



Investigación, Desarrollo e Innovación en la Minería Chilena

DEPP 12/2020

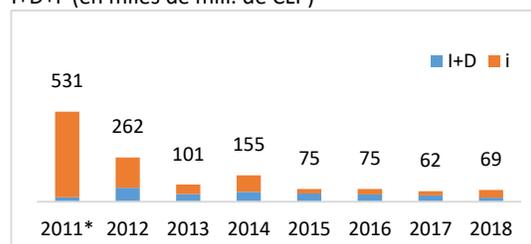
Resumen Ejecutivo

El presente trabajo describe la inversión en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) realizada o subcontratada por las mineras del país. Para esto, ocupamos dos instrumentos aplicados de forma periódica por el Estado a partir de criterios de la OECD: la 'Encuesta Sobre Gasto y Personal en Investigación y Desarrollo en las Empresas' a partir de 2011, junto a la 'Encuesta de Innovación en las Empresas' a partir de 2009. Si bien ambos instrumentos son públicos, no son típicamente utilizados para discutir sobre la situación innovativa de la minería nacional, razón por la cual resulta particularmente valioso desvelar los datos que contienen. Esto permite no sólo revisar la innovación nominal del sector sino que también los factores que la guían.

Investigación, Desarrollo e Innovación son conceptos entrelazados pero con ejes distintivos que hacen pertinente su estudio por separado. Sin embargo, a modo de resumen, presentaremos algunos de los principales puntos de su comportamiento agregado desde 2011.

Vemos que en general la I+D+i ha tendido a la baja, lo que responde a una inversión particularmente alta en innovación entre los años 2011 y 2014 asociada a actividades realizadas por algunas empresas específicas. Con todo, ya desde 2015 en adelante contamos con cifras agregadas relativamente estables, computando \$69.310 millones en 2018, de los cuales \$23.318 (34%) correspondieron a I+D y el resto (66%) a otras actividades innovativas.

I+D+i (en miles de mill. de CLP)



*Sin incluir I+D Extramuro.

Fuente: Cochilco en base a Encuestas de Innovación e I+D.

Desagregando la inversión según el **origen del capital corporativo**, podemos distinguir dos periodos claramente diferenciados: del 2011 al 2014, en que prevaleció la inversión de empresas de capitales mixtos con ventas entre los 100 mil y el billón de pesos, y posteriormente del 2015 al 2018, en que primó la inversión estatal a través de Codelco, lo que de paso también implicó que la evolución de las actividades innovadoras de las empresas de gran tamaño sea particularmente alta en estos años.

A nivel **regional** vemos que Antofagasta en general recibe la mayor parte de la inversión en I+D+i. En efecto, durante 2011-14 recibió el 68% de la inversión total, seguida de Atacama (16%). Ya en el 2015-18 registró un 40% del total, periodo en que la Región Metropolitana adquirió una mayor preponderancia (38%), seguida de las regiones de O'Higgins (6%) y Valparaíso (5%).

Por otra parte, es interesante revisar la inversión en I+D+i en **relación al PIB minero**. Esta alcanzó su punto más alto en 2011 (2,93%) a partir de las inversiones significativas en innovación en dicho año, para luego tender progresivamente a la baja conforme la inversión decaía. Ya a partir de 2015 hay una relativa estabilización de las cifras entre 0,35% y 0,55%, lo que se puede interpretar como una cierta normalidad del sector ante la ausencia de grandes proyectos disruptivos de inversión.

Por último, entre otros aspectos, revisamos los **mayores obstáculos** que enfrenta la inversión. Para la I+D por lejos el principal motivo declarado es que no resulta prioritario o necesario para la empresa, seguido a distancia de la falta de recursos financieros junto a la incertidumbre asociada a los resultados. Para el resto de las actividades innovativas se observa el alto costo, seguido de la falta de fondos propios y en tercer lugar la falta de personal calificado.

Tabla de Contenidos

I.	Introducción	5
II.	¿Qué entendemos por Investigación, Desarrollo e Innovación?.....	6
1.	I+D	6
a.	Tipos de I+D.....	6
b.	Clasificación según ejecución de la I+D: intramuro y extramuro:.....	7
2.	Innovación	8
3.	¿Cómo distinguimos I+D de Innovación?	10
III.	¿Qué tan importante es la innovación en el sector minero?	11
1.	Impacto medioambiental	11
2.	Ganancias de productividad.....	11
3.	Generación y uso de información	12
4.	Consideraciones locales	12
a.	Minería local madura y de gran escala.....	12
b.	Diversificación en la producción	13
c.	Diversificación económica.....	13
IV.	Actividades innovativas en el sector minero chileno	14
1.	Motivaciones y obstáculos	14
2.	Ecosistema de innovación	14
V.	Medición de las actividades innovativas en el sector minero chileno	16
1.	Antecedentes generales de las encuestas consideradas	16
a.	Objetivo.....	16
b.	Metodología	16
c.	Forma y periodicidad de aplicación	17
d.	Marco muestral para el sector minero	18
2.	Espacio temporal a considerar	20
3.	Unidad estadística considerada	20
4.	Limitaciones.....	21
a.	Eficiencia de la inversión.....	21
b.	Capital humano	21
c.	Inversión del resto del sector minero	21
VI.	I+D	22
1.	Por tipo de inversión	22

2.	Por origen del capital corporativo de la empresa	23
3.	Por tamaño de la empresa	24
4.	Por fuente de financiamiento.....	25
5.	Por región	25
6.	Por tipo de investigación	26
7.	Obstáculos a la I+D	26
8.	Incentivos estatales a la I+D	27
a.	Uso de fondos públicos en la I+D	27
b.	Incentivo tributario a la I+D	28
9.	I+D en relación al PIB.....	30
a.	I+D como proporción del PIB sectorial.....	30
b.	I+D minera como proporción del PIB en relación a Australia	31
c.	I+D minera como proporción del PIB en relación a otros sectores productivos.....	32
VII.	Actividades innovadoras distintas a I+D.....	33
1.	Por tipo de innovación	33
2.	Por actividad de innovación	34
3.	Por tamaño de la empresa	35
4.	Por origen del capital de la empresa.....	35
5.	Por región	36
6.	Desarrollo de la innovación.....	37
7.	Efectos de la innovación.....	37
8.	Fuentes de información.....	38
9.	Protección a la innovación	39
10.	Obstáculos a la innovación.....	40
11.	Innovación en relación al PIB	41
VIII.	Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i).....	42
1.	Comportamiento	42
2.	Por origen del capital y tamaño	43
3.	Por región	44
4.	Como porcentaje del PIB.....	44
IX.	Comentarios finales.....	45
X.	Anexo: Clasificación Explotación de minas y canteras	47
XI.	Referencias	48

I. Introducción

La innovación es un concepto en boga. Basta revisar la prensa, discursos y análisis de diversas publicaciones gremiales, políticas y académicas para advertir que suele ensalzarse como un eje clave del camino al desarrollo de cada industria e incluso del país. Lo anterior cobra una relevancia especial en una época marcada por la digitalización y la conectividad de flujos de información para la optimización de cada proceso, dando pie a la llamada revolución industrial 4.0.

En este contexto el sector minero nacional, si bien se suele caracterizar como conservador en la adopción de nuevas tecnologías (CESCO, 2020), relativamente reacio a la colaboración con actores externos y desprovisto de una visión de largo plazo (Meller, 2020), no ha estado ajeno a esta tendencia. En efecto, en los últimos años hemos sido testigos de cambios significativos en la forma de trabajo realizados por varias faenas mineras de gran tamaño. En paralelo, hemos visto el surgimiento de un creciente ecosistema de innovación, integrando mineras, proveedores, organizaciones gremiales, *start-ups*, universidades y organismos estatales bajo la meta de incrementar la innovación en el sector minero nacional.

Ahora bien, más allá del impacto comunicacional, desde un punto de vista industrial lo que se busca con la innovación en la industria minera es dar respuesta a desafíos que se han hecho progresivamente crecientes en el tiempo: Sin ir más lejos, se cuenta con minas envejecidas, lo que supone una roca más dura y menores leyes minerales, lo que a su vez obliga a una excavación más profunda, generando a su vez más material a trasladar y mayores distancias de acarreo, aumentando el riesgo geomecánico de operar estos yacimientos. Al mismo tiempo, suele operar en territorios relativamente desérticos donde el recurso hídrico es particularmente escaso, lo que a su vez obliga a mejorar la eficiencia de su uso y también a buscar fuentes marítimas. Por último, hoy existe una mayor conciencia de los impactos ambientales generados, lo que impone una preocupación creciente por la minimización de los mismos.

Naturalmente, a fin de dar respuesta a estos y otros desafíos, se requieren nuevas soluciones, lo que a su vez supone la necesidad de innovar. Asimismo, la innovación minera puede dar pie a la creación de nuevos conocimientos y tecnologías a nivel local, en la red de proveedores, *start-ups*, organizaciones gremiales y universidades, entre otros actores. Bajo este modo operativo, la innovación minera tiene un alto potencial de contribuir directamente a la diversificación económica del país.

Con estas consideraciones en mente, el presente trabajo busca -a partir de un enfoque cuantificable y explicable- caracterizar las actividades realizadas por las empresas mineras o bien contratadas directamente por las mismas, su evolución en el tiempo y las variables que la han guiado. En este contexto, dentro del área de investigación sobre innovación minera, el presente trabajo viene a complementar otras líneas de trabajo ya consolidadas en el tema por Cochilco, como lo son la innovación desarrollada por los proveedores mineros¹.

¹ Para más información sobre esta área, véase Encuesta de Innovación en Empresas Proveedoras de la Gran Minería (Cochilco, 2020), trabajo que viene realizándose desde 2016.

II. ¿Qué entendemos por Investigación, Desarrollo e Innovación?

Comúnmente se suele hablar de Investigación y Desarrollo (en adelante I+D) o de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) como un eje central en el desarrollo y proyección a largo plazo de cualquier industria. En efecto, si revisáramos las declaraciones públicas de prácticamente cualquier entidad y gremio industrial, probablemente encontraremos al menos la mención de apoyo a alguno de estas actividades.

Sin embargo, a pesar de su uso extendido en el discurso corriente, estos conceptos suelen aplicarse de forma relativamente libre, generando una suerte de nebulosa sobre su significado real. En efecto, se suelen percibir como algo positivo pero muchas veces desconociendo el sentido real de sus alcances o incluso las diferencias conceptuales de sus significados. Dado lo anterior, resulta pertinente en primer lugar hacer algunas aclaraciones.

1. I+D

Siguiendo las definiciones del Manual de Frascati (OECD, 2015), que se ha transformado en el estándar a nivel global de medición de I+D, podemos sintetizar a la I+D como la búsqueda y desarrollo de conocimiento *nuevo*. Es decir, se trata de conocimiento que no existe en la empresa o en la industria en cuestión. Este se puede dividir en varios tipos y categorías según su aplicación práctica y localización de su ejecución.

a. Tipos de I+D

Sobre el sentido de aplicación práctica de este nuevo conocimiento, se distinguen tres categorías:

- Investigación básica: Es trabajo teórico o experimental cuya meta es la adquisición de nuevo conocimiento sobre distintos fenómenos, sin contar con una aplicación práctica definida.
- Investigación aplicada: Al igual que la básica, busca adquirir nuevos conocimientos pero con una meta u objetivo definido.
- Desarrollo experimental: Es trabajo sistemático a partir de conocimiento adquirido de investigación o experiencia práctica, que apunta a conseguir nuevos productos o procesos o a las mejoras de productos o procesos ya existentes.

Ante todo, para que una actividad pueda ser clasificada como I+D debe cumplir con cinco criterios básicos: debe ser nueva, creativa, con resultado incierto, sistemática (es decir, debe ser planificada y presupuestada) y potencialmente transferible y reproducible en sus resultados. Como tal, la inversión I+D involucra flujos de capital y trabajo en el corto plazo, con resultados posiblemente en el largo plazo y sin garantía alguna de que serán positivos. En consecuencia, suele ser considerada como una actividad de altísimo riesgo.

En la figura 1 se ilustra como la encuesta de I+D realizada por el INE resume estos conceptos.

Figura 1: Investigación y Desarrollo en la empresa



Fuente: Cochilco en base al Manual de Frascati, OCDE (2015).

b. Clasificación según ejecución de la I+D: intramuro y extramuro:

El Manual de Frascati distingue la I+D mandatada y ejecutada al interior de la unidad reportante o empresa (Intramuro) de la I+D contratada a externos dentro o fuera del país y realizada fuera de las instalaciones de la empresa con personal externo (Extramuro), independiente del origen de los fondos de financiamiento.

A continuación describiremos someramente la composición de cada categoría:

b.1. I+D intramuro

Este tipo de inversión se puede desagregar en tres grandes categorías:

- **Gasto salarial:** Incluye a investigadores internos e investigadores externos *in-situ* (personal que ha sido contratado por un tiempo definido y que está físicamente presente en la empresa), técnicos y personal de apoyo dedicado a tareas de I+D.
- **Gasto operativo:** Comprende una serie de gastos operacionales necesarios para llevar a cabo las actividades de I+D. Estos incluyen el arriendo de bienes inmuebles (terrenos, edificios, laboratorios, salas y otros), gastos básicos (luz, gas, agua, internet, teléfono, aseo, seguridad), gastos de representación (gastos administrativos, viáticos, membresías, congresos, entre otros), gastos por pago de servicios para la I+D (toma de muestra, traducciones, asesorías, etc.), gastos por licencias menores o iguales a un año (suscripciones, softwares, etc.), compra de materiales (artículos de oficina, materiales de laboratorio, productos químicos, entre otros).
- **Capital físico:** Incluye la adquisición de terrenos para la I+D (tales como terrenos de prueba de equipos o de instalación de plantas piloto), gasto en edificios (sea para su construcción, reparación, modificación o mejora), gasto en equipos e instrumentos (incluyendo equipo de transporte, de radio, entre otros), y adquisición de propiedad intelectual con licencias superiores a un año (incluyendo patentes y licencias de software, equipos o productos necesarios para la I+D interna).

b.2. I+D extramuro

Como vimos, este tipo de inversión es ejecutada fuera de las instalaciones de la empresa, con personal externo. Se puede dividir en dos categorías:

- **Servicios contratados a terceros dentro del país o territorio de la empresa:** Por ejemplo, universidades, redes de empresas proveedoras o centros de investigación domésticos.
- **Servicios contratados a terceros en el extranjero:** Por ejemplo, universidades extranjeras para la realización de un determinado estudio.

2. Innovación

Por otra parte, siguiendo la definición de la tercera edición del Manual de Oslo (OECD, 2005) la innovación consiste en la introducción de productos (incluyendo bienes y servicios), procesos y sistemas de organización y marketing que puedan existir o no dentro de la industria o mercado, pero que difieren significativamente de los usados por la empresa en cuestión.

Estas categorías se pueden agrupar según su uso tecnológico, como se ilustra en la tabla 1 a continuación.

Tabla 1: Clasificación de la innovación según la tercera edición del Manual de Oslo²

Innovación tecnológica	Innovación no-tecnológica
De Producto: la introducción de un bien o servicio que es nuevo o mejorado significativamente	De Marketing: la implementación de un nuevo sistema de marketing involucrando cambios significativos en el diseño del producto, empaquetamiento, precio, promoción u otro
De Proceso: la implementación de un método de producción o de distribución que es un nuevo o significativamente mejorado	Organizacional: la implementación de un nuevo método organizacional en las prácticas comerciales, personal o sus relaciones externas

Fuente: Whelan y Farshchi (2011).

Ahora bien, la cuarta edición del Manual de Oslo (OECD, 2018) simplificó esta clasificación dejando únicamente a las categorías de producto y de procesos (definida formalmente como 'procesos de negocios'), donde esta última incluye a las categorías de marketing y organizacional. Es importante tener en cuenta esta nueva agrupación no sólo porque es la definición vigente a la fecha sino porque refleja un cambio sustantivo en la medición de la innovación que será necesario considerar al momento de realizar comparaciones en el tiempo, como haremos más adelante en el capítulo VII.

² Si bien no se explicita en la tabla, cabe mencionar que el Manual de Oslo también define otro tipo de innovación que no necesariamente busca mejorar la rentabilidad contable de una operación, sino que el bienestar de un grupo de individuos o de una comunidad. A esta se le define como innovación social. Sin embargo, para efectos del presente informe, no nos enfocaremos en este tipo de innovación.

