimiento y empaquetamiento de productos basados en ese conocimiento. Las alianzas que ha establecido Aguamarina con una serie de organizaciones son una muestra de esto.

Una entidad fundamental en la articulación de actores para generar e incorporar conocimiento a la minería ha sido el Cluster Minero. Creado originalmente por BHP Billiton bajo el nombre de Programa de Proveedores de Clase Mundial (PPCM), hoy integra en una suerte de club a un conjunto de empresas del sector. El *cluster* surge pues BHP (y luego CODELCO) entendieron que era urgente aumentar la productividad de los procesos mineros y que una de las fuentes de productividad es la base de proveedores, en particular los locales, pues el ciclo de innovación de la minería está fuertemente determinado por la cercanía al usuario; el proceso de interacción para llegar a la solución requiere estar muy cerca del que tiene el problema. Y en Chile existe un número interesante de proveedores locales con los que las empresas mineras pueden interactuar, y un alto porcentaje de éstos son muy sofisticados en términos del contenido innovador de las soluciones que ofrecen (Fundación Chile, 2012, 2014).

Este programa busca pasar de una fase –muy importante durante la década del noventa, en que a los proveedores se les exigía crear soluciones que cumplieran ciertos estándares definidos por las propias empresas contratantes– a otra caracterizada por la existencia de proveedores especializados, que desarrollan soluciones a la medida de los requerimientos de empresas o grupos de empresas del sector. Estos requerimientos pueden estar en distintas áreas, tales como mantenimiento de maquinaria, control de plagas, impacto ambiental, utilización

de agua y otras fuentes de energía. En este esquema las gerencias técnicas de las empresas colaboran estrechamente con las empresas proveedoras. Se trata de un flujo de conocimiento bidireccional: la innovación debe atender las necesidades de las empresas, debe estar orientada por un propósito. Mientras que antes era en una dirección: la empresa pedía al proveedor una solución que tuviera un estándar determinado.

Un beneficio extra de la existencia de este *cluster* es el uso que se les puede dar a estas soluciones, originalmente desarrolladas para la minería, en otras industrias, cuestión que ratifican algunos de los entrevistados y que es ilustrada por el caso de algunos de los productos desarrollados por Aguamarina. Por ejemplo, tal como vimos, el Bioseal es una solución originalmente diseñada para el sector minero pero que hoy está siendo testeada en la construcción de caminos rurales y forestales.

El *cluster*, dirigido por equipos de BHP y Codelco, coordina a los actores a partir de concursos (a los que se llama “desafíos”) en los que participan las empresas proveedoras para plantear soluciones innovadoras a problemas (operacionales, ambientales, etc.) que enfrentan las empresas mineras, y establece una relación contractual entre las partes. Así ha funcionado el programa desde su creación, pero a medida que han entrado más empresas y se ha ampliado el número de desafíos ha sido necesario externalizar la coordinación del programa. Fue entonces que entró Fundación Chile (FCH⁶), organización que actúa como un impulsor transversal que selecciona proveedores, identifica brechas y define estrategias.

Esto es fundamental desde el punto de vista de la misión de la Fundación Chile. En efecto, al actuar de esta manera la Fundación cumple su rol al proveer una plataforma abierta para la integración y vinculación de estos actores tan dispersos (incluso promoviendo encadenamientos con otros sectores productivos) asumiendo roles que la industria no asume espontáneamente⁷.

Parte importante del proceso es conocer a los proveedores que son buenos en el tema a resolver. FCH realiza esa búsqueda y aplica tests para validar capacidades, los que consideran estándares técnicos y de sofisticación del modelo de negocio

6. FCH es una corporación privada sin fines de lucro creada en 1976, cuyos socios son el Estado de Chile y BHP Billiton, y cuya misión es introducir innovaciones y potenciar el capital humano para aumentar la competitividad, desarrollando la economía a través de transferencias tecnológicas y en alianza con redes de conocimiento locales y globales. FCH es hace quince años un actor clave en la discusión del sector minero, desde que realizó el primer estudio sobre competencias laborales para el Consejo Minero y participó, en 2010 y junto a empresas australianas, en el Programa Veta Minera, importante plan de desarrollo de capital humano para la minería, que incluyó la constitución, en el Consejo Minero, del Consejo de Competencias para la Minería, siguiendo el ejemplo del Skill Council Australiano.

