

expande
somos FCh

50
FCh
FUNDACIÓN CHILE



Lundin Mining

SpencerStuart



CODELCO

McKinsey
& Company



ANTOFAGASTA
MINERALS



PUCOBRE

Estudio Ecosistema de Tecnología en Minería

Septiembre 2026

Autores: Pepe Barroilhet, Ferrán Puyol, Gino Slanzi y Valentina Wyman

CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY

Any use of this material without specific permission is strictly prohibited



Introducción

Desde el 2017, en Expande Minería, iniciativa de innovación abierta para la minería de Fundación Chile, hemos trabajado junto a 24 operaciones mineras que representan el 80% de la producción de cobre en Chile. Hemos gestionado más de 500 desafíos tecnológicos levantados directamente desde la demanda de la industria, e identificado más de 5.000 soluciones a lo largo de este proceso.

Esta experiencia acumulada nos ha permitido observar un patrón recurrente: si bien prácticamente la totalidad de los procesos de búsqueda tecnológica logran identificar soluciones pertinentes, o las capacidades para el desarrollo de éstas, el porcentaje de esas soluciones que efectivamente se implementan y escalan dentro de la operación minera es considerablemente más bajo. Esta brecha, entre la disponibilidad de tecnología adecuada y su transferencia a la industria y adopción efectiva, es la que motivó el presente estudio.

EXPANDE MINERÍA DESDE 2017

24
operaciones mineras

80%
de la producción de cobre en Chile

+500
desafíos tecnológicos gestionados

+5.000
soluciones identificadas

Introducción

En lugar de enfocar el análisis nuevamente en la búsqueda de nuevas soluciones, decidimos preguntarle directamente al ecosistema dónde se producen los principales obstáculos a lo largo del proceso de innovación minera. Para ello, convocamos y facilitamos sesiones de trabajo con representantes de empresas de base tecnológica y desarrolladores de soluciones y, por otro lado con equipos de innovación de compañías mineras, con el objetivo de identificar, en cada una de las cinco etapas del proceso (estrategia y levantamiento de desafíos, *scouting* de soluciones, conceptualización de proyectos, escalamiento industrial y escalamiento comercial), los principales habilitadores y barreras que enfrentan los *partners* tecnológicos y las mineras al intentar llevar sus soluciones a la operación minera.

Los resultados de este trabajo cualitativo mostraron una convergencia significativa entre lo señalado por *partners* tecnológicos y por compañías mineras, concentrándose la mayor parte de las barreras identificadas en la etapa de conceptualización de proyectos, donde una propuesta tecnológica debe transformarse en un proyecto concreto, con caso de negocio, indicadores de éxito y condiciones de implementación definidas.

CINCO ETAPAS DEL PROCESO DE INNOVACIÓN

- 01 Estrategia y levantamiento de desafíos**
- 02 Scouting de soluciones**
- 03 Conceptualización de proyectos**
Concentra la mayor parte de las barreras identificadas
- 04 Escalamiento industrial**
- 05 Escalamiento comercial**

Introducción

A partir de estos hallazgos, y en colaboración con McKinsey & Company y Spencer Stuart, se diseñó una segunda fase de carácter cuantitativo: una encuesta que utilizó los resultados del trabajo cualitativo como insumo para formular preguntas transversales y preguntas específicas, segmentadas según el **nivel de madurez tecnológica** de las empresas participantes:

- A**  **TRL 1 - 4**
Validación conceptual
- B**  **TRL 5 - 8**
Piloto
- C**  **TRL 9**
Escalamiento

Esta encuesta contó con el respaldo de **Codelco, Antofagasta Minerals, Lundin Mining y Pucobre**, y logró recopilar 180 respuestas válidas de empresas de base tecnológica vinculadas a la industria minera en Chile.

El presente documento reúne los principales hallazgos de ambas etapas del estudio (cualitativa y cuantitativa) con el propósito de poner a disposición del ecosistema minero, tecnológico y público en general, una caracterización rigurosa de las brechas y los habilitadores que hoy determinan la velocidad y efectividad con que la innovación tecnológica logra integrarse a la operación minera en Chile.