Con todo, al margen de la clasificación conceptual, se puede deducir que el concepto de innovación es más amplio que el de I+D y, de acuerdo a los estándares de la OECD (que han sido seguidos institucionalmente a nivel mundial, incluyendo por Chile), lo engloba. En efecto, a partir de las cuatro categorías de innovación descritas, el Manual de Oslo distingue ocho tipos de actividades innovativas:

- I+D: Se incluye a las tres categorías de I+D revisadas previamente. Si bien existe un argumento a favor de excluir a la Investigación básica, se incluye igualmente por razones prácticas (OECD, 2018).
- Ingeniería, diseño y otras actividades creativas: Cubre actividades creativas o experimentales que podrían estar incluidas en I+D pero que no cumple con alguno de los cinco criterios básicos ya vistos. Esto puede incluir actividades de apoyo o seguimiento de I+D o bien actividades independientes a I+D.
- Actividades de marketing y valor de marca: Incluye investigación de mercado, testeo de Mercado, sistemas de precios, promoción y gestión de venta, entre otros elementos.
- Actividades relacionadas a la Propiedad Intelectual: incluye toda actividad vinculada con la protección o explotación de conocimiento creado a través de I+D, ingeniería y diseño u otra actividad innovativa, incluyendo explícitamente en su cuarta edición de 2018 a la exploración y evaluación de minerales. Este punto es importante en tanto la inversión se sabe que la exploración es un tipo de inversión particularmente importante para el sector minero. Ahora bien, a pesar de estar mencionado en el Manual, no se explicita dentro de la Encuesta de Innovación del Ministerio de Economía.
- Capacitación laboral: Involucra la capacitación de todas las actividades que son pagadas o subsidiadas por la firma para el desarrollo de conocimiento y habilidades requeridas para los objetivos o tareas de los empleados de la firma.
- Desarrollo de software y bases de datos: Comprende el desarrollo propio (in-house) y compra de software, sistemas de bases de datos computacionales, sistemas de información, programas y material de apoyo.
- Actividades relacionadas a la adquisición o arriendo de activos tangibles: Incluye la adquisición y desarrollo propio de equipos, maquinarias y edificios.
- Actividades de innovación en administración: Engloba a todas las actividades sistemáticas de planificación, gobernanza y control interno y externo de los recursos dedicados a innovación.

3. ¿Cómo distinguimos I+D de Innovación?

A partir de la revisión de los conceptos, se desprende que I+D es el primer pilar en el ciclo del proceso innovativo, en tanto consiste en la búsqueda de conocimiento nuevo. A esta actividad le siguen por su puesto una serie de actividades innovativas que en general consisten en la aplicación del conocimiento ya existente, haya sido creado por la propia empresa o no.

Como se puede entrever, desde un punto de vista comercial, la inversión en I+D suele ser más riesgosa que el resto de las actividades innovativas, en tanto que en la primera se está buscando la creación de conocimiento sin necesariamente buscar resolver una necesidad comercial o industrial clara, cuenta con una temporalidad de resultados generalmente a largo plazo, y con probabilidades más bien inciertas de resultados favorables. Con las otras actividades innovativas en cambio se suele buscar resolver un apremio comercial o productivo concreto, que tenga resultados generalmente en el corto o mediano plazo y con una probabilidad relativamente mayor de resultados favorables.

Nótese que empleamos el concepto de 'actividades innovativas' como un todo que incluye a la I+D. En adelante (particularmente en el capítulo VII), excluirémos explícitamente a la I+D de las otras actividades innovativas a fin de distinguir claramente cada categoría de análisis.

III. ¿Qué tan importante es la innovación en el sector minero?

Tal como ocurre en prácticamente cualquier industria, la innovación es crucial para su proyección y crecimiento futuro. Sin embargo, las razones específicas tienden a divergir, especialmente al discutir sobre industrias enfocadas en la extracción y procesamiento de recursos naturales, como es la minería. En consecuencia, haremos una sucinta revisión de algunos de los motivos más relevantes que justifican la importancia de la innovación en el sector minero.

1. Impacto medioambiental

Durante las últimas décadas la gran minería de cobre y otros metales industriales se ha enfocado en incrementar su escala de extracción y procesamiento. En este contexto, conforme han crecido las operaciones, también ha crecido el tamaño y capacidad de los equipos así como del material extraído y procesado. Si bien esto ha permitido el aumento de la oferta, también ha significado un mayor impacto por los desechos y relaves generados así como un alto consumo de insumos críticos escasos, tales como energía, agua y combustibles.

Actualmente, en un contexto mundial de preocupación creciente por los impactos negativos de la gran industria, un enfoque de crecimiento en escala, insumos y desechos no es sostenible. En consecuencia, un aspecto importante de la innovación minera reside en maximizar la producción sujeto a la minimización del consumo de insumos así como de propender a menores niveles de contaminación y con mejores técnicas de mantención y tratamiento para los relaves producidos. Para cada uno de estos puntos se abre un abanico de posibilidades que pueden ser abordados directa o indirectamente por las empresas mineras.

2. Ganancias de productividad

En aras de mejorar la productividad del capital, prácticamente todas las industrias han incursionado en distinto grado en una progresiva tecnologización e incluso la automatización parcial o total de sus procesos. El sector minero no ha sido la excepción a esta tendencia y ya se está avanzando progresivamente a la llamada Minería 4.0, una verdadera revolución tecnológica caracterizada por la digitalización, la automatización y la conectividad de las faenas. Con este fin, varias de las grandes mineras ya han implementado sistemas de automatización y robótica en sus operaciones unitarias: Perforación, Tronadura, Carguío, Transporte, Chancado y Molienda, y también en Concentración y Fundición junto, por su puesto a servicios de mina y la exploración geológica.

Sin ir más lejos, en el área de transporte en particular se cuenta con vehículos autónomos, los cuales son operados desde una sala de control, proveyendo la distancia necesaria para prevenir accidentes y interrupciones al trabajo de la mina. Estos vehículos también pueden ser usados en áreas donde los trabajadores no pueden ir, dando a las compañías nuevas oportunidades en la extracción de minerales.

3. Generación y uso de información

A medida que la industria minera se ha vuelto más madura y los precios de los *commodities* industriales han sufrido variaciones significativas, hay dos aspectos que han cobrado una progresiva importancia en la gestión minera: En el corto y mediano plazo, una mayor preocupación por los costos. En el largo plazo, la búsqueda de una comprensión más detallada y precisa de la mineralogía de los yacimientos. En ambas categorías la obtención y uso de información se vuelve crucial.

De esta forma, en el contexto de la minería 4.0 se abren oportunidades de digitalización, medición, simulación y uso de información incluyendo, por ejemplo, la elaboración indicadores en tiempo real del estado de los procesos mediante el uso de sensores, cámaras, drones y otros instrumentos, lo que permite responder con inmediatez a eventuales problemas que puedan presentarse. De igual forma, también se vuelve relevante rescatar a información ya existente. Sobre este punto, las grandes mineras ya cuentan con una enorme cantidad de información generada a partir de sus procesos productivos. Sin embargo, en muchos casos ésta no es usada, lo que puede implicar oportunidades perdidas de ganancias de eficiencia. Por ejemplo, en un menor uso de insumos o en un *timing* más eficiente de su consumo a fin de reducir sus costos.

4. Consideraciones locales

a. Minería local madura y de gran escala

Chile en particular cuenta con una minería del cobre con yacimientos de gran escala y altamente desarrollada. Si bien esta particularidad concede una experiencia que muchos otros países productores no poseen, también presenta desafíos. Por un lado, los grandes yacimientos en general ya han sido explotados por décadas, lo que ha provocado el endurecimiento de la roca y la degradación continua de sus leyes. Como consecuencia, todo lo demás constante, el uso de insumos y los costos de producción se hacen progresivamente mayores.

En la misma línea, además del tamaño, existen otras consideraciones de índole local dadas por el entorno del sector: la minería nacional se caracteriza por encontrarse en territorios desérticos, donde el recurso hídrico se ha vuelto crecientemente escaso, lo que ha incentivado el uso y bombeo de aguas marítimas, así como a una mayor recirculación de aguas dentro de los procesos mineros. En paralelo, suele estar sujeta a una alta variabilidad sísmica, lo que obliga un mayor monitoreo y también determina las normas de construcción.

En este sentido, considerando todas las particularidades propias de la gran minería chilena, por lo general no existe un plano comparable de aplicación de experiencias con un alto grado de similitud en el resto del mundo. Así, ante problemas únicos nace la necesidad de encontrar soluciones propias, situación que en principio obliga a la inversión en I+D e innovación en general.

b. Diversificación en la producción

Por otro lado, en las últimas décadas Chile ha avanzado significativamente en la producción de sus principales *commodities* mineros, destacando por su puesto el cobre en primer lugar, seguido del molibdeno, el litio, el oro, el hierro y el potasio entre otros. Sin embargo, se ha tendido a dejar de lado o reaccionar relativamente tarde frente a otros minerales con alto potencial de demanda que están presentes en nuestro país, como el cobalto, el uranio y las tierras raras. Ante esto, se hace necesaria nuevamente una comprensión más acabada de los yacimientos y la adopción de nuevas tecnologías para medir, evaluar la factibilidad y últimamente procesar minerales en los cuales el país no cuenta con experiencia industrial moderna.

c. Diversificación económica

Además de la diversificación dentro del sector minero, están las oportunidades de diversificación de toda la economía del país. En efecto, al desarrollar una industria minera basada en el conocimiento, se abren puertas para exportación de nuevos bienes, servicios, técnicas y procesos que hagan de Chile no solo un referente en producción de minerales sino que un centro de exportación de tecnologías, integrando a las mineras como todo el ecosistema de innovación, de un modo similar al desarrollo que ha tenido la industria minera australiana en las últimas décadas³.

³ Precisamente este es uno de los objetivos estratégicos del Programa Alta Ley impulsado por CORFO, el Ministerio de Minería y Fundación Chile.

IV. Actividades innovativas en el sector minero chileno

1. Motivaciones y obstáculos

Atendiendo al hecho de contar con una minería madura y de gran escala que enfrenta desafíos únicos en el mundo, la innovación y el desarrollo de soluciones propias adquieren un peso progresivamente creciente. Esta situación es desde luego particularmente crítica para las grandes mineras que no siempre encuentran en el resto del mundo soluciones equivalentes dado que su tamaño y condiciones de trabajo son excepcionales.

Ahora bien, esta necesidad por innovar colisiona con reticencias propias del sector. Por una parte, existe una cierta cultura minera adversa al cambio y la adopción de nuevas tecnologías (CESCO, 2020). En paralelo, también desde un punto de vista cultural, se dice que en el sector no existe una gran apertura a la colaboración de los mandantes con otros actores y suele que suele prevalecer una visión de negocios cortoplacista (Meller, 2020).

Por otra parte, están las consideraciones prácticas de que cualquier cambio puede significar un riesgo de menor producción (situación que es especialmente crítica en la minería al ser una industria de trabajo continuo⁴), el costo de la inversión a realizar (puede estimarse como demasiado alto dadas las necesidades de la empresa, particularmente en tiempos en que se buscan reducir los costos) y la evaluación que se tenga sobre la robustez de las tecnologías a implementar (pueden considerarse como inmaduras o no lo suficientemente confiables), entre otros factores.

Con todo, a raíz del creciente peso de los desafíos productivos y ambientales que enfrenta la minería nacional, la adopción de nuevas tecnologías se ha vuelto en una necesidad para su proyección a largo plazo. En efecto, con miras al futuro no es económicamente rentable ni socialmente aceptable una industria minera que no se integre nuevas tecnologías a fin de alivianar la presión sobre sus costos productivos y reducir su impacto ambiental.

2. Ecosistema de innovación

Como se ilustra en la figura 2 más abajo, el ecosistema de innovación en la minería nacional se compone de diversos actores. En un primer término están las empresas mineras, las cuales pueden desarrollar actividades innovativas al interior de la propia empresa o bien subcontratarlas o integrando a otros actores para realizarlas. Estos incluyen a proveedores, universidades, centros de investigación, *start-ups*, organizaciones estatales y nódulos internacionales.

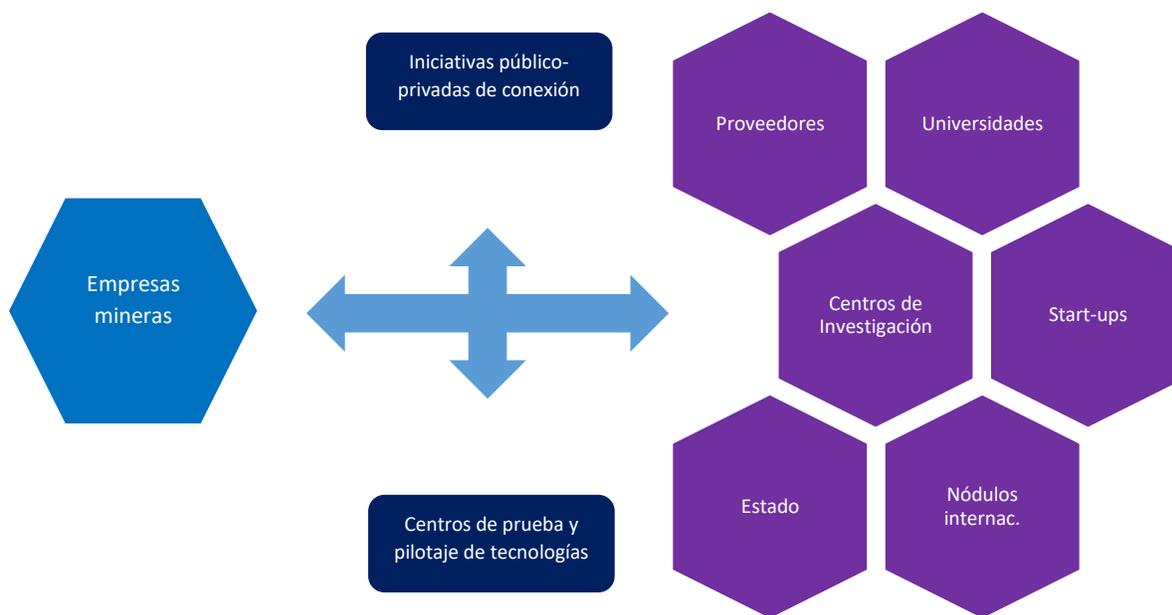
Por lo general, son los proveedores quienes, además de las mineras, adquieren el papel protagónico en la innovación, lo que se debe a la estrecha relación de trabajo que guardan con sus mandantes, situación que les permite conocer de primera fuente sus necesidades más urgentes para así buscar oportunidades de solución. Al mismo tiempo, la mayoría de los proveedores están agrupados en

⁴ Sebastián Carmona, Gerente de Innovación de Codelco sostiene que “es como cambiar el volante a un auto que va a 300 km./hora. o como hacer una cirugía a corazón abierto. El corazón puede dejar de latir” (InnovaRock, 2019).

organizaciones gremiales⁵, lo que potencialmente les otorga oportunidades de conocer más estrechamente los desafíos que enfrentan las distintas mineras, aun cuando no sean los clientes de una empresa minera en específico.

Ahora bien, en línea con un mayor fomento en la innovación, en los últimos años hemos visto un creciente estímulo a la cooperación de los otros actores mencionados tanto con sus mandantes como entre las empresas y entidades de su red⁶. Este impulso ha sido permitido a través de dos líneas concretas: primero con la implementación de programas que conectan las necesidades de las mineras con potenciales soluciones de distintas redes⁷, y con el desarrollo de centros de pilotaje donde las innovaciones desarrolladas pueden ser probadas antes de ser ejecutadas de lleno en una operación minera⁸.

Figura 2: Ecosistema de innovación en la minería chilena



Fuente: Cochilco.

⁵ En particular, se cuenta con APRIMIN (Asociación de Proveedores Industriales de la Minería). Más específicamente dentro del campo de la innovación y la adquisición de conocimientos se cuenta con Minnovex.

⁶ En este sentido, según datos de la Encuesta de Innovación en las Empresas Proveedoras (Cochilco, 2020), vemos que para las empresas proveedoras de la gran minería las mayores acciones de cooperación se dan con sus mandantes, luego con otros proveedores y en tercer lugar con universidades y otros centros de educación superior. Ahora bien, al enfrentar escenarios adversos se advierte que la generación de alianzas o proyectos colaborativos con empresas afines o complementarias a la suya es la principal estrategia a adoptar.

⁷ Aquí se encuentra el Fondo Expande como iniciativa público-privada entre Fundación Chile y CORFO, que conecta los desafíos de un grupo de BHP, Codelco, Antofagasta Minerals y Collahuasi con empresas proveedoras y *start-ups*.

⁸ Por ejemplo, CIPTMIN (Centro integrado de pilotaje de tecnologías mineras) desarrollado y el CNP (El Centro Nacional de Pilotaje de Tecnologías para la Minería), ambos fundados por universidades y organizaciones gremiales de proveedores.

V. Medición de las actividades innovativas en el sector minero chileno

A partir del marco conceptual impulsado y definido por la OECD, Chile ha realizado un trabajo continuo por medir el gasto en actividades innovativas (entendiendo Innovación e Investigación y Desarrollo) realizada domésticamente. Con este fin, el Estado a través del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (en adelante Ministerio de Economía) y desde el 2018 a través del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (en adelante Ministerio de Ciencia) con el Instituto Nacional de Estadísticas como organismo ejecutante aplica la “Encuesta de Gasto y Personal en Investigación y Desarrollo Sector Empresas” (en adelante Encuesta de I+D) y la “Encuesta de Innovación en las Empresas” (en adelante Encuesta de Innovación).

En los capítulos VI, VII y VIII del presente estudio revisaremos los datos obtenidos de ambas encuestas para el sector minero en particular, a fin de visualizar su estado actual así como su comportamiento en los últimos años. Esto nos permitirá contar con algunas luces de su evolución en el tiempo así como de los factores que la afectan.