7. Los proveedores mantienen una línea transaccional con las mineras directamente, es decir, se relacionan con éstas sin que tenga que haber un desafío en el marco del PPCM. El programa representa una línea de trabajo más sofisticada.

(las empresas que participan del PPCM poseen, en sus capacidades de innovación, niveles significativamente superiores al universo de proveedores, pero no basta con tener una solución ingeniosa; hay que saber administrar, instalar y testear soluciones a nivel industrial, ser capaz de dar servicios post venta, y desarrollar capacidades para exportar). Es decir, se trata de apoyar a los proveedores para que desarrollen y apliquen una solución a un desafío concreto pero que luego incorporen ese servicio en sus portafolios de productos, se capitalicen y adquieran experiencia aplicando la solución en otras empresas; solo esta dinámica productiva permitirá contar con una red de proveedores más preparados para otros desafíos que pueden surgir en el área.

El desarrollo de los proveedores cuenta con el apoyo de una red de aceleradoras de negocios basadas en universidades de distintas regiones del país y que se preocupan de que el desarrollo de la empresa cubra todos los ámbitos de gestión. Incluso estas aceleradoras acercan a las empresas a fuentes de financiamiento, fondos públicos (CORFO) e inversionistas privados. Entre estas cuatro aceleradoras existe una localizada en el sur de Chile, lejos de las regiones mineras, que hace de puente entre realidades productivas que pueden ofrecer soluciones para la minería o que pueden adoptar soluciones originalmente diseñadas para el cobre pero capaces de dar respuesta a desafíos en otros sectores.

El proceso de levantamiento de desafíos depende de las necesidades de las mineras. Una vez que se junta un número significativo de desafíos, se los clasifica siguiendo una metodología desarrollada por VTT (centro de excelencia finlandés), en el marco de una alianza entre este centro y Fundación Chile. Esta clasificación genera un mapa de desafíos a corto, mediano y largo plazo. Luego, utilizando una plataforma online, se hace el llamado a proveedores. Esta plataforma contiene un registro donde los proveedores suben sus *Key Performance Indicators* (KPI), es decir, los indicadores y la descripción y estados de avance de proyectos. Así, esta plataforma es un bien público a nivel de esta comunidad (club) de proveedores, y cada empresa puede ver qué se está desarrollando en los desafíos y contactar a ese proveedor si está interesada en esa solución.

El reto actual del PPCM es que el conjunto de desafíos tenga un impacto significativo en la estructura de costos de las mineras asociadas. Para eso hay que escalar el programa, pasando a un número significativamente mayor de desafíos, para lo cual hay que invitar a más actores. Otro aspecto que conviene destacar se refiere a la relación con el Estado, la cual es cada vez más relevante. En efecto, al crecer la escala del programa y la complejidad de los desafíos, se requiere más fondos para hacer levantamiento de necesidades y de financiamiento privado con apalancamiento público para apoyar etapas tempranas de innovación. Tanto el

Ministerio de Minería como el de Economía han reconocido esto y han apoyado al programa. Este último está muy interesado en esto desde el punto de vista de la política de desarrollo productivo y tecnológico; está interesado en el efecto escalamiento y de transferencia a cualquier sector que tenga concentración de actores en alguna etapa de la cadena (la industria forestal y la acuicultura suenan como candidatos ideales).