EL ESTUDIO EN CIFRAS

2

fases: cualitativa y cuantitativa

180

respuestas válidas de empresas de base tecnológica

3

segmentos de madurez tecnológica: TRL 1-4, TRL 5-8 y TRL 9

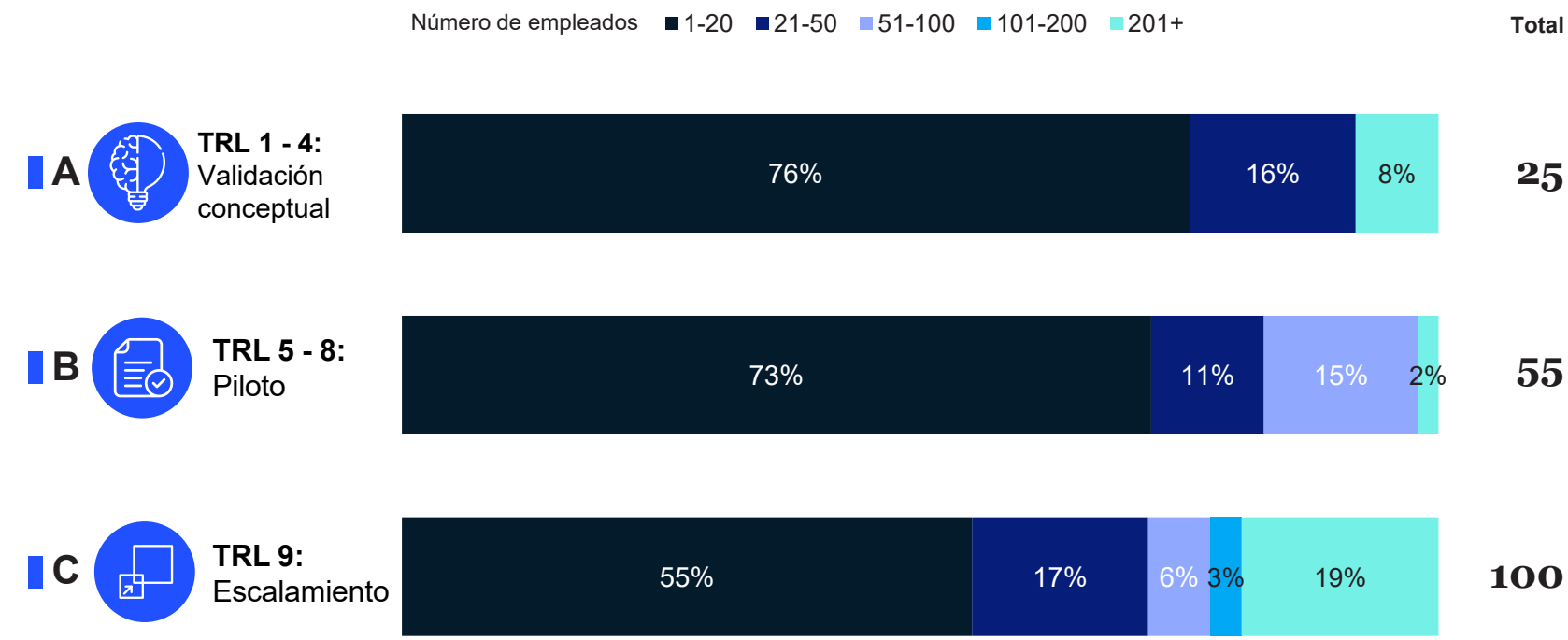
El estudio del ecosistema de innovación en la minería en Chile comprende 2 frentes

Frentes	Descripción	Resultados
01 Encuesta de entendimiento de desafíos y oportunidades	✓ Levantamiento de información disponible de proveedores (catálogo Alta Ley, Expande, etc.) ✓ Participación en eventos para sociabilizar hipótesis respecto a las brechas del proceso de innovación(ETM, Expomin, Mesa de proveedores etc.) ✓ Diseño y lanzamiento de encuesta con +30 preguntas en 5 dimensiones, y análisis preliminar ✓ Refinamiento de encuesta, relanzamiento y finalización/presentación de entregable ✓ Análisis del resultado de la encuesta	~200 empresas con respuestas completas +100 asistentes a la master class, con participación de compañías mineras
02 Estudio de barreras para la innovación en Minería - FCh	✓ Entrevistas a proveedores y compañías mineras ✓ Dos sesiones de trabajo para identificar las brechas y habilitadores a lo largo del proceso de innovación en minería	

Logramos 180 respuestas completas para la evaluación del ecosistema tecnológico minero

Caracterización de las startups participantes en la encuesta

Gráfico 1
Respuestas de la encuesta del ecosistema tecnológico en la minería en Chile,
de encuestados desagregado por número de empleados en la compañía



- Desarrollamos **preguntas transversales** que ofrecen una visión integral del panorama de desafíos comunes, como el financiamiento.
- **Segmentamos a los encuestados por su nivel de madurez** para identificar obstáculos específicos.
- El 63% de los encuestados son startups con **20 empleados o menos**.
- Poco más de la **mitad de los participantes se sitúan en TRL 9**, encontrándose en la fase de escalamiento de sus soluciones.

El ecosistema enfrenta un cuello de botella financiero, apalancándose en los fondos propios



Gráfico 2

Fuentes de financiamiento de las startups en la minería en Chile¹