1. Antecedentes generales de las encuestas consideradas

Antes de entrar de lleno a los resultados, conviene revisar someramente en qué consiste cada uno de los instrumentos, cuál es su objetivo, las consideraciones metodológicas sobre las que operan, su aplicación, forma y periodicidad, así como su representatividad para el sector minero en particular.

a. Objetivo

De acuerdo a las definiciones del Ministerio de Economía (2017), las encuestas buscan proporcionar información tanto cuantitativa como cualitativa sobre la estructura de las actividades innovativas de las empresas en Chile, y mostrar las relaciones entre dicho proceso y la estrategia innovativa, el esfuerzo innovativo, así como los factores que influyen en su capacidad para innovar, entre otros aspectos.

b. Metodología

La población objetivo de interés se compone de las empresas naturales o jurídicas⁹, que desarrollen su actividad dentro de los límites territoriales del país, que cuenten con iniciación de actividades en el Servicio de Impuestos Internos. Para cada sector económico se define un marco muestral de empresas sobre las que se aplicará el instrumento, el cual es contestado de forma *online*.

⁹ La Encuesta de I+D incluye además al Estado, Instituciones de Educación Superior e Instituciones Privadas sin Fines de Lucro (IPFL). Sin embargo, en el presente estudio solo nos enfocaremos en las empresas mineras.

Ahora bien, a pesar de que no es el objetivo de este informe profundizar en el detalle de su metodología, conviene señalar que tanto su diseño de formulario como sus estrategias de levantamiento de datos siguen los lineamientos generales sugeridos por la OECD y la Community Innovation Survey (CIS) de Eurostat, los que están plasmados en el Manual de Oslo y el Manual de Frascati. Estos son aplicados en la mayoría de los países miembros con la finalidad de que sus resultados y estadísticas sean comparables internacionalmente. De esta forma, podemos seguir ocupando las definiciones ya revisadas en el capítulo II con tranquilidad.

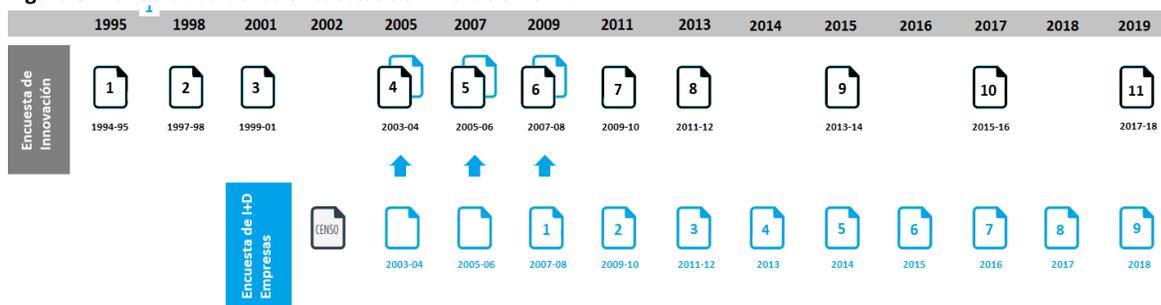
c. Forma y periodicidad de aplicación

Ambas encuestas han seguido distintos criterios y periodicidad en su aplicación. Por una parte, la Encuesta de Innovación se viene levantando trianualmente desde 1995 hasta 2001, luego se retomó a partir de 2005 para ser posteriormente aplicada de forma bianual. Por otra parte, la Encuesta de I+D se comenzó a levantar en 2005 como un módulo adicional dentro de la Encuesta de Innovación, situación que se mantuvo en las dos encuestas subsiguientes para posteriormente ser aplicada de forma separada¹⁰ cada dos años hasta 2014. Desde entonces se ha levantado de forma anual.

Es necesario mencionar además que la Encuesta de I+D aplicada en 2009 tuvo cambios metodológicos significativos. Si bien estas variaciones permitieron un mayor ajuste a los estándares internacionales, hicieron que no todos sus resultados no sean comparables a las dos encuestas anteriormente realizadas. De igual forma, a partir de la Encuesta I+D aplicada en 2011 se consideró a un directorio de empresas que se sabía o presumía que ejecutaban I+D, lo que permite una medición más precisa del universo de empresas que realizan estas actividades.

La figura 3 a continuación resume la periodicidad de cada instrumento así como la interacción que ha existido entre ambos. La primera fila hace mención a los años en que cada encuesta es aplicada mientras que los años debajo de cada ícono indican la cobertura temporal de cada instrumento.

Figura 3: Periodicidad de las encuestas de Innovación e I+D



Nota: El año de aplicación se indica en la fila gris, mientras que la cobertura se indica debajo de cada ícono.

Fuente: Cochilco en base a información del Ministerio de Economía.

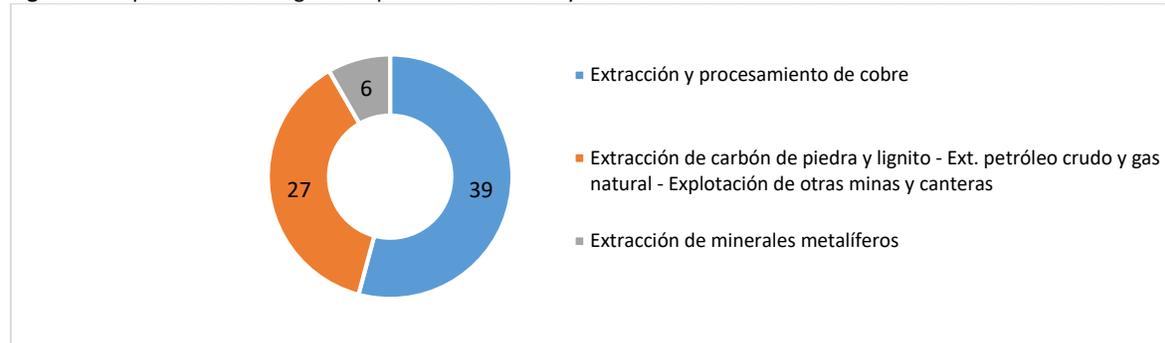
¹⁰ El motivo del quiebre se atribuye a consideraciones metodológicas como la posible confusión entre Innovación e I+D que puede existir entre quienes responden.

d. Marco muestral para el sector minero

Tanto la Encuesta de Innovación como la Encuesta de I+D clasifican a las empresas según la Clasificación Industrial de Actividades Económicas de Naciones Unidas. Para el caso del sector minero, la glosa de interés es 'Explotación de Minas y Canteras', cuya descripción se encuentra en el Anexo.

Si bien no se cuentan con datos públicos sobre una clasificación detallada de las empresas consultadas en esta categoría, en las notas metodológicas de la última Encuesta de Innovación (2020) se presentó un breve desglose de esta categoría, que ilustramos abajo en la Figura 4.

Figura 4: Empresas de la categoría 'Explotación de Minas y Canteras' consultadas en la Encuesta de Innovación 2017-18



Fuente: Notas Metodológicas de la Encuesta de Innovación 2017-18.

Como se desprende, en esta edición se consultaron 72 empresas de nuestra categoría de interés, 39 de las cuales correspondieron a mineras dedicadas a la extracción y procesamiento de cobre (es decir, el 54% del total). Ahora bien, se puede observar que la categoría incluye a la 'Extracción de Petróleo Crudo y Gas Natural', lo que –aun cuando Chile no destaca por su producción de hidrocarburos- puede impurificar un análisis de índole exclusivamente minera. En consecuencia, dado que ENAP es la única empresa significativa en este subsector, se buscó su identificación¹¹ y luego su remoción de nuestro marco de análisis. Como resultado, en la práctica consideramos los datos de 71 empresas en lugar de 72 en la edición 2017-18. De igual forma, esta identificación y remoción se hizo en ediciones anteriores de los dos instrumentos considerados.

Con todo, si bien la Encuesta de Innovación es representativa por sector económico, se debe destacar que desde 2005 la actividad minera (junto al sector de electricidad, gas y agua) entra como censo para las empresas de gran y mediana escala. Es decir, desde un punto de vista productivo se está considerando a prácticamente el 100% de la actividad minera nacional, sin necesidad de tener que ajustar por algún factor de expansión, como sucede con los demás sectores económicos.

¹¹ Si bien la base de datos de empresas es innominada, en algunos casos existen suficientes datos para lograr la identificación de algunas empresas relevantes tales como el año de fundación o su porcentaje de propiedad estatal. Tal es el caso que permite la identificación de ENAP.

Por otra parte, en la Encuesta de I+D se tiene que hasta su aplicación de 2009 (es decir, considerando I+D ejecutada hasta el año 2007) se tomaba una muestra a partir de la base de la Encuesta de Innovación junto a la inclusión forzosa de las grandes empresas. Con posterioridad a ese año, se consideró un directorio de empresas de las cuales se sabía o se suponía que ejecutaban I+D¹². Desde entonces este directorio ha sido progresivamente ajustado a fin de captar la totalidad de la I+D del país en cada sector económico, incluyendo por su puesto el minero.

A raíz de lo anterior, el número de empresas consideradas en la encuesta de I+D ha mostrado diferencias significativas. Esto puede constituir un inconveniente para su comparabilidad en el tiempo en tanto que, al considerar un directorio de empresas que se sabe o presume que ejecutan I+D, potencialmente se podría dejar fuera a algunas empresas que realizan este tipo de actividades, especialmente en los casos en que la muestra es pequeña. La tabla 2 a continuación resume a las empresas mineras consultadas en cada instrumento desde el año 2009 al 2017.

Tabla 2: Empresas mineras consultadas

Instrumento	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Encuesta I+D	50	50	16	16	68	68	64	48	44	35	33	49
Encuesta Innovación	50	50	56	56	59	59	49	49	78	78	71	71

Fuente: Cochilco en base a las encuestas consideradas.

Como se puede apreciar, en los años 2007-2008 en número de empresas consultadas es el mismo en cada instrumento, situación que se debe a que para dichos años se realizó una misma gran encuesta para medir las actividades innovativas en general. En los años 2009-2010, ya con ambos instrumentos separados, vemos que en la encuesta de I+D sólo se encuestaron a 16 empresas, para luego ajustarse a 68 en la edición 2011-2012 y desde entonces disminuir progresivamente a 33 en 2017. Esta caída progresiva entre 2013 y 2017 responde los ajustes continuos al Directorio de empresas que se sabe o presume que realizan I+D. Así, por ejemplo, si se sabe en virtud de encuestas anteriores que una empresa no realiza actividades de I+D y que tampoco tiene intenciones de realizarlas próximamente, resulta válido evitar consultarle nuevamente en la siguiente versión de la encuesta.

¹² El motivo del cambio se ciñó a las recomendaciones del Manual de Frascati: cuando se sabe que el número de empresas que ejecutan actividades I+D es bajo, es preferible usar metodología de Directorio, ya que la probabilidad de que se seleccione a una empresa I+D dentro de una muestra es baja (como se hacía a partir de la Encuesta de Innovación), lo que puede llevar a una subestimación de la I+D.

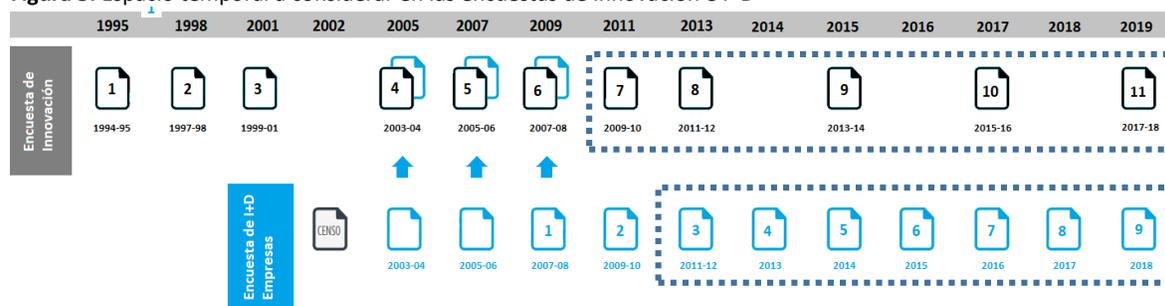
2. Espacio temporal a considerar

Para el caso de la Encuesta de Innovación se consideran cinco instrumentos que conjuntamente comprenden el periodo 2009-2018, es decir, 10 años. No se incluyen los años 2007-2008 debido a que a partir de dicha edición hubo algunos cambios en el formato de algunas preguntas que impiden su comparabilidad con ediciones posteriores.

Por otra parte, para el caso de la Encuesta de I+D se consideran siete instrumentos que comprenden el periodo 2011-2018, es decir, 8 años. No se incluyen periodos anteriores debido a cambios metodológicos y también considerando el número relativamente bajo de empresas que fue consultado en los años 2009-2010 (apenas 16 empresas, como vimos en la tabla 2).

La figura 5 a continuación muestra un cuadro de línea punteada que contiene los instrumentos que son considerados por el presente estudio.

Figura 5: Espacio temporal a considerar en las encuestas de Innovación e I+D



Fuente: Cochilco en base a información del Ministerio de Economía y del Ministerio de Ciencia.

3. Unidad estadística considerada

El alcance del presente estudio se circunscribe directamente a las empresas de mediana y gran minería. Esta es en efecto la unidad estadística consultada tanto en la encuesta de I+D como la de Innovación. En consecuencia, no estamos considerando las actividades innovativas realizadas por otras entidades, tales como proveedores mineros, agencias estatales, universidades y centros de investigación sin fines de lucro excepto en los casos en que las empresas declaran subcontratar estas actividades a externos (como es el caso de la I+D extramuro).

Por último, cabe mencionar que el estudio se realiza a partir de bases de datos públicas que contienen datos innominados de las empresas. En consecuencia, no es posible su identificación certera excepto en los casos en los cuales resulta evidente en función de sus ventas, organización jurídica, año de inicio de producción, entre otras variables. Por ejemplo, para Codelco y Enami, siendo las únicas empresas estatales, o para el El Abra y Los Bronces que cuentan con una participación estatal única y conocida. Existen otros casos en los cuales se puede presumir la identidad de la empresa, pero por cautela no se harán las menciones a menos que su identificación sea posible y su discusión resulte de alta utilidad para la discusión pertinente.

4. Limitaciones

La metodología de trabajo planteado presenta algunas limitaciones dadas por elementos que no consideramos al momento de caracterizar el comportamiento de las actividades innovativas de las empresas mineras del país. A continuación discutiremos los principales.

a. Eficiencia de la inversión

Al considerar los montos de inversión no estamos sopesando los resultados a obtener, de manera que no es posible saber que tan útil es o al menos se espera que sea la inversión en cuestión. Así, por ejemplo, hipotéticamente una empresa puede invertir enormes sumas en innovación, sin que necesariamente esta tenga resultados favorables. En contraste, otra empresa puede invertir cantidades comparativamente menores, obteniendo resultados que satisfagan o incluso sobrepasen las metas corporativas.

Esto es desde luego particularmente crítico para el caso de la I+D donde los riesgos y variabilidad de los resultados son naturalmente mayores.

b. Capital humano

Si bien el presente trabajo mide el gasto en salarios y remuneraciones del capital usado para realizar las actividades de I+D e innovación en general, no se considera su número, formación técnica o composición, lo cual también son indicadores relevantes para medir los esfuerzos en innovación de las empresas. A futuro es posible integrarlos en la medición, particularmente dada la riqueza descriptiva que hace la Encuesta de I+D (cuyos contenidos de hecho incluyen al capital humano; se trata en efecto de la 'Encuesta Sobre Gasto y Personal en Investigación y Desarrollo en las Empresas').

c. Inversión del resto del sector minero

Es pertinente volver a hacer hincapié en que solo estamos considerando la inversión en I+D y otras actividades innovadoras realizada por las empresas mineras, lo que deja fuera a los proveedores, instituciones de educación superior y centros públicos o privados que puedan realizar inversiones propias para proveer soluciones innovadoras al sector. En consecuencia, no se debe interpretar el presente trabajo como una medición de la inversión en I+D+i del sector minero como un todo, sino que únicamente de la inversión realizada por las empresas mineras en específico.

d. Comparabilidad entre sectores mineros

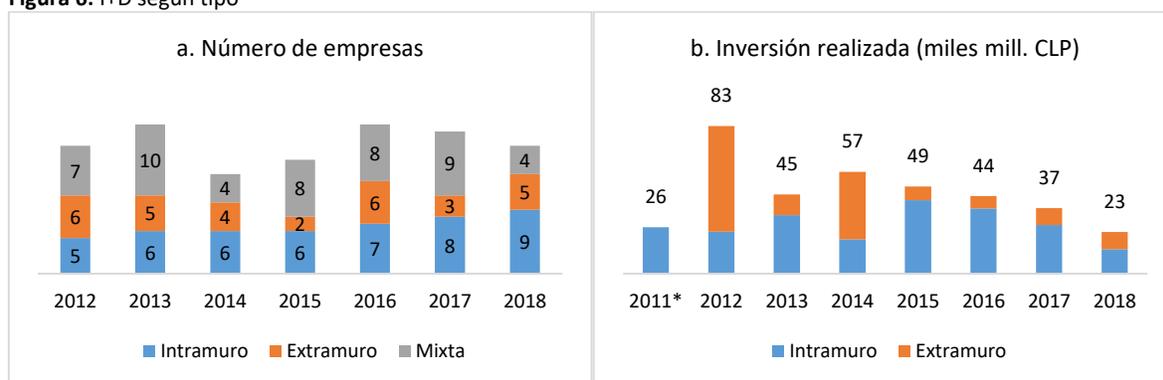
Por último, dadas las características de las encuestas, estamos tratando al sector minero sin distinción del sector de operación. Así, no diferenciamos entre empresas de hierro, litio, cobre u oro, con lo cual se pierde una categoría potencialmente importante (en la medida en que las cifras de I+D+i varíen significativamente entre sectores) de análisis de los datos.