Existe una necesidad de desarrollar industrias complementarias que sean intensivas en tecnología y conocimiento. Para esto se puede seguir el ejemplo de muchos países. Un ejemplo notable es Australia, país que ha usado la minería como *driver* para desarrollar una industria de servicios intensivos en tecnología y conocimiento que actualmente entrega soluciones en muchas industrias locales y que también exporta montos significativos. El desafío es cómo hacer lo mismo en Chile, en una industria que ha cambiado considerablemente y que actualmente enfrenta nuevos desafíos. En efecto, a partir de 1995 el sector minero experimentó un boom muy significativo y ahora hay muchos proveedores, pero se trata de empresas muy heterogéneas en términos de sus capacidades productivas y de la sofisticación de los bienes y servicios que ofrecen. Esta es una oportunidad para responder a este boom y para adelantarse a aquél que se vislumbra en la industria en otros países de la región. Si logramos hacer esto, será poco costoso replicar la experiencia y aprovechar la ventaja de ser los pioneros.

Por lo tanto, se ve que la red de conocimiento está creciendo y que es ya muy diversa. Además del mencionado apoyo e interés de las autoridades públicas, se están sumando asociaciones gremiales, tales como Minnovex (que tiene interés de afiliación por la exportación y por el empaquetamiento comercial de soluciones), y las asociaciones de industriales de Antofagasta e Iquique. Asimismo, la FCH se encuentra desarrollando con la Agencia de Promoción de Exportaciones de Chile (ProChile) una estrategia de exportación para los proveedores del programa. También está desarrollando un trabajo conjunto con la Corporación Chilena del Cobre (Cochilco) a fin de levantar información que permita estimar el potencial de crecimiento de los proveedores.

d. Resultados descriptivos del caso estudiado

Nuestro nodo central ha establecido relaciones con fines comerciales con una serie de empresas. Asimismo, mantiene una permanente relación con instituciones públicas y privadas de otra naturaleza.

En lo que respecta a la direccionalidad de estos vínculos, los resultados son mixtos y dependen del objetivo de los mismos y de los modelos de negocio de

cada organización. Así, por ejemplo, en el ámbito de la investigación, Aguamarina atiende a las necesidades de conocimiento recurriendo casi exclusivamente a sus investigadores propios, y sólo recurre a un tercero (ya sea contratando el servicio o enviando investigadores a cursos de capacitación en técnicas específicas) en contadas ocasiones. Este no es el caso de otras organizaciones más concentradas en el empaquetamiento de soluciones tecnológicas, para las cuales la contratación de apoyo científico a universidades es fundamental.

En el ámbito de la asistencia y transferencia tecnológica se observa que las empresas entrevistadas se relacionan con universidades, tanto aquellas que se encuentran cercanas como más lejos geográficamente, y que ese vínculo es en general desde la universidad a la empresa y se ha desarrollado durante un largo tiempo.

Tal como muestran los resultados del análisis de redes, las universidades figuran en el círculo exterior de la red, apoyando el trabajo de distintas organizaciones, y las agencias públicas, principalmente CORFO y CONICYT, figuran apoyando el trabajo de las principales empresas de la red. Asimismo, se observa que la red es especialmente densa en el caso de los intercambios informales y otros vínculos de conocimiento.

Por su parte, en el caso de los desafíos (concursos) que administra FCH en el marco de la operación del Cluster Minero, estamos en presencia de flujos de conocimiento bidireccionales: la innovación debe atender las necesidades de las empresas, debe estar orientada por un propósito. FCH aparece claramente en el análisis de redes como un actor relevante que, en una posición céntrica, mantiene relaciones con agentes de distinto tipo.

Respecto a la aplicación del conocimiento obtenido en el sector minero en otros sectores del conocimiento, se observa que tanto el nodo central de la red como otras empresas, en la búsqueda de nuevas oportunidades comerciales, han favorecido esta práctica. Asimismo, la existencia del *cluster*, y muy particularmente el rol articulador de Fundación Chile y el creciente interés del Estado por replicar buenas prácticas, son factores que prometen mucho en este ámbito.

Por último, se observa que en general los intercambios informales de conocimiento son muy frecuentes e importantes para casi todos los entrevistados, tal como muestra el análisis de redes.