VI. I+D

1. Por tipo de inversión

Como vimos en el capítulo II, la inversión I+D se puede dividir en intramuro y extramuro según la ejecución de la misma. Atendiendo a esta clasificación, en la figura 6.a de más abajo se ilustra el número de empresas que realizaron algún tipo de inversión o bien ambos (en este caso, le llamaremos 'mixta') entre los años 2012 y 2018¹³. En paralelo, en la figura 6.b se grafican los montos de inversión ejecutados en esos mismos años, desagregando nuevamente por su tipo.

Figura 6: I+D según tipo



*Sin incluir I+D Extramuro dado que no se consultó en dicho año.

Fuente: Cochilco en base a Encuestas I+D.

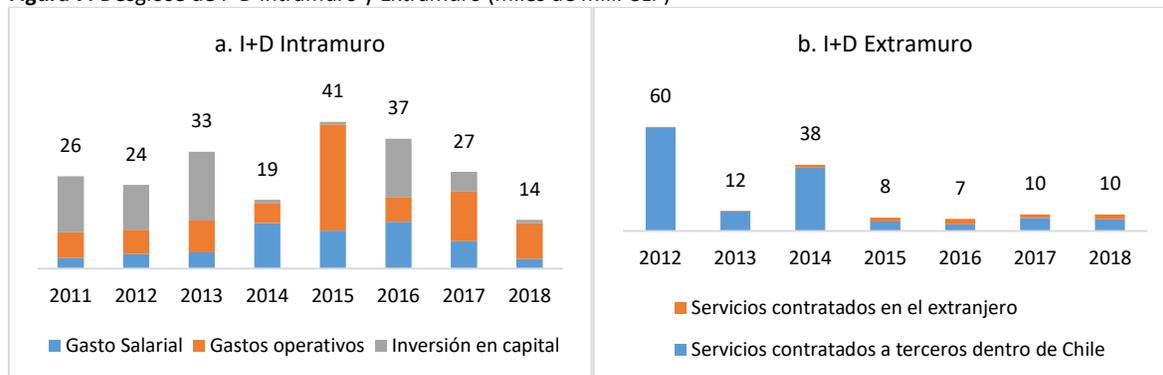
Vemos que en 2018 9 empresas realizaron exclusivamente I+D Intramuro, 5 Extramuro y 4 de los dos tipos (Mixta), dando así un total de 18 empresas que realizaron algún tipo de inversión en I+D en dicho año. En general el número total se ha mantenido sin grandes variaciones en el periodo considerado, registrando un mínimo de 14 en 2014 y un máximo de 21 en 2016.

Por otra parte, en relación a los montos, se puede apreciar que existe una tendencia hacia la inversión Intramuro, representando el 58% del total invertido en todo el periodo 2012-18. Ahora bien, sí hubo dos excepciones importantes donde la I+D Extramuro fue preponderante en los años 2012 y 2014 (representando el 72% y 66% del total respectivamente), en ambos casos explicadas principalmente por actividades de Codelco. Con todo, la I+D total alcanzó los \$23.318 millones en 2018, representado su monto anual más bajo entre los años 2011 y 2018, periodo en el cual la I+D anual promedió los \$45.462 millones (sin incluir I+D Intramuro en el año 2011).

En la figura 7.a y 7.b más abajo se resume la I+D Intramuro entre los años 2011 y 2018 y Extramuro entre los años 2012 y 2018 según las subcategorías mencionadas. La diferencia en los periodos considerados se debe a que, como vimos, para el año 2011 no se consultó por la I+D Extramuro, de manera que no existe información para dicho periodo.

¹³ No se cuentan con datos para esta clasificación en 2011.

Figura 7: Desglose de I+D Intramuro y Extramuro (miles de mill. CLP)



Fuente: Cochilco en base a Encuestas I+D.

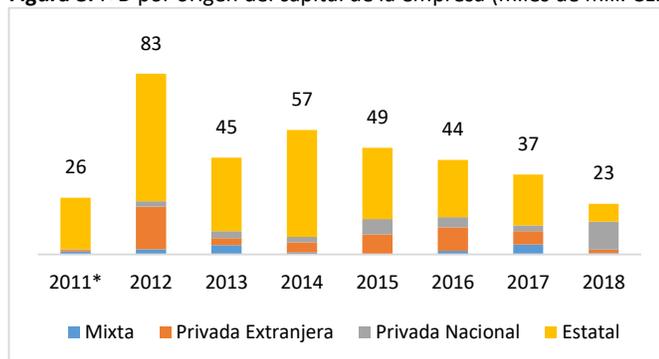
A partir de la figura 7.a se observa que la I+D Intramuro presenta una alta variabilidad en las tres subcategorías de inversión consideradas. Por ejemplo, mientras que la inversión en capital físico de I+D fue de apenas \$679 millones en 2015, aumentó a \$16.424 millones en 2016, es decir, unas 24 veces más. Esta situación podría deberse a algún grado de reemplazo entre I+D en capital físico e I+D en gastos operativos, particularmente atendiendo a los arriendos de terrenos o edificios ocurridos. Por último, el gasto salarial ha experimentado una variabilidad menor en relación con las otras dos subcategorías. Se aprecia en particular que ha tendido a ser mayor desde 2014 en adelante (promediando \$11.124 millones) en comparación al periodo 2011-2013 (promediando \$3.914 millones).

Por otra parte, se puede advertir de la figura 7.b que la I+D Extramuro proviene casi exclusivamente de servicios contratados a terceros dentro de Chile (92% del total durante el periodo 2012-18), lo que en su mayor parte se explica por actividades subcontratadas por Codelco.

2. Por origen del capital corporativo de la empresa

Como se puede advertir en la figura 8, la I+D se ha realizado principalmente a nivel estatal, específicamente a través de Codelco. En efecto, entre los años 2011 y 2018, Codelco representó el 70% de la inversión nominal agregada. A esta empresa le sigue la I+D privada extranjera con 15%, la privada nacional con 10%, y finalmente la inversión mixta (empresas de capitales privados nacionales y extranjeros o bien capitales privados y públicos) con 4%.

Figura 8: I+D por origen del capital de la empresa (miles de mill. CLP)



*Sin considerar I+D Extramuro.

Fuente: Cochilco en base a Encuestas I+D.

Sin embargo, vemos que la I+D estatal ha disminuido progresivamente en los últimos años, cayendo paulatinamente desde \$49.147 millones en 2014 a \$8.126 millones en 2018 (-83%), lo que ha inducido en el descenso agregado de este tipo de inversión en el sector.

Si bien no es el foco de este trabajo describir la situación de empresas específicas, la progresiva caída de Codelco se puede interpretar como parte de su estrategia corporativa de reducir costos, lo que conllevó progresivos recortes en I+D desde 2013 a la fecha, siendo el cierre de Codelcotech (unidad de I+D de Codelco creada en 2016 a través de la fusión de tres filiales de innovación que la empresa tenía en ese momento -Biosigma, IM2 y Codelco Lab) a comienzos de 2020 un desenlace concreto y palpable de esta estrategia¹⁴.

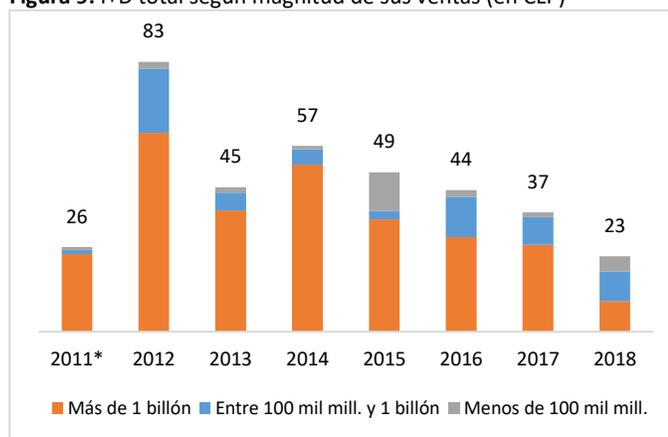
Otro aspecto llamativo de la gráfica es el importante incremento que tuvo la I+D de empresas privadas de capitales nacionales, llegando a \$13.015 millones en 2018, por lejos su mayor valor dentro del periodo de estudio, lo que equivalió al 56% del total en dicho año.

3. Por tamaño de la empresa

Típicamente en Cochilco definimos el tamaño de una minera a partir de su producción anual de cobre equivalente. Sin embargo, dado que estamos trabajando con datos innominados y no es posible identificar con certeza a cada empresa ni su producción, se hace necesario buscar otro criterio. Para este efecto, consideraremos las ventas anuales agrupadas en tres categorías simples: Más de un billón de pesos (en la terminología del castellano, es decir, un millón de millones), entre \$100 mil millones y un billón, y menos de \$100 mil millones. Esto se ilustra en la figura 9 más abajo.

Como se observa, las empresas con ventas de más de un billón (que varían entre 3 y 7 empresas dependiendo del año considerado) son responsables de la mayor parte de la inversión en I+D. En efecto, representan el 75% del total durante el periodo 2011-2018. Sin embargo, su participación ha caído. Mientras que en 2014 su participación era de un 90%, ya en 2018 cayó a un 40%. Como vimos previamente, una buena parte de esta caída se debe a una menor inversión de la mayor empresa cuprífera del país, Codelco.

Figura 9: I+D total según magnitud de sus ventas (en CLP)



*Sin incluir I+D Extramuro.

Fuente: Cochilco en base a Encuestas I+D.

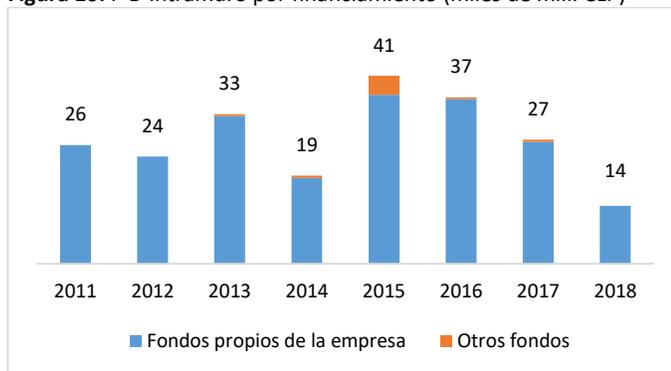
¹⁴ Continuaremos discutiendo la inversión de I+D de Codelco en el punto 9 de este capítulo.

4. Por fuente de financiamiento

El financiamiento de la inversión en I+D se puede realizar con fondos propios de la entidad que la realiza o bien con fondos externos, provengan de empresas del mismo grupo o *holding*, fondos públicos, fondos de otras empresas o instituciones privadas, y fondos de instituciones de educación superior, entre otras posibilidades.

Para el sector minero vemos a partir de la figura 10 a la derecha que la I+D Intramuro (dado que nos referimos a la entidad ejecutante, no se cuenta con datos para la I+D Extramuro en este ítem) se financia casi exclusivamente con fondos propios de cada empresa, llegando a un 99,8% del total durante el periodo 2011-18. El pequeño margen restante, en su mayor parte, proviene de fondos de empresas del mismo grupo o *holding*.

Figura 10: I+D Intramuro por financiamiento (miles de mill. CLP)



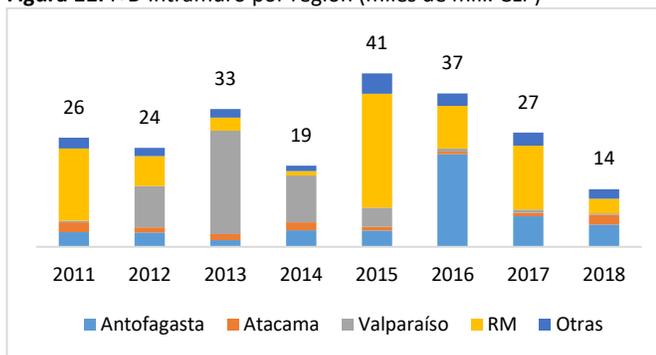
Fuente: Cochilco en base a Encuestas I+D.

5. Por región

Si bien la actividad minera está fuertemente concentrada en las regiones del norte del país, vemos de la figura 11 abajo a la derecha que es en la Región Metropolitana donde se realiza la mayor parte de la I+D Intramuro, representando el 38% del total durante el periodo 2011-2018, siendo especialmente fuerte en 2011 y 2015, con dos tercios del total en ambos años.

A esta le sigue la Región de Valparaíso con un 24% a partir de las inversiones especialmente importantes entre 2012 y 2014 ejecutadas por Codelco (presumiblemente a raíz de los trabajos para reducir las emisiones de la Fundición Ventanas). En tercer lugar se ubica la mayor región minera del país, Antofagasta (22%), seguida de las regiones de Atacama y O'Higgins (4% cada una).

Figura 11: I+D Intramuro por región (miles de mill. CLP)



Fuente: Cochilco en base a Encuestas I+D.

6. Por tipo de investigación

Como vimos en el capítulo II, la I+D se puede clasificar en Investigación básica (trabajos experimentales o teóricos que se emprenden, principalmente, para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de los fenómenos), aplicada (trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos pero con un objetivo práctico específico.) y desarrollo experimental (trabajos sistemáticos que aprovechan los conocimientos existentes dirigido a la producción de nuevos materiales o dispositivos; a la puesta en marcha de nuevos procesos, sistemas y servicios o a la mejora sustancial de los ya existentes).

Con este enfoque, podemos desagregar el gasto salarial y operativo de la I+D Intramuro según el tipo de actividad realizada, como se ilustra en la figura 12 a la derecha. De esta vemos que la investigación básica es relativamente marginal con 6% del total entre 2011 y 2018, mientras que la investigación aplicada y el desarrollo experimental concentran los recursos con 35% y 59% del total del periodo respectivamente. Lo anterior sugiere que las mineras prefieren dedicar sus esfuerzos de I+D a tareas que tengan objetivos y aplicaciones relativamente claras.

Figura 12: Gasto salarial y operativo I+D (miles mill. CLP)



Fuente: Cochilco en base a Encuestas I+D.

7. Obstáculos a la I+D

A las empresas que no realizaron actividades de I+D se les solicitó declarar los motivos por los cuales no lo hicieron dentro de un listado de opciones posibles, disponible en la tabla 3 de más abajo.

Tabla 3: Razones declaradas para no realizar I+D

Motivo declarado	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2015-18	2015-18
								Total	% del total
No es prioridad/necesario para la empresa	21	16	25	19	9	4	22	54	43
Falta de recursos financieros	11	8	7	4	2	4	6	16	13
Falta o deficiencia de incentivos tributarios	4	2	2	2	2	1	3	8	6
Los resultados son muy inciertos	8	5	5	5	2	0	0	7	6
Desconocimiento de instrumentos públicos de apoyo	3	2	3	1	1	3	2	7	6
Se ejecuta en casa matriz u entidad asociada en Chile**	-	-	-	0	3	2	2	7	6
Se ejecuta en casa matriz u entidad asoc. en extranjero*	-	-	3	4	1	0	1	6	5
Resultados poco atractivos / proyecto poco rentable	-	-	2	2	0	2	1	5	4
Falta de personal intramuro calificado	4	5	3	0	1	0	4	5	4
Falta de infraestructura física adecuada	6	2	1	0	1	2	1	4	3
Los resultados se conocerán a muy largo plazo*	-	-	1	1	1	1	0	3	2
Falta de proveedores con competencias requeridas*	-	-	0	0	0	0	1	1	1
Débil coordinación con otras instituciones/empresas	3	2	1	0	0	0	0	0	0
Otro	14	9	0	0	1	1	0	2	1.6

*La opción no estaba disponible para los años 2012 y 2013.

**La opción no estaba disponible para los años 2012, 2013 y 2014.

Fuente: Cochilco en base a Encuestas I+D.

Como se puede apreciar, por lejos el principal motivo declarado es que no resulta prioritario o necesario para la empresa (43% de las menciones durante 2015-18), lo que refleja que para un número mayoritario de empresas mineras la falta de I+D no se debe en primer término a falta de recursos sino que simplemente no es parte de plan estratégico corporativo.

Con todo, esta opción es seguida a distancia de la falta de recursos financieros (13% de las menciones durante el periodo 2015-18), lo que supondría que la proporción entre beneficios esperados y riesgos no lo suficientemente grande para incentivar la inversión o bien simplemente que estas empresas están constreñidas por la rentabilidad presente de sus operaciones.

Otro tema que llama la atención es que entre 2015 y 2018 no se percibe que la falta de personal calificado dentro de la empresa sea un motivo altamente relevante para no realizar inversión, situación que podría suponer que las empresas que buscaban realizar inversiones en I+D, ya han contratado o capacitado el personal necesario para realizar dichas inversiones.

Por último, otro aspecto a destacar es que no se percibe en absoluto que los proveedores sean una piedra de tope para la realización de I+D. Ahora bien, esto no implica que sean un vehículo con el uso y colaboración que potencialmente podrían tener.

8. Incentivos estatales a la I+D

Con el objetivo de aumentar la inversión en I+D, el Estado cuenta con un conjunto de incentivos que buscan promover la I+D. A grandes rasgos, podemos dividirlos en fondos concursables para el financiamiento de este tipo de actividades, y en descuentos tributarios según su ejecución. El uso de ambos en las empresas mineras se describe a continuación.

a. Uso de fondos públicos en la I+D

Diversos organismos del Estado cuentan con fondos públicos concursables para financiar actividades en pro de la I+D. En particular, Conicyt (Comisión Nacional Científica y Tecnológica¹⁵) cuenta, por ejemplo, con el Fondef (Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico), que busca apoyar proyectos de investigación aplicada con un fuerte componente científico, y el Fondecyt (Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico), que busca estimular y promover el desarrollo de investigación científica y tecnológica básica, entre otras iniciativas en el área.

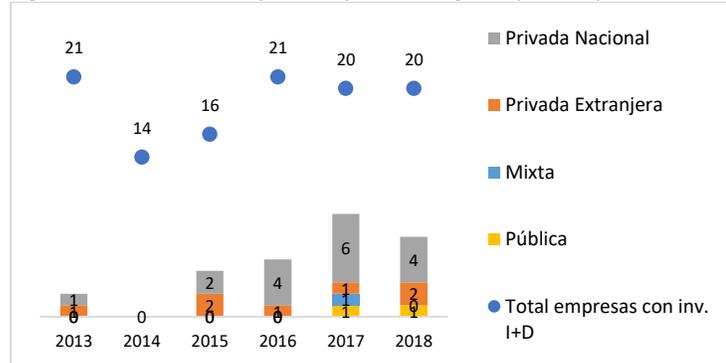
De igual forma, Corfo (Corporación de Fomento de la Producción) cuenta con varios fondos concursables a la I+D y otras actividades innovativas para todo tipo de empresas, que son activamente usados tanto por mineras como por proveedores.

¹⁵ Cabe mencionar que a partir de 2020 la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo es la sucesora de la Conicyt.

Atendiendo lo anterior, en la Figura 13 más abajo revisamos el uso de estos y otros fondos públicos¹⁶ en el sector minero entre los años 2013 y 2018 (con anterioridad a 2013 no se consultaba por este punto).

Si bien la Encuesta I+D solo entrega una mirada agregada sin diferenciación del uso específico de cada tipo de fondo, vemos que en general ha existido una tendencia al alza. En efecto, mientras que en 2014 ninguna de las 14 empresas que invirtieron en I+D hicieron uso de estos recursos, en 2017 fueron 9 de 20, mientras que en 2018 disminuyó a 7 de 20.

Figura 13: Uso de fondos públicos para I+D según capital corporativo



Fuente: Cochilco en base a Encuestas I+D

Por otra parte, podemos ver que son las empresas de capitales nacionales las que hacen un mayor uso de este tipo de fondos. En efecto, de las nueve empresas que los solicitaron en 2017, seis fueron de capitales nacionales, seguidas de una empresa de capitales extranjeros, una estatal y otra de capitales mixtos. En 2018 por su parte, de un total de siete empresas, fueron cuatro privadas nacionales seguidas de dos de capitales extranjeros y una de capitales estatales.

b. Incentivo tributario a la I+D

En aras de mejorar la capacidad competitiva de las empresas, el Estado de Chile a través de Corfo cuenta con la Ley N°20.570 (ex Ley N°20.241), típicamente conocida como "Ley I+D", que permite obtener beneficios tributarios a partir de la ejecución de actividades de I+D. En particular, otorga un 35% de crédito tributario contra el Impuesto de Primera Categoría sobre el monto invertido en I+D y el 65% restante del monto invertido puede ser considerado como gasto necesario para producir la renta, independiente del giro de la empresa.

En sus ediciones atinentes a 2016, 2017 y 2018, la Encuesta I+D consultó por la postulación y acogimiento a esta ley. De estas se observa que en 2016 cuatro mineras privadas postularon al beneficio (tres de ellas de capitales nacionales y una de capitales extranjeros), con dos de ellas finalmente ejecutando montos certificados de al menos \$330 millones, accediendo así al beneficio. En 2017 tres mineras privadas postularon (dos de ellas de capitales nacionales y otra de capitales extranjeros), con dos ellas ejecutando montos certificados entre \$130 y \$330 millones para acceder al beneficio. En 2018 nuevamente hubo 3 postulaciones (dos de ellas de capitales extranjeros y la

¹⁶ Los demás son el FIA (Fundación para la Innovación Agraria), la ICM (Iniciativa Científica Milenio) y el FIP (Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura). No obstante, dado su alcance sectorial, no son del todo relevantes para las empresas mineras.

otra nacional), con dos de ellas acogiéndose al beneficio (en esta edición no se especificaron los montos).

Por otra parte, la tabla 4 a continuación describe los motivos explicitados por las empresas para no postular a la ley. De esta se aprecia que la razón más recurrente es que la empresa no realiza actividades de I+D de forma sistemática, seguido del hecho de que la empresa simplemente no realizó actividades de I+D. En tercer lugar se adscribe la confidencialidad de la I+D realizada. Luego está el hecho de que la empresa ya está ejecutando montos adjudicados de años anteriores a través de la ley y finalmente, con dos menciones solo en 2017, que la empresa no sabe cómo postular ante Corfo.

Tabla 4: Motivos o razones para no postular al beneficio tributario I+D

	2016	2017	2018
No conoce la ley de incentivo tributario o "Ley I+D"	3	8	3
La empresa no hace actividades de I+D sistemáticamente	12	12	17
La empresa no hizo actividades de I+D	7	8	13
No sabe cómo formular el proyecto ante Corfo	0	2	0
Por confidencialidad de la investigación que está realizando	4	4	2
La empresa ya está ejecutando I+D, con Ley I+D adjudicada en años anteriores*	2	1	-
No es atractivo, prioritario y/o necesario para la empresa	-	-	8
Se postuló en años anteriores y la experiencia no fue beneficiosa	-	-	2
La empresa presenta pérdidas tributarias	-	-	3
Otro	7	6	5

-: No se incluyó como alternativa.

Fuente: Cochilco en base a Encuesta I+D.

Ahora bien, también hay otros motivos para los cuales se pidió a la empresa explicitarlos. En 2016, dos empresas declararon estar evaluando postular, dos más dijeron que para ellas no era prioritario y otras dos simplemente no calificaron para obtener el beneficio (entre ellas Codelco dada su calidad de empresa estatal), mientras que una adujo que la I+D era ejecutada por su casa matriz en el extranjero. Para 2017 se obtuvo que dos empresas declararon que no era prioritario, otras dos que para ellas la I+D se ejecutaba en casa matriz, una empresa (nuevamente Codelco) aduciendo que no calificaba para el beneficio y otra que acotó que sus montos de inversión en I+D eran demasiado bajos para postular. Por último, para 2018 se adujeron distintas razones: falta de personal calificado, la I+D la realizan las empresas proveedoras y que se está evaluando postular.

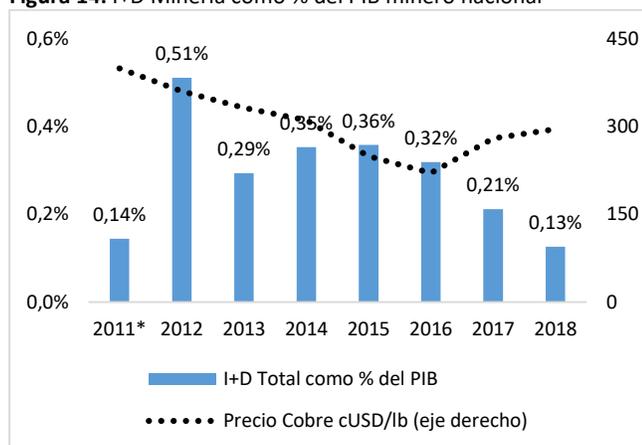
9. I+D en relación al PIB

a. I+D como proporción del PIB sectorial

A partir de la figura 14 abajo a la derecha, podemos ver que la I+D empresarial minera como proporción del PIB minero ha fluctuado entre un mínimo de 0,13% en 2018 y un máximo de 0,51% en 2012, promediando 0,28% por año durante todo el periodo. Con todo, el hecho de que el valor mínimo se haya alcanzado en el año de medición más reciente junto al hecho de que ha tendido a la baja desde el 2015 en adelante resulta inquietante. ¿A qué se atribuye esta caída en la I+D como proporción del PIB sectorial?

Si bien resulta riesgoso hacer alguna inferencia a partir de un periodo relativamente corto, una primera aproximación es que la I+D minera es una actividad sensible al precio del cobre. Sin embargo, como se ilustra en la figura 14, no parecería haber una correlación significativa. En efecto, el precio promedio anual del metal tendió a la baja entre 2011 y 2016, al mismo tiempo en que la I+D por lo general creció. Luego, del 2015 en adelante la I+D comenzó a caer mientras que el precio tuvo alzas moderadas a partir de 2016.

Figura 14: I+D Minería como % del PIB minero nacional

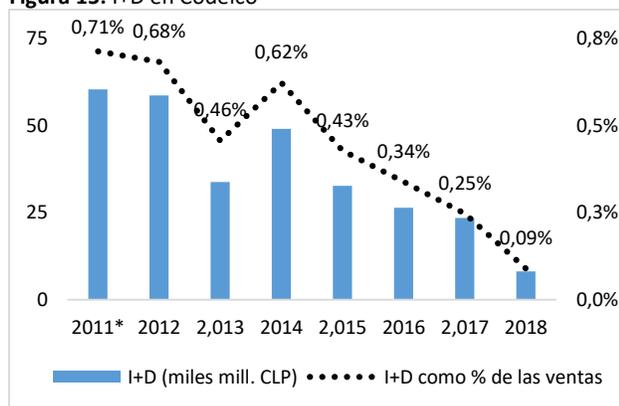


*Sin incluir I+D Extramuro.

Fuente: Cochilco en base a BML y Encuestas I+D.

Dejando de lado la hipótesis del precio, podemos revisar a las empresas que explican esta caída. La figura 15 a la derecha ilustra la disminución en I+D de Codelco, la principal empresa de I+D minera del país durante el periodo 2011-2018 -tanto en términos monetarios absolutos como en proporción a sus ingresos por ventas. Vemos que comienza a hacerse progresivamente precipitosa desde 2014 en adelante, disminuyendo desde un 0,62% de sus ventas hasta sólo un 0,09% en 2018.

Figura 15: I+D en Codelco



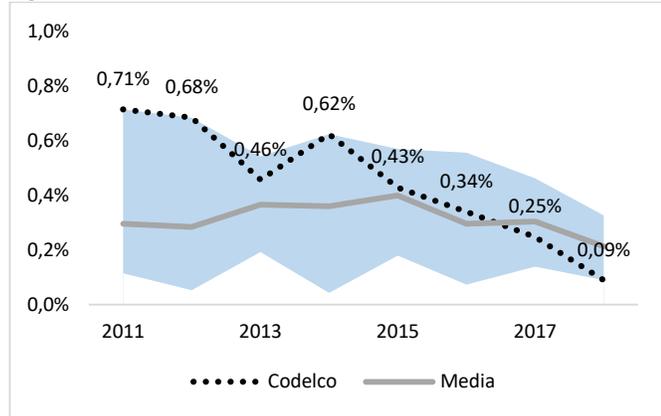
*Obtenido a partir de reporte anual de Codelco (2011).

Fuente: Cochilco en base a Encuestas I+D y Codelco (2011).

Si bien, como hemos dicho anteriormente, no es el foco de este trabajo profundizar sobre la inversión de empresas en específico, es ilustrativo evaluar si la caída de una empresa tan importante como Codelco está alineada a una tendencia general de la industria durante el periodo.

Con este fin, la figura 16 a la derecha muestra en su línea punteada la I+D de Codelco en relación a sus ventas comparado a los niveles promedio (línea gris) y los rangos mínimo y máximo (dados por el área celeste) de la I+D como proporción de las ventas de seis empresas con operaciones mineras a nivel mundial. Si bien la comparación no viene de la misma fuente (ocupamos los reportes anuales de las mineras, lo que puede no ajustarse fielmente a los criterios de la OECD), se desprende de la información que la caída en I+D de Codelco en relación a sus ventas no se ha ajustado a una tendencia generalizada de las empresas mineras a nivel mundial.

Figura 16: I+D como % de las ventas, mineras seleccionadas



Nota: Las empresas consideradas son Codelco, Teck Resources, Anglo American, Freeport-McMoran, Río Tinto, China Shenhua Energy Company y Zijin Mining Group Company Limited. Freeport-McMoran reporta I+D junto con exploración por lo que se le restó el gasto en exploración reportado para la empresa en SNL.

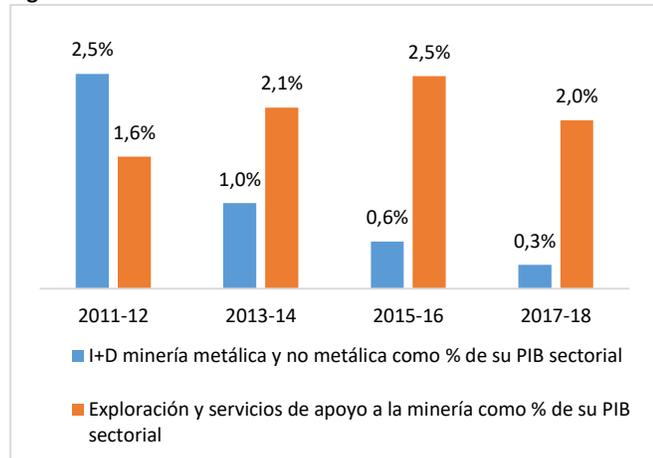
Fuente: Cochilco en base a Encuestas I+D, Teck Resources (varios años), SNL (varios años) y Hartlieb y Sánchez (2020).

Sin embargo, la muestra de comparación no es del todo concluyente para realizar aseveraciones de tendencias, particularmente al revisar lo que sucede con la I+D minera en otros países como veremos a continuación.

b. I+D minera como proporción del PIB en relación a Australia

Como punto de comparación internacional, recurriremos a Australia, país que cuenta con una minería de gran escala y una industria de proveedores mineros altamente desarrollada. En la figura 18 a la derecha ilustramos su inversión minera en I+D en relación al PIB sectorial junto a la inversión en I+D del sector de exploración y otros servicios de apoyo a la minería en relación a su PIB sectorial (es decir, el PIB que corresponde precisamente a exploración y otros servicios de apoyo a la minería) entre los años 2011 y 2018.

Figura 18: I+D minera Australia en relación a su PIB sectorial



Fuente: Cochilco en base a datos de Australian Bureau of Statistics.

Como se observa, la I+D minera como proporción del PIB, aun cuando es mayor a la nuestra, ha tendido a la baja, pero la I+D del sector exploración y servicios de apoyo se ha mantenido en niveles altos, en torno al 2% de su PIB.

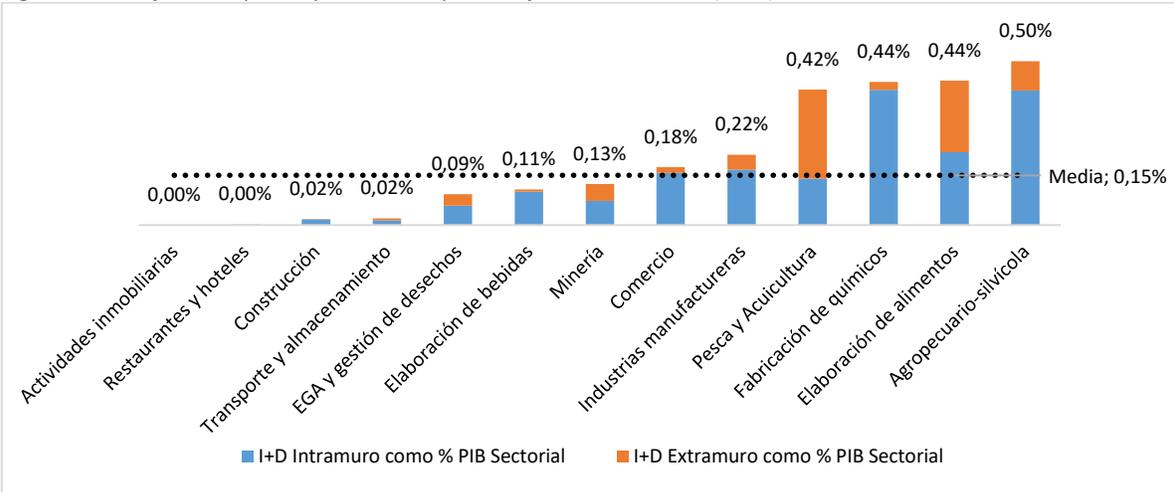
Si bien el periodo temporal es corto, esto sugiere que las mineras progresivamente están dejando de hacer I+D dado que es una tarea que han tomado los proveedores, lo que estaría alineado con las tendencias descritas en la literatura que acentúan el rol de los proveedores en el desarrollo innovativo de la minería. Para el caso chileno sería ideal contar con una medida de la I+D realizada por los proveedores así como el PIB del subsector, pero lamentablemente -al conocimiento del autor- aún no contamos con ese nivel de detalle en los datos.

c. I+D minera como proporción del PIB en relación a otros sectores productivos

Ya habiendo realizado comparaciones externas entre Codelco y otras mineras, y luego entre Chile y Australia, se hace pertinente contar con medidas de comparación internas. Con esta finalidad, a través de la figura 17 más abajo, podemos comparar la I+D minera con la I+D de otros sectores económicos a nivel nacional. Al año 2018 vemos que la I+D del sector minero estuvo levemente por debajo del promedio de los principales sectores económicos del país (0,13% versus 0,15%), incluyendo diferencias significativas con otros sectores productivos primarios como la pesca y acuicultura (0,42%) y el sector silvícola-agropecuario (0.50%). A la luz de estas comparaciones, el sector empresarial minero nacional no parece ser particularmente fuerte en su inversión en I+D en relación al resto de los sectores empresariales del país.