4 - CONCLUSIONES E IMPLICANCIAS DE POLÍTICA

En este capítulo hemos examinado algunos componentes y relaciones que se dan al interior de la red que se ha generado en Chile para crear e incorporar conocimiento útil a los procesos de la minería (particularmente de la minería del cobre). Comenzamos analizando el trabajo de Aguamarina, empresa biotecnológica que desde 2007 está creando soluciones basadas en el uso de microorganismos y que ha permitido a la mediana y gran minería enfrentar una serie de problemas operacionales. Por medio de entrevistas fuimos identificando a los principales actores de la red, los que se relacionan entre ellos y con el nodo central (Aguamarina) en ámbitos relacionados con las actividades de I+D, transferencia tecnológica y capacitación, entre otros.

Respecto al modelo de negocios de Aguamarina, hemos podido ver que su principal fortaleza está en la etapa de I+D para desarrollar la tecnología, y en las alianzas que luego establece con otras entidades para la etapa de escalamiento comercial. Este es también el caso de la mayoría de los proveedores de soluciones sofisticadas para esta industria; es tremendamente necesario que éstos establezcan redes para escalar las operaciones a otras empresas del sector y también a otros sectores. Aguamarina ha dado pasos en esa dirección; esta empresa ha logrado adaptar procesos desarrollados originalmente para la minería del cobre a otras industrias, a través de alianzas con empresas locales como Vial Corp y ESSBIO, y también a otros mercados, mucho más amplios que el chileno, a través de su alianza con Harsco. Sin duda las alianzas estratégicas que ha establecido esta empresa apuntan en la dirección correcta.

La relación que mantiene esta Aguamarina con el ámbito académico y con programas públicos que apoyan la inserción de científicos en el sector productivo ha permitido incorporar destacados doctores a su laboratorio. En esto la figura de Pamela Chávez ha sido fundamental; los estudiantes quieren hacer su tesis con ella y ella es aceptada como guía por las universidades, dado que tiene doctorado y postdoctorado y un reconocido prestigio.

Una de las entidades fundamentales de esta red es el Cluster Minero, del cual Aguamarina es parte y a cuyos proyectos destina cerca del 30% de sus capacidades humanas y de infraestructura. El Cluster Minero fue creado por BHP en 2008 para relacionarse con sus proveedores y a él se sumó luego Codelco. Fundación Chile actúa como coordinador del programa, convocando a proveedores, buscando la mejor oferta y realizando los contactos entre las empresas mineras y proveedoras.

El *cluster* ha sido disruptivo desde el punto de vista cultural; ha contribuido a que un sector productivo muy conservador comience a dar importancia estratégica a la innovación. El exceso de liquidez de que gozó esta industria por largo tiempo le hizo despreocuparse de la innovación y del control de costos. Hoy el escenario cambió, en términos de precios relativos y de las dificultades operativas, por lo que la incorporación de nuevo conocimiento ha cobrado vital importancia.

El *cluster* ha avanzado significativamente; cuando el programa comenzó, consistió principalmente en algunos experimentos con proveedores seleccionados que se veían a nivel de las gerencias corporativas, pero a medida que se observaron buenos resultados y que fue escalando apareció como oportunidad de gestión, es decir, se incorporó en las líneas de negocios. Sin embargo, la sustentabilidad del modelo requiere que todo el sector se incorpore y que sus miembros desarrollen relaciones de largo plazo, tal como ha sucedido con los dos socios fundadores, BHP y Codelco. Esto se está desarrollando poco a poco; algunos proveedores se han conocido y han establecido alianzas para exportar, y para participar en ferias y en misiones comerciales. Esto ha sido claro en el caso de los proveedores destacados (los “niños símbolo” del programa) tales como Aplik y Aguamarina; éstos, en su calidad de casos exitosos, son fundamentales para el programa, pues ayudan a posicionarlo y a mostrar resultados concretos.