En todas estas comparaciones debemos volver a hacer hincapié en que estamos considerando la I+D reportada por las empresas mineras, lo que excluye a la I+D realizada por proveedores, universidades, centros de investigación o el Estado (a menos que haya sido subcontratada por las empresas en cuestión, considerándose en tal caso dentro de la categoría de I+D Extramuro).

Figura 17: I+D ejecutada por empresas como porcentaje del PIB sectorial (2018)



Fuente: Cochilco en base a datos del Banco Central y Encuesta I+D 2018.

VII. Actividades innovadoras distintas a I+D

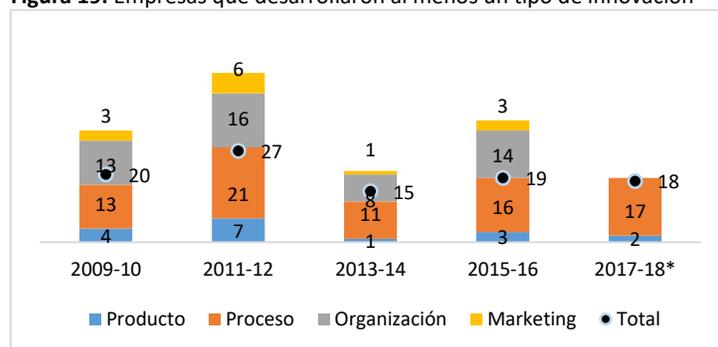
A partir de los resultados de la Encuesta de Innovación, en este capítulo discutiremos el comportamiento de las actividades innovativas con la exclusión de aquellas referidas a I+D. Con este fin, a continuación revisaremos los aspectos más relevantes de la innovación en las empresas mineras del país.

1. Por tipo de innovación

Como discutimos en el capítulo II, la innovación se puede clasificar en producto (sea de bienes y/o servicios) o procesos de negocios, categoría que desde 2018 incluye a innovación organizacional y de marketing, que antes se describían por separado. En la figura 19 más abajo se ilustra el número de empresas que innovaron por tipo de innovación realizada.

De esta figura vemos en primer lugar que el número de empresas que realizaron al menos un tipo de innovación es fluctuante periodo a periodo. En efecto, mientras que en los años 2009-10 hubo 20 empresas que innovaron, en 2011-12 se aumentó a 27, para luego disminuir a 15 en el periodo 2013-14, luego aumentar a 19 durante 2015-16 y finalmente 18 en los años 2017-18.

Figura 19: Empresas que desarrollaron al menos un tipo de innovación



*Procesos incluye innovación organizacional y de marketing.
Fuente: Cochilco en base a Encuestas de Innovación.

Con todo, el tipo de innovación más importante está en el área de procesos, con 78 menciones durante todo el periodo 2009-18. Si a esta le sumamos las innovaciones de marketing y organizacional entre los años 2009 y 2016 (que formalmente están incluidas en este tipo de innovación de acuerdo al criterio actual de la OECD), llegamos a 142 menciones. En contraste, las innovaciones de producto llegaron a 17 durante todo el periodo de estudio.

La alta preponderancia del área de procesos también es esperable al considerar que las mineras, especialmente durante la última década, han buscado formas de maximizar su producción manteniendo el cuidado en no incrementar sus costos o incluso en reducirlos, lo que supone un uso más eficiente de los insumos críticos. Por otra parte, si bien ya no es una categoría separada de estudio, la baja relevancia de marketing en las empresas mineras es esperable. En efecto, dado que la mayoría de ellas explota y comercializa *commodities* como el cobre, por lo general no hay grandes incentivos para invertir en aspectos publicitarios, de precio, promoción u posicionamiento¹⁷.

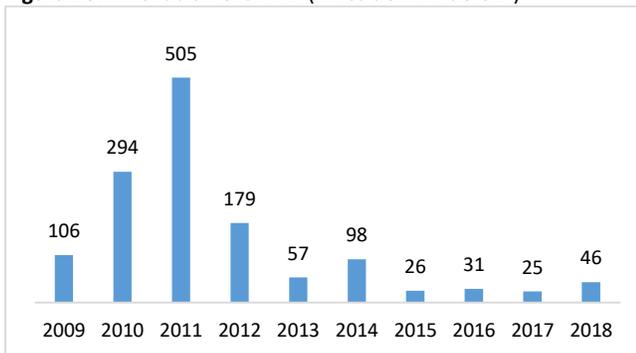
¹⁷ Ahora bien, es posible que esta situación cambie en los próximos años a medida que los compradores demanden estándares ambientales de producción más exigentes y con mayor facilidad de su trazabilidad.

2. Por actividad de innovación

La Figura 20 abajo a la derecha ilustra la evolución de la inversión total en innovación excluyendo las actividades de I+D (como se hará de aquí en adelante en el presente capítulo).

Se puede observar que durante 2010 y especialmente durante 2011 este tipo de inversión fue altamente importante, lo que se explicaría por las inversiones realizadas por Minera El Abra, periodo durante el cual finalizaba la construcción y hacía la puesta en marcha de la primera fase de su proyecto Sulfolix, que buscaba pasar de una producción de cobre desde mineral de óxidos a sulfuros a fin de renovar la vida útil del yacimiento.

Figura 20: Innovación excl. I+D (miles de mill. de CLP)

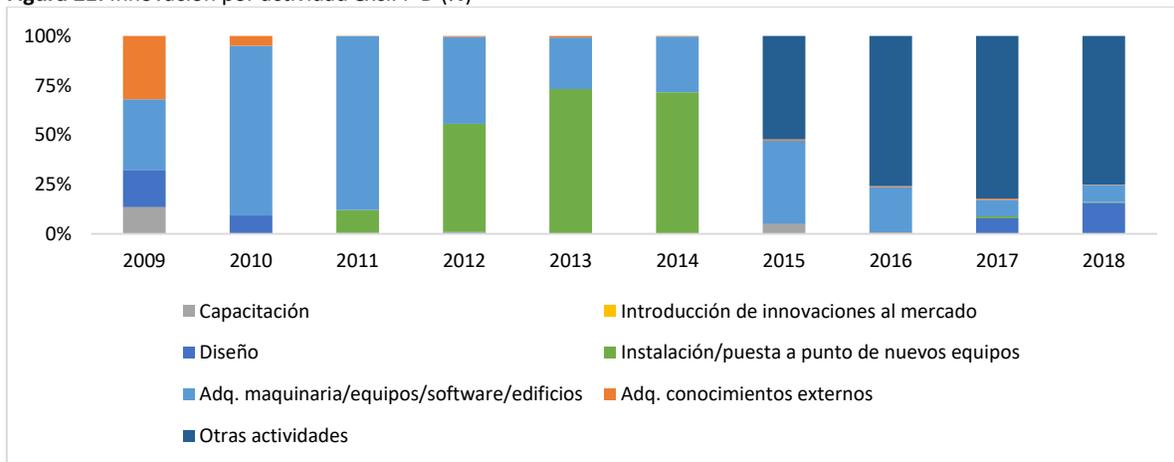


Fuente: Cochilco en base a Encuestas de Innovación.

Entre 2011 y 2014 también hubo algunas inversiones particularmente altas de otras mineras que mantuvieron la innovación en niveles elevados en relación a los cuatro últimos años del periodo, 2015-18, donde vemos una inversión relativamente estable, fluctuando entre \$45.991 millones como punto alto en 2018 y \$24.914 millones como punto bajo en 2017.

Estos totales anuales de inversión en innovación se pueden desagregar en varias categorías, dependiendo del objetivo de su ejecución. Dada la alta variabilidad en las cifras anuales, conviene realizar un desglose en términos porcentuales, como se ilustra en la figura 21 más abajo.

Figura 21: Innovación por actividad excl. I+D (%)



Fuente: Cochilco en base a Encuestas de Innovación.

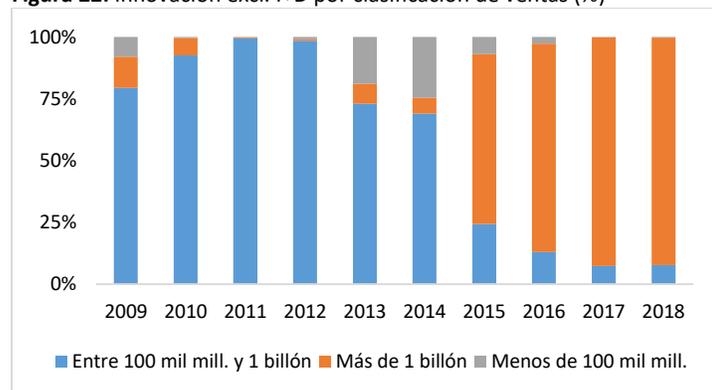
De la figura 21 vemos que entre los años 2009 y 2014 (periodo en el cual la inversión fue particularmente fuerte como vimos en la figura 20) destacan dos tipos de actividades relacionadas: la adquisición de maquinarias, equipos, software y edificios, y la puesta a punto de los equipos (lo que nuevamente, en el caso de El Abra, estaría presumiblemente asociado al desarrollo y puesta en marcha de su proyecto Sulfolix). Con posterioridad, del 2015 al 2018 vemos que la categoría de ‘otras actividades’ tomó la delantera. Si bien no es posible obtener información exacta sobre la composición de esta categoría de ‘otros’ para estos cuatro años, vemos que correspondieron exclusivamente a inversiones de Codelco.

3. Por tamaño de la empresa

Revisando la innovación según la magnitud de las ventas de las empresas, nuevamente podemos distinguir dos tendencias dependiendo de los años considerados. En primer lugar, como se observa en la figura 22 abajo a la derecha, entre 2009 y 2014 fue mayormente realizada por mineras con ventas entre \$100 mil millones y un billón (92% del total), lo que se explicaría principalmente por la inversión de El Abra junto a otras operaciones de escala similar.

Luego, vemos que desde 2015 al 2018 han sido las empresas con ventas superiores al billón de pesos las que han dominado la inversión. En total son siete mineras que representaron el 85% del total en los años considerados. Esta tendencia está más alineada con la I+D vista en el capítulo anterior, donde las empresas de gran tamaño son las que tienden a concentrar la inversión.

Figura 22: Innovación excl. I+D por clasificación de ventas (%)



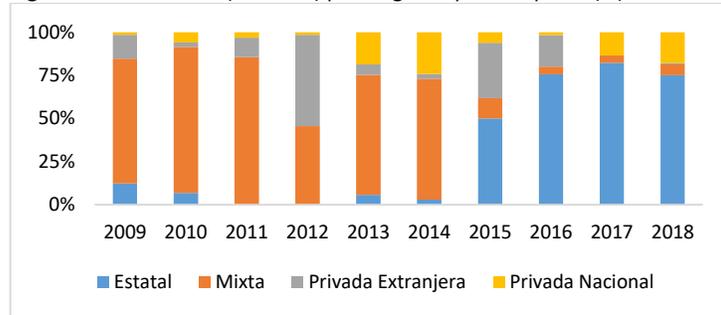
Fuente: Cochilco en base a Encuestas de Innovación.

4. Por origen del capital de la empresa

De un modo similar a lo visto en el punto anterior, al revisar la inversión por origen corporativo del capital se observan dos tendencias. Primero, vemos de la figura 23 abajo a la derecha que desde 2009 a 2014 fueron las empresas de capitales mixtos las que lideran la inversión (76% del total), situación que estuvo asociada mayormente a las inversiones realizadas por Minera El Abra. A esta categoría le siguen las empresas privadas de capitales extranjeros (15%), de capitales nacionales (6%) y de propiedad estatal (3%).

Con posterioridad, del 2015 al 2018 vemos una situación diametralmente distinta. En efecto, en este sub-periodo la innovación estatal toma la delantera (71% del total), seguida de las empresas privadas de capitales nacionales y extranjeros (11% cada una) y finalmente de capitales mixtos (6%).

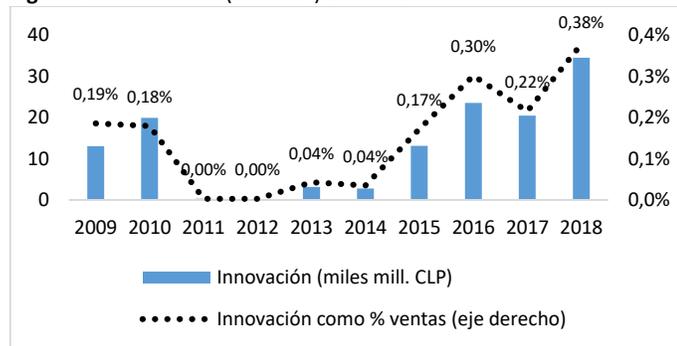
Figura 23: Innovación (excl. I+D) por origen capital empresa (%)



Fuente: Cochilco en base a Encuestas de Innovación.

El incremento en este tipo de inversión estatal en los últimos años es llamativo. De la figura 24 a la derecha se puede apreciar que la inversión de Codelco en relación a sus ventas ha tendido al alza en los últimos años, creciendo de un 0,04% en 2014 a un 0,38% en 2018, lo que contrasta con la caída en inversión en I+D revisada anteriormente en el capítulo VI durante ese mismo periodo.

Figura 24: Innovación (excl. I+D) en Codelco



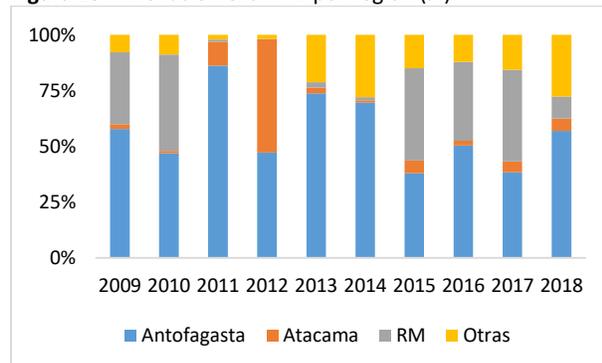
Fuente: Cochilco en base a Encuestas de Innovación

Una posible explicación para este fenómeno es que Codelco ha tendido a la sustitución de su I+D por otras actividades innovativas de menores riesgos, objetivos y sobretodo menores costos de desarrollo e implementación, lo que iría en línea con su estrategia declarada de reducción de costos. Seguiremos discutiendo este punto más adelante.

5. Por región

A nivel regional se desprende de la figura 25 a la derecha que Antofagasta concentró la inversión con el 67% del total del periodo 2009-2014, seguida de la Región Metropolitana con el 14% y Atacama con 12%. Luego, durante 2015-18 Antofagasta sigue siendo relevante, pero en una proporción menor, pasando a representar el 48%, seguido de la Región Metropolitana con un 29%. O'Higgins, Valparaíso y Tarapacá por su parte se llevan el 7%, 6% y 5% del total del sub-periodo respectivamente.

Figura 25: Innovación excl. I+D por región (%)



Fuente: Cochilco en base a Encuesta de Innovación.

Lo anterior sugiere que la innovación se lleva a cabo mayormente en las operaciones mineras o centros asociados, y no tanto en centros de investigación u oficinas en la capital.

6. Desarrollo de la innovación

Un punto particularmente interesante de la Encuesta de Innovación es que nos permite visualizar quien desarrolla la actividad. En general, vemos de la tabla 5 más abajo que son las propias empresas mineras las principales responsables del proceso innovativo. En efecto, tanto en productos como en procesos la mayor parte de las innovaciones se desarrollan principalmente por la empresa, obteniendo 40 de 88 menciones en procesos (45%) y 10 de 18 menciones en producto (56%). Si a esta categoría le sumamos la categoría de ‘Principalmente la empresa junto a otras instituciones’ llegamos a 70 de 88 menciones en procesos (80%) y 16 de 18 en producto (89%).

Por otra parte, podemos caracterizar la innovación según se haya tratado de algo nuevo para el mercado o bien sólo nuevo para la empresa. De esta pregunta vemos que la gran mayoría de las innovaciones de procesos (50 de 62, 80% -sin incluir el periodo 2017-18) y de producto (14 de 18, 78%) son sólo nuevas para las empresas que las llevaron a cabo, más no para el mercado¹⁸.

Tabla 5: Desarrollo de la innovación de productos y procesos (cantidad)

¿Quién desarrolló esta innovación?	2009-10		2011-12		2013-14		2015-16		2017-18*		2009-18*	
	Proc	Prod	Proc	Prod	Proc	Prod	Proc	Prod	Proc	Prod	Proc	Prod
Principalmente la empresa	7	2	12	6	5	1	9	0	7	1	40	10
Principalmente la empresa en conjunto con otras empresas o instituciones	5	1	7	1	5	0	7	3	6	1	30	6
Principalmente la empresa adoptando o modificando bienes o servicios originalmente desarrollados por otras empresas/instituciones	5	0	1	0	1	0	0	0	2	0	9	0
Principalmente otras empresas o instituciones	2	2	4	0	1	0	0	0	2	0	9	2
La innovación fue:												
Nueva para su mercado	1	1	6	3	1	0	4	0	-	0	12	4
Sólo nueva para la empresa	12	3	16	5	10	1	12	3	-	2	50	14

*En el periodo 2017-18 no se consultó si la innovación de procesos era nueva para la empresa o el mercado. En este periodo además se considera innovación en marketing y organizacional como para de la innovación en procesos.

Fuente: Cochilco en base a Encuestas de Innovación.

7. Efectos de la innovación

Si bien a las empresas no se les consulta directamente por los objetivos buscados con la innovación, sí contamos con una medida de la importancia que le asignan a sus efectos. De esta manera, en la tabla 6 más abajo podemos ver que la reducción de costos y del impacto medioambiental junto a mejoras en seguridad y sanidad, así como el aumento en la capacidad y flexibilidad para producir bienes y servicios son los efectos más valorados por las empresas mineras que innovaron.

¹⁸ Se puede advertir que la suma de las innovaciones por año no necesariamente coinciden en los dos puntos levantados en la tabla. Esto se explica porque algunas empresas incurrieron en varias actividades innovativas desarrolladas de distintas formas, de manera que al solicitar su clasificación se deriva en varias categorías activadas.

Esto está en línea con las tendencias de la minería nacional moderna, cuyo foco está precisamente sobre reducción de costos, aumento en lo posible de la producción, mejoras en seguridad y aminoración de los impactos medioambientales. En contraste, como es de esperar para un mercado de *commodities* ya consolidado, el ingreso a nuevos mercados, mayor participación de mercado o la ampliación en la gama de bienes y servicios son los efectos menos valorados, con una importancia prácticamente nula.

Tabla 6: Importancia en efectos de la innovación de productos y procesos – promedio en escala de 1 (más) a 4 (menos)

Efecto buscado	2009-10*	2011-12	2013-14	2015-16	2017-18	Media
Reducción de costos por unidad producida	1,9	2,1	1,7	1,6	2,2	1,9
Menor impacto medioambiental o mejora en sanidad/seguridad*	-	2,1	2,0	1,7	2,1	2,0
Mayor capacidad/flexibilidad para producir bienes/servicios*	-	1,7	2,1	2,0	2,2	2,0
Mejora en la calidad de los bienes y servicios	1,9	2,7	2,6	2,7	2,8	2,6
Ingreso a nuevos mercados o mayor participación *	-	3,3	3,6	3,4	3,2	3,4
Ampliación de la gama de bienes y servicios*	-	3,1	3,7	3,5	3,6	3,5

*No se consultó en los años 2009-10.

Fuente: Cochilco en base a Encuestas de Innovación.

8. Fuentes de información

En relación con las fuentes de información empleadas para la innovación, vemos de la tabla 7 más abajo que son principalmente las fuentes internas las que se perciben como más importantes por las mineras. Esto se condice desde luego con el hecho de que en efecto sean las propias empresas las principales responsables del desarrollo innovativo, como vimos anteriormente en el punto 6.

A esta categoría le siguen los proveedores y en tercer puesto los clientes. El hecho de que los proveedores estén en segundo lugar es esperable dado que ellos son quienes debiesen conocer de primera fuente las necesidades de las mineras y se condice con la visión de los propios proveedores (véase Encuesta de Innovación en las Empresas Proveedoras, 2020). Sin embargo, con una puntuación promedio de 2,2 en escala de 1 a 4, se vislumbran espacios de mejoras. Por otra parte, que le sigan los clientes es llamativo considerando el tipo de producto tranzado, típicamente cobre o subproductos del mismo. Sin embargo, dado que el cobre nacional se transa crecientemente bajo la forma de concentrados, es posible interpretar a los clientes como las fundiciones que lo procesan.

Tabla 7: Fuentes de Información para realizar actividades innovativas – promedio en escala de 1 (más) a 4 (menos)

	2009-10	2011-12	2013-14	2015-16	2009-16	2017-18	Media
Fuentes internas							
Al interior de la empresa	2,0	2,5	1,6	1,2	2,0	1,1	1,7
Fuentes de Mercado							
Proveedores	2,5	2,5	2,1	1,8	2,5	1,9	2,2
Consultores, laboratorios y/o institutos privados de I+D	3,3	3,4	3,6	2,5	3,3	2,5	3,1
Competidores u otras empresas del mismo sector	3,1	2,9	3,4	1,9	3,1	2,1	2,7
Clientes	2,9	2,8	2,9	1,4	2,9	1,3	2,3
Fuentes Institucionales							
Universidades u otras instituciones de Educación Superior	3,0	2,9	3,2	1,8	3,0	1,8	2,5
Institutos de investigación públicos o del Gobierno	3,4	3,5	3,3	1,8	3,4	2,6	2,9
Otras fuentes							
Internet	2,9	3,1	3,1	2,1	2,9	2,1	2,7
Conferencias, ferias y exposiciones	2,9	3,2	3,3	2,1	2,9	2,5	2,8
Revistas científicas, publicaciones y BBDD de patentes	2,9	3,1	3,3	2,4	2,9	2,7	2,9
Asociaciones a nivel profesional e industrial	2,9	3,1	3,0	2,1	2,9	1,8	2,6

Fuente: Cochilco en base a Encuestas de Innovación.

Por último, es inquietante que las de las universidades u otras instituciones de educación superior y luego las asociaciones gremiales no alcancen una puntuación promedio particularmente alta. Esto está nuevamente alineado con el hecho de que la innovación sea desarrollada principalmente por las empresas, pero al mismo tiempo abre ventanas potenciales de trabajo cooperativo conjunto con otras fuentes de mercado hacia el futuro.

Ahora bien, vemos de la tabla 8 más abajo que el número de empresas que realizaron al menos una acción para innovar en conjunto con otros actores no es particularmente bajo en relación a las que efectivamente realizaron al menos una innovación. En efecto, durante los años 2009-10 10 empresas incurrieron en acciones colaborativas para innovar de un total de 20 que innovaron (50%), 11 de 27 (41%) en 2011-12, 7 de 15 (47%) en 2013-14, 9 de 19 (47%) en 2015-16, solo 7 de 18 (39%) en 2017-18. Con todo, si bien se aprecia la menor proporción en el último periodo, no sería prudente inferir una tendencia de forma concluyente.

Tabla 8: Acciones de cooperación realizadas para innovar

	2009-10	2011-12	2013-14	2015-16	2017-18
Empresas que colaboraron para innovar	10	11	7	9	7
Empresas que innovaron	20	27	15	19	18
%	50%	41%	47%	47%	39%

Fuente: Cochilco en base a Encuestas de Innovación.

9. Protección a la innovación

Desde un punto de vista comercial, un aspecto central de la innovación, particularmente cuando es nueva a nivel de industria, es su protección a través de patentes (derechos exclusivos que concede el Estado para la protección de una invención, permitiendo al titular utilizar y explotar su invención e impedir que terceros la utilicen sin su consentimiento), marcas (todo signo susceptible de representación gráfica y capaz de distinguir en el mercado productos, servicios o establecimientos comerciales o industriales) u otro instrumento. Esto permite hacerla transferible a otros de un modo rentable o que al menos da crédito a la empresa sobre el origen de la misma.

A partir de la tabla 9 más abajo vemos que entre los años 2013 y 2018 (con anterioridad al 2013 la pregunta se realizaba con distinto formato) los mecanismos preferidos son el establecimiento de marcas y patentes a nivel local y extranjero, registrándose 38 marcas y 61 patentes en total.

Tabla 9: Mecanismos de protección adquiridos para actividades innovativas (cantidad)

	2013-14		2015-16		2017-18		2013-18	
	Chile	Extranjero	Chile	Extranjero	Chile	Extranjero	Chile	Extranjero
Marca	9	5	13	2	8	1	30	8
Patente	12	0	7	21	15	6	34	27
Diseño industrial	0	0	2	1	0	0	2	1
Modelo de utilidad	0	0	0	0	2	0	2	0
Derecho de autor	0	0	1	1	0	0	1	1

Fuente: Cochilco en base a Encuestas de Innovación.

10. Obstáculos a la innovación

En consideración a los principales obstáculos para la innovación, podemos observar de la tabla 10 más abajo que ninguno de mencionados en la Encuesta de Innovación parece tener una valoración particularmente importante. Sin embargo, los relacionados a los costos son los principales. En particular, se aprecia que el alto costo de la innovación, junto a la falta de fondos propios se perciben como los mayores obstáculos durante el periodo 2009-18 con un promedio de 2,4 y 2,6 respectivamente en escala de 1 a 4 (donde 1 es más importante), situación que hace aún más intensa durante los dos últimos periodos de consulta 2015-16 (2,1 y 2,2 respectivamente) y 2017-18 (2,2 y 2,3 respectivamente). En tercer lugar se encuentra la falta de personal calificado con un promedio de 2,6 entre 2009 y 2018, aunque también este factor se ha vuelto más relevante en las últimas dos ediciones de la encuesta (2,4 en 2015-16 y 2017-18).

La preponderancia de los costos se puede interpretar como un signo de que la innovación puede ser altamente dependiente de los ingresos de las mineras (y por ende de los precios de los *commodities*, particularmente del cobre). Sin embargo, también puede implicar simplemente que las empresas no le asignan una prioridad suficiente a la innovación, especialmente en tiempos en que la minería nacional ha puesto el foco sobre la reducción de sus costos. De igual forma, si bien no está explicitado como alternativa de respuesta, también está la posibilidad de aspectos culturales propios de la actividad minera que suelen disuadir la implementación de innovaciones (CESCO, 2020).

Tabla 10: Obstáculos a la innovación – promedio en escala de 1 (más) a 4 (menos) – Todas las empresas responden

	2009-10	2011-12	2013-14	2015-16	2017-18	Media
Costos						
Costo de la innovación muy alto	2,7	2,4	2,6	2,1	2,2	2,4
Falta de fondos propios	3,0	2,6	2,8	2,2	2,3	2,6
Falta de financiamiento externo a la empresa	3,3	2,9	3,1	2,5	2,7	2,9
Conocimiento						
Falta de personal calificado	2,9	2,5	2,9	2,4	2,4	2,6
Falta de información sobre la tecnología	3,1	2,8	3,0	2,4	2,6	2,8
Dificultad en encontrar cooperación de <i>partners</i>	3,2	2,9	3,0	2,5	2,6	2,8
Falta de información sobre los mercados	3,2	3,1	3,1	2,7	2,7	3,0
Mercado						
Mercado dominado por empresas establecidas	3,1	2,8	3,2	2,5	2,8	2,9
Incertidumbre sobre demanda de bienes/servicios innovados	3,3	2,9	3,1	2,4	2,7	2,9
Otros						
No es necesario debido a innovaciones previas	3,4	2,9	3,1	2,9	3,1	3,1
No es necesario por falta de demanda de innovaciones	3,3	2,9	3,3	2,7	3,0	3,0
Dificultad regulatoria	3,4	3,0	3,3	2,8	3,0	3,1

Fuente: Cochilco en base a Encuestas de Innovación.

Con todo, cabe señalar que tal como existen fondos públicos usados para el financiamiento de la I+D, también está la posibilidad de financiar otras actividades innovadoras. Sin embargo, los datos muestran que en general las empresas no hacen un alto uso de estos recursos. En efecto, como se muestra en la tabla 11 más abajo, en el periodo 2011-2018, sólo se presentaron nueve solicitudes de financiamiento estatal, siete de ellas a Corfo y la restante a fondos Sercotec. Por lo general estas son otorgadas. De las nueve solicitudes totales durante el periodo completo, siete fueron otorgadas.

Tabla 11: Financiamiento público de innovación excl. I+D (exceptuando créditos tributarios, por ejemplo Ley I+D)

	2011-12	2013-14	2015-16	2017-18	2011-18
Solicitud	1	1	2	5	9
Obtenciones	1	1	1	4	7

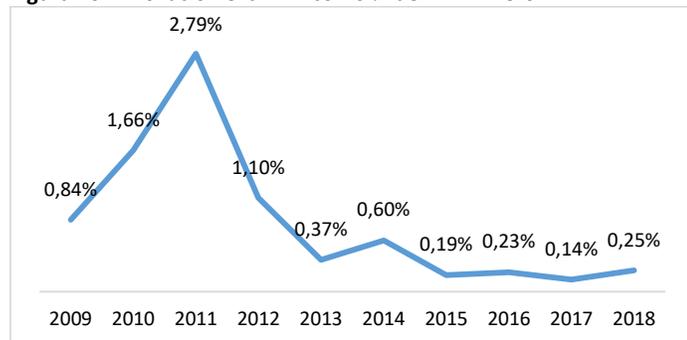
Fuente: Cochilco en base a Encuestas de Innovación.

11. Innovación en relación al PIB

De igual forma en que revisamos la evolución de la I+D de las empresas mineras en relación al PIB minero, podemos revisar el comportamiento de las otras actividades innovativas. Esto se presenta en la figura 26 más abajo a la derecha.

Como era de esperar a la luz de los datos ya revisados, la innovación en relación al PIB es alta en los primeros cuatro años del periodo de estudio, teniendo su punto más alto en 2011 (2,79% del PIB minero), para luego comenzar a decaer. Ya en los últimos 4 años del periodo hemos visto una relativa estabilización de este indicador, no superando el 0,25% del total.

Figura 26: Innovación excl. I+D como % del PIB minero



Fuente: Cochilco en base a Encuestas de Innovación y del Banco Central.

VIII. Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)

Si bien ya hemos descrito la I+D y las otras actividades innovadoras por separado en los capítulos VI y VII respectivamente, podemos revisar su comportamiento agregado, ocupando la denominación I+D+i. Esto lo haremos solo a modo de resumen entre los años 2011 y 2018 a fin de facilitar la comprensión global de la inversión actividades innovativas en las empresas mineras del país.

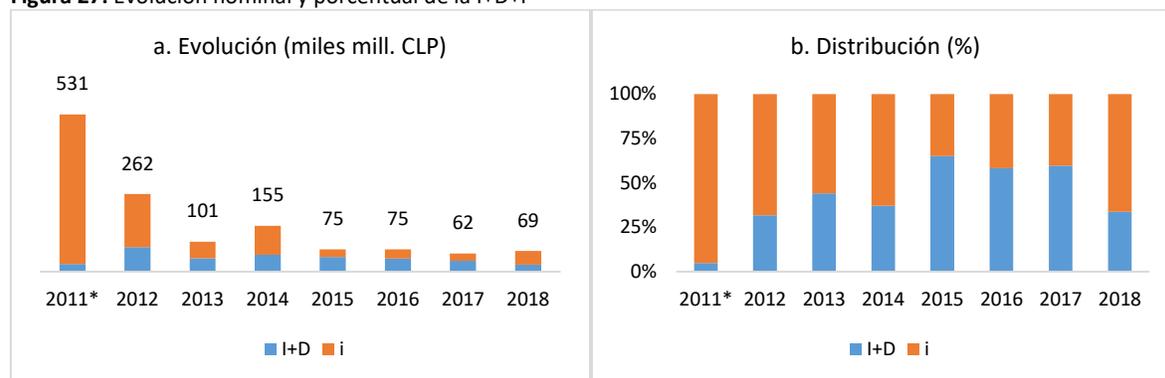
Naturalmente, como estamos trabajando con datos de I+D a partir de 2011 y datos de las otras actividades innovativas (i) a partir de 2009, presentaremos la información de forma conjunta a partir del punto en común más lejano en el tiempo, es decir, 2011.

1. Comportamiento

A primera vista de la gráfica expuesta en la figura 27.a, en general las actividades innovativas han tendido a la baja, lo que responde a una inversión particularmente alta en innovación entre los años 2011 y 2014 asociada a inversiones realizadas por algunas empresas específicas como vimos en el capítulo VII. Con todo, ya desde 2015 en adelante contamos con cifras agregadas relativamente estables, fluctuando entre \$61.697 y \$75.453 millones.

En relación a la distribución de ambas actividades, vemos de la figura 27.b que en los últimos cuatro años de estudio la I+D ha tenido un papel altamente relevante, con el 54% de la inversión total de actividades innovadoras, aun cuando ya en 2018 disminuyó a un tercio del total del año.

Figura 27: Evolución nominal y porcentual de la I+D+i



*Sin incluir I+D Extramuro.

Fuente: Cochilco en base a Encuestas I+D y de Innovación.