En términos de lecciones de política pública, lo primero es destacar que el análisis de esta red muestra la complejidad de las relaciones entre actores; en esta red participan organizaciones de muy distinta naturaleza y que tienen por tanto objetivos muy variados. Las autoridades deben considerar esa heterogeneidad de objetivos –y comportamientos asociados– al momento de diseñar políticas.

En segundo lugar, las empresas entrevistadas han señalado que los programas de CORFO y CONICYT han jugado un rol fundamental en lo que respecta al estímulo de las actividades de I+D e innovación al interior de las empresas, tanto incentivando la contratación de científicos por parte de las empresas como promoviendo que la investigación que esos científicos hacen esté aplicada a un problema industrial concreto, y disminuyendo el costo privado de la I+D (a través de subsidios directos u ofreciendo franquicias tributarias). El diseño de estas políticas de apoyo parece ser correcto (aunque sería deseable tener una evaluación de la adicionalidad de las mismas).

En tercer lugar, se observa que contar con un facilitador externo (o coordinador) ayuda muchísimo a dinamizar las relaciones al interior de la red. Ese rol lo ha cumplido de manera adecuada el Cluster Minero, y particularmente la Fundación Chile, aunque, tal como señalan los entrevistados, el apoyo público será muy

necesario ahora que lo que busca el programa es escalar este “club” a más actores, a más regiones y a más industrias. En efecto, al igual que la viabilidad de un emprendimiento como el de Aguamarina depende críticamente de las posibilidades de escalamiento, la red sólo podrá desarrollarse y alcanzar una escala mínima eficiente en la medida que más y mejores empresas se incorporen a ella. El apoyo público es fundamental para respaldar la labor de este ente coordinador y para evaluar resultados.

Este artículo ofrece también una mirada que apoya la política de *clusters*, abandonada por el anterior gobierno (2010-2014) y hoy parte de la agenda del nuevo gobierno. El Estado, al elegir sectores (*picking the winners*) no lo hace sin información sino teniendo en cuenta las lecciones (información revelada) de experiencias similares en otros sectores. Es muy posible que la idea de los desafíos (concursos), anunciados y administrados por un ente coordinador, permitan solucionar problemas operacionales en otras industrias en las que exista una alta concentración de empresas a nivel de alguna etapa de la cadena de valor y un número suficientemente alto de proveedores sofisticados a nivel local. En esos sectores se puede dar con mayor probabilidad una dinámica de clusterización.

BIBLIOGRAFÍA

Benavente, José M. y J. J. Price (2014). "Evolution of the Public Institution of Science, Technology and Innovation in Chile: 1990-2012", en G. Dutrénit y G. Crespi (eds.) *Science, Technology and Innovation Policies for Development: the Latin American Experience*. Springer International Publishing (en prensa).

Consejo Minero (2014). "La minería en cifras". Presentación disponible en http://www.consejominero.cl/wp-content/uploads/2014/03/mineria-en-cifras_0314.pdf.

Consejo Minero (2013). "Chile y la minería: Éxitos y desafíos compartidos". Presentación disponible en <http://www.consejominero.cl/wp-content/uploads/2013/04/>

Fundación Chile (2012). Primer Estudio de Caracterización de Proveedores de la Minería.

Fundación Chile (2014). Segundo Estudio de Caracterización de Proveedores de la Minería.

Scott-Kemmis, Don (2011). Australian Story – The Formation of Australian Mining Technology Services and Equipment Suppliers. Report to the Department of Industry, Innovation, Science, Research and Tertiary Education.