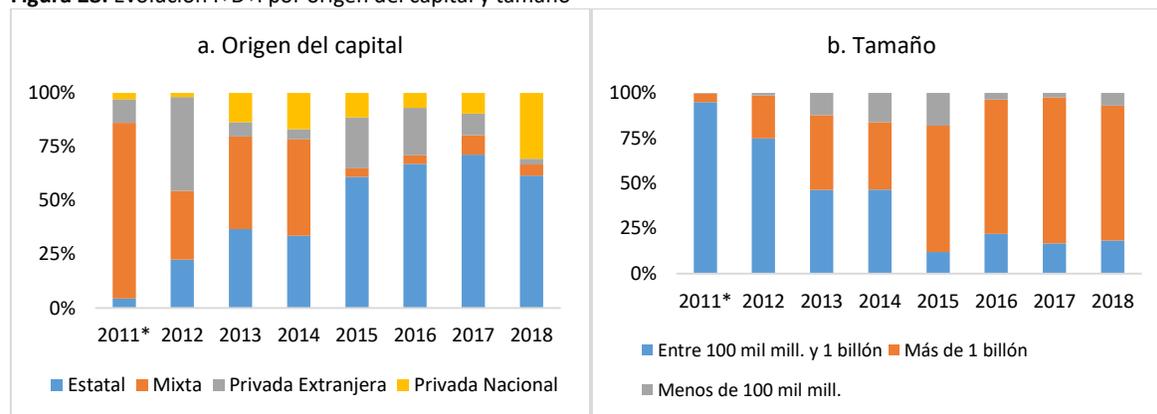
2. Por origen del capital y tamaño

Igualmente, tal como lo hemos hecho para la I+D como las otras actividades innovadoras por separado en los capítulos previos, podemos desagregar la evolución agregada de todas las actividades innovadoras según el origen corporativo del capital (figura 28.a) y tamaño de las ventas (figura 28.b) de las empresas que realizaron la inversión.

Tal como en el punto 1 anterior, podemos distinguir dos sub-periodos con diferencias palpables: del 2011 al 2014, cuando prevaleció la inversión de empresas de capitales mixtos con ventas entre los 100 mil y el billón de pesos, y posteriormente del 2015 al 2018, cuando primó la inversión estatal a través de Codelco, particularmente en el área de innovación sin I+D (como vimos en el capítulo VII), lo que a su vez implicó que la evolución de las actividades innovadoras de las empresas de mayor tamaño (a partir de la magnitud de sus ventas) sea particularmente alta en estos años.

En efecto, ya en estos últimos cuatro años de estudio vemos que la inversión estatal promedió el 54% de la inversión total en I+D+i, mientras que otras empresas con ventas superiores al billón de pesos aportaron un 8% del total. En paralelo, las empresas con ventas entre los \$100 mil millones y el billón representaron un 28% mientras que las empresas con ventas menores a los \$100 mil millones aportaron el 11% restante.

Figura 28: Evolución I+D+i por origen del capital y tamaño



*Sin incluir I+D Extramuro.

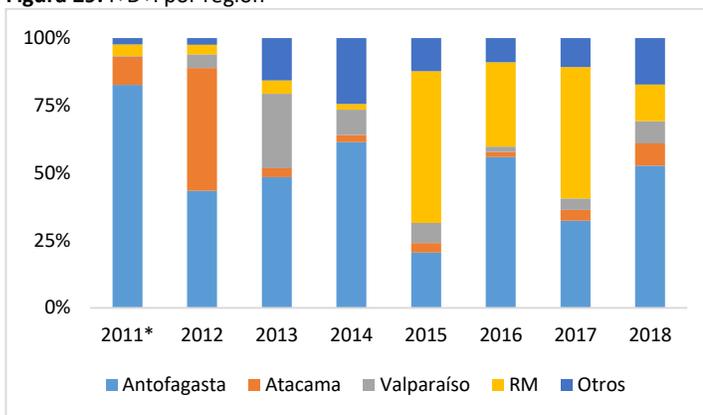
Fuente: Cochilco en base a Encuestas I+D y de Innovación.

3. Por región

A nivel regional vemos de la figura 29 abajo a la derecha que Antofagasta, la región donde se concentra la actividad minera nacional, en general recibe la mayor parte de la inversión en I+D+i.

Así, durante el periodo 2011-14 recibió el 68% de la inversión total, seguida de Atacama con un 16%, Vaparaíso con 5% y luego la Región Metropolitana y Arica y Parinacota con 4% cada una. Ya en el sub-periodo 2015-18, Antofagasta siguió liderando aunque en un grado menor, llevándose en 40% del total. En estos últimos años la Región Metropolitana ha adquirido mayor preponderancia con un 38% del total, seguida de las regiones de O'Higgins y Valparaíso con 6% y 5% respectivamente.

Figura 29: I+D+i por región



*Sin incluir I+D Extramuro.

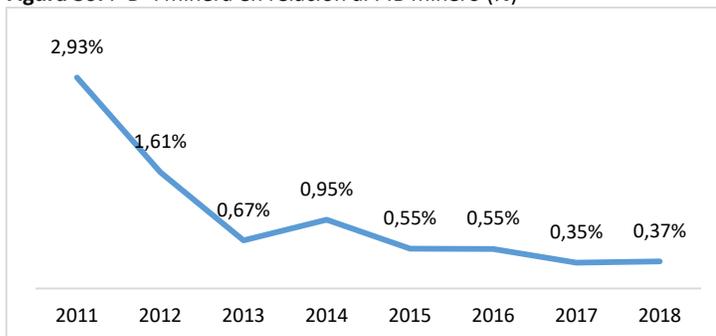
Fuente: Cochilco en base a Encuestas I+D y de Innovación.

4. Como porcentaje del PIB

Continuando con nuestra distinción de dos periodos con montos de inversión y tendencias distintas, podemos revisar bajo la misma óptica la evolución de todas las actividades innovadoras de las empresas mineras como proporción del PIB minero, como se ilustra en la figura 30 abajo a la derecha.

De esto vemos que tras el punto alto de 2011 (2,93%) se tendió progresivamente a la baja conforme los montos de innovación decayeron. Ya a partir de 2015 hay una relativa estabilización de las cifras entre 0,35% y 0,55%, lo que se puede interpretar como una cierta normalidad del sector ante la ausencia de grandes proyectos de inversión con innovaciones sustanciales.

Figura 30: I+D+i minera en relación al PIB minero (%)



*Sin incluir I+D Extramuro.

Fuente: Cochilco en base a Encuestas I+D y de Innovación.

IX. Comentarios finales

Chile cuenta con una minería madura con condiciones de escala, antigüedad y características geológicas que la hacen única a nivel mundial, de manera que en general no existen puntos de comparación altamente similares en el resto del mundo. Como resultado, al tener desafíos únicos, se requiere contar con soluciones únicas a fin de dar respuesta a los mismos.

Estos desafíos son crecientes y conocidos. A grueso modo, por el lado geológico y económico, el envejecimiento de las minas implica un mayor uso de recursos e insumos críticos, lo que a su vez supone mayores costos que presionan los márgenes operacionales y hacen necesaria la búsqueda de mejoras de productividad. Por el lado ambiental, existe una conciencia cada vez mayor del impacto ecológico provocado por la actividad minera, especialmente en sus áreas de uso de aguas continentales, emisión de gases de efecto invernadero y generación de relaves.

Sin soluciones que den respuesta a estos y otros desafíos, la proyección en el largo plazo de la minería nacional no sería posible. Como consecuencia, las empresas mineras saben que deben contar con una integración de nuevas tecnologías y técnicas de trabajo, especialmente en un contexto histórico en que todos los sectores productivos buscan adentrarse en la llamada revolución tecnológica del siglo XXI.

Ahora bien, esta aspiración por tecnologización e innovación, si bien es necesaria, colisiona con la rentabilidad a corto plazo del sector. En efecto, cualquier inversión en innovación y especialmente en I+D implica riesgos y costos inmediatos, con la esperanza que obtener beneficios que en muchos casos solo podrán verse en el mediano y largo plazo. En consecuencia, el contrapeso entre los costos actuales versus los beneficios esperados no siempre redundan en grandes decisiones de inversión.

Esto es especialmente cierto para las empresas de mediana minería que están particularmente constreñidas por la rentabilidad de corto plazo, lo que deja a las mayores mineras con la mayor responsabilidad de inversión en esta área. Sin embargo, en la práctica vemos que esto no siempre es el caso. De igual forma, se observa que existen diferencias claras en lo que respecta a invertir en I+D versus invertir en otras actividad de innovación.

Así, por ejemplo, en los últimos años la mayor empresa minera del país, Codelco, ha disminuido progresivamente su inversión en I+D, pasando de 0,62% de sus ventas en 2014 y a sólo un 0,09% en 2018. Sin embargo, al mismo tiempo esta empresa ha aumentado su inversión en otras actividades innovadoras. Esto se puede interpretar como una posible sustitución entre ambos tipos de inversión. Así, en un esfuerzo por reducir sus riesgos y costos, Codelco estaría invirtiendo progresivamente menos en I+D para así emplear soluciones innovativas idealmente ya diseñadas o incluso probadas en la industria, o al menos con algún grado de aplicación conocido de la misma.

¿Es sostenible esta estrategia? Lo será en la medida en que Codelco no deba depender de la creación de conocimiento sistemático, creativo y original para los desafíos que enfrenta. Dada que los desafíos de Codelco son en muchos casos únicos a nivel mundial, existe una duda razonable que este sea el caso, situación que también aplica a otras mineras de gran tamaño y antigüedad.

En efecto, la gran minería en general dada su escala, antigüedad y desafíos específicos, está llamada a asumir un rol protagónico en la inversión en actividades innovadoras en general. Ahora bien, esto

no implica que necesariamente deban contar con enormes centros propios de investigación e innovación sino que abran sus necesidades a un ecosistema creciente de instituciones de educación superior, centros tecnológicos, organizaciones gremiales y especialmente las empresas proveedoras que precisamente buscan proveer soluciones.

Sin embargo, a pesar de la importancia de la colaboración, vemos que en la práctica no resulta ser un aspecto altamente valorado por las mineras. En efecto, vimos que prácticamente la mitad de las innovaciones se realizan principalmente por ellas mismas y la valoración que le dan a los proveedores como fuente informativa para innovar no es particularmente importante, llegando a un promedio 2,2 entre 2009 y 2018 en escala de 1 –más- a 4. Esto, más que un problema, debe interpretarse como una oportunidad de mejora para el trabajo futuro. Para esto sin embargo hace falta en primero término una voluntad de cambio de las mineras, pero también de otros actores.

Por el lado de las mineras, están llamadas a compartir sus problemáticas a los proveedores del rubro y comunidades innovativas en general, incluyendo universidades, *start-ups* y centros de formación técnica, entre otros actores que componen el ecosistema innovativo. Esto supone en primer término profundizar las relaciones ya existentes a fin de establecer mayores puentes de confianza entre las partes. Confianza no sólo en la medida de pensar que otros pueden ayudar sino que lo harán respetando la confidencialidad de los proyectos y operaciones en consideración.

Luego, en la medida en que estas necesidades sean lo suficientemente detectadas y conocidas por los actores interesados, comienza la etapa de acordar mecanismos de financiamiento, gestión y finalmente de prueba de las innovaciones a implementar, aspectos en que nuevamente la confianza y también la coordinación adquieren un papel central.

En este sentido, el Estado puede contribuir a crear mayores vínculos entre las empresas mineras y el creciente ecosistema de innovación. Ya existen iniciativas público-privadas en esta área, pero aún existen espacios de mejora tanto para empresas de mediana como gran minería, tanto en la coordinación como posiblemente en el financiamiento. Esto es, desde luego, una tarea de varios actores, pero mientras mayores sean las conexiones logradas, mayores serán los beneficios para el sector minero y, finalmente, para el país.

X. Anexo: Clasificación Explotación de minas y canteras

Tabla 12: Clasificación Explotación de minas y canteras

Sección B			
Explotación de minas y canteras			
División	Grupo	Clase	Descripción
05			Extracción de carbón de piedra y lignito
	051	0510	Extracción de carbón de piedra
	052	0520	Extracción de lignito
06			Extracción de petróleo crudo y gas natural
	061	0610	Extracción de petróleo crudo
	062	0620	Extracción de gas natural
07			Extracción de minerales metalíferos
	071	0710	Extracción de minerales de hierro
	072		Extracción de minerales metalíferos no ferrosos
		0721	Extracción de minerales de uranio y torio
		0729	Extracción de otros minerales metalíferos no ferrosos
08			Explotación de otras minas y canteras
	081	0810	Extracción de piedra, arena y arcilla
	089		Explotación de minas y canteras n.c.p. (incluye sales de potasio)
		0891	Extracción de minerales para la fabricación de abonos y productos químicos
		0892	Extracción de turba
		0893	Extracción de sal
		0899	Explotación de otras minas y canteras n.c.p.
09			Actividades de servicios de apoyo para la explotación de minas y canteras
	091	0910	Actividades de apoyo para la extracción de petróleo y gas natural
	099	0990	Actividades de apoyo para otras actividades de explotación de minas y canteras

Fuente: CIIU Rev. 4 (Naciones Unidas, 2009).

Con el fin de que “los países puedan introducir categorías al nivel de división sin tener que modificar por completo la codificación de la CIIU”, se dejaron algunos “huecos” que incluyen al código 04. Para nuestros efectos estadísticos, este código correspondiente a “extracción y procesamiento de cobre”.

XI. Referencias

- Australian Bureau of Statistics (varios años): “Research and Experimental Development, Businesses”. Disponible en: <https://www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/allprimarymainfeatures/17EF02A5029649E2CA257F990030EDFE?opendocument>
- Banco Central (2020): PIB Sectorial. Disponible en: https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN2013_P1/CCNN2013_P1?cbFechaInicio=2000&cbFechaTermino=2020&cbFrecuencia=ANNUAL&cbCalculo=NO NE&cbFechaBase=
- CESCO (2020): “Hacia una minería 4.0 Recomendaciones para impulsar una industria nacional inteligente”. Disponible en: <http://www.cesco.cl/wp-content/uploads/2020/06/Hacia-una-mineria-4.0.-Recomendaciones-para-impulsar-una-industria-nacional-inteligente-1-2.pdf>
- Cochilco (2020): “Encuesta de Innovación en Empresas Proveedoras de la Gran Minería”.
- Codelco (2011): Memoria Anual 2011. Disponible en: <https://www.codelco.com/flipbook/memorias/memoria2011/en/>
- Hartlieb y Sánchez (2020): “Innovation in the Mining Industry: Technological Trends and a Case Study of the Challenges of Disruptive Innovation”. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42461-020-00262-1>
- InnovaRock (2019): Entrevista a Sebastián Carmona. Disponible en: <https://player.fm/series/nave-innovarock/sebastian-carmona-gerente-innovacion-codelco-el-motor-de-la-innovacion-es-la-mineria>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (2020), “Encuesta de Innovación en Empresas”. Disponible en: <http://www.minciencia.gob.cl/area-de-trabajo/encuesta-nacional-de-innovacion-2017-2018>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (2020), “Encuesta Nacional sobre Gasto y Personal en Investigación y Desarrollo (I+D)”. Disponible en: <http://www.minciencia.gob.cl/area-de-trabajo/encuesta-sobre-gasto-y-personal-en-investigacion-y-desarrollo-id-ano-2018>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (2020), “Mejoras al cuestionario y diseño metodológico de la Encuesta Nacional de Innovación años de referencia 2017 – 2018”. Disponible en: <http://www.minciencia.gob.cl/area-de-trabajo/encuesta-nacional-de-innovacion-2017-2018>
- Meller, P. (2020): “Transformación Digital del capital humano para la minería 4.0” [Presentación Webinar 12-08-20].
- Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (varios años), “Encuesta de Innovación en Empresas”. Disponibles en: <https://www.economia.gob.cl/category/estudios-encuestas/encuestas-y-bases-de-datos/encuesta-nacional-de-innovacion-en-empresas>
- Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (varios años), “Encuesta Nacional sobre Gasto y Personal en Investigación y Desarrollo (I+D)”. Disponible en: <https://www.economia.gob.cl/category/estudios-encuestas/encuestas-y-bases-de-datos/encuesta-nacional-sobre-gasto-y-personal-en-investigacion-y-desarrollo-id>
- Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (2014), “Documento Antecedentes Metodológicos Encuesta Nacional de Investigación y Desarrollo e Innovación”. Disponible en:

<https://www.economia.gob.cl/2014/02/23/documento-antecedentes-metodologicos-encuesta-nacional-de-investigacion-y-desarrollo-e-innovacion.html>

- Naciones Unidas (2009), Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (CIIU), Revisión 4. Disponible en: https://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesM/seriesm_4rev4s.pdf
- OECD (2015), Manual de Frascati (2015). Disponible en: <https://www.conicyt.cl/wp-content/uploads/2014/07/Manual-Frascati-2015.pdf>
- OECD (2018), Manual de Oslo. Disponible en: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/9789264304604-en/index.html?itemId=/content/publication/9789264304604-en>
- Teck Resources (varios años). Reportes Anuales. Disponibles en: <https://www.teck.com/investors/financial-reports/annual-reports-archive/>
- Whelan y Farshchi (2011). Lead user innovation: push or pull? A case of the UK NHS in IBEA Conference Proceedings: Innovation and Integration; Science, Technology and Policy in the Built Environment". Ist IBEA Conference 7-9 Oct. 2011. Dec. 2012 IBEA: Publications Ltd. ISBN 978-1-898523-02-4.

Este trabajo fue elaborado en la
Dirección de Estudios y Políticas Públicas por:

Salathiel Andrés González Eyzaguirre

Analista de Estrategia y Políticas Públicas

Jorge Cantallopts Araya

Director de Estudios y Políticas Públicas

Agosto / 2020