CONICYT (2013). "Investigadora de la UA propone controlar la contaminación minera con el uso de una bacteria gracias a proyecto PAI regional". Publicado 24-06-2013. Descargado el 22/03/2014 en <http://www.conicyt.cl/regional/2013/06/24/investigadora-de-la-universidad-de-antofagasta-propone-controlar-la-contaminacion-minera-con-el-uso-de-una-bacteria/>

Anexo I: Listado de personas entrevistadas

1	Pamela Chávez	Aguamarina	Fundadora y Gerente General
2	Jorge Vásquez	Essbio	Gerente de Desarrollo e Innovación
3	Felipe Domínguez	Vial Corp	Gerente General
4	Osvaldo Urzúa	Cluster BHP	Gerente de Relaciones Institucionales de BHP Billiton
5	Francisco Barrientos	Aguamarina	Gerente de Operaciones
6	Pedro Aylwin	New Tech Cooper (NTC)	Gerente General
7	Pamela Gutiérrez	Aguamarina	Investigadora (Tesis de Doctorado en Microbiología)
8	Chris Stuckey	Harsco	Vice President of Business Development
9	Ignacio Carrasco	Cluster BHP	Gerente Cluster (División Pampa Norte)
10	Olaya Cambiaso	Fundación Chile	Gerente Cluster Minero
11	Francisco Klima	Fundación Chile	Gerente Técnico Cluster Minero
12	Guillermo Vidal	Aplik	Gerente General

Anexo 2: Bases de datos consultadas

Corporación Chilena del Cobre (COCHILCO)
 Consejo Minero
 Banco Central de Chile

Anexo 3: Índice de Tablas

Cuadro 1: Producción y reservas en Chile (2012)

Producción ^(a)	% de reservas mundiales	Ranking en producción mundial
5.4	32%	1

(a) Millones de toneladas métricas
Fuente: Consejo Minero.

Cuadro 2: Producción y reservas mundiales de cobre (2012)

	Producción		Reservas
Chile	32%	Chile	28%
China	9%	Australia	13%
Perú	8%	Perú	11%
Estados Unidos	7%	Estados Unidos	6%
Australia	5%	Rusia	4%
Zambia	5%	México	6%
Otros	34%	Otros	32%

Fuente: Cochilco y Consejo Minero.

Cuadro 3: PIB del sector minero y participación del cobre (2003-2012)
(millones de pesos de cada año y %)

	PIB Cobre	PIB Otros Minería	% Minería en PIB Nacional
2003	3.702.863	562.819	8,1%
2004	6.997.650	567.648	12,5%
2005	9.250.078	751.946	14,5%
2006	15.978.563	964.360	20,7%
2007	17.588.991	984.654	20,5%
2008	12.007.282	1.157.310	14,0%
2009	11.649.569	1.020.821	13,1%
2010	16.444.018	1.299.732	16,1%
2011	16.190.770	2.071.888	15,2%
2012	15.143.851	1.803.797	13,0%

Fuente: Elaborado en base a datos oficiales del Banco Central de Chile.

Cuadro 4: Exportaciones mineras y participación en total de exportaciones (2003-2013) (millones de dólares de cada año y %)

	Exportaciones Mineras	% Exportaciones Totales
2003	9.216	42,6%
2004	17.977	54,4%
2005	24.586	58,6%
2006	38.861	65,4%
2007	45.443	66,3%
2008	37.573	58,2%
2009	33.503	60,4%
2010	46.438	65,5%
2011	51.528	63,3%
2012	48.803	61,9%
2013	46.130	59,6%

Fuente: Elaborado en base a datos oficiales del Banco Central de Chile.

Cuadro 5: Composición de las exportaciones mineras por tipo de mineral (2013)

Cobre	87,8%
Plata	0,8%
Oro	3,0%
Molibdeno	2,6%
Otros	5,8%

Fuente: Elaborado en base a datos oficiales del Banco Central de Chile.

Cuadro 6: Costos de la minería del cobre en Chile y el mundo (US\$/libra)
(2003-2012)

	Chile	Resto del mundo	Dif (a)
2003	65	67	-2
2004	63	76	-13
2005	71	80	-9
2006	100	113	-13
2007	103	119	-16
2008	143	164	-21
2009	141	137	4
2010	161	154	7
2011	199	181	18
2012	223	211	12

(a) Una diferencia negativa indica que, en lo que respecta a producción de cobre, Chile es más competitivo que el promedio del resto del mundo.

Fuente: Comisión Chilena del Cobre (Cochilco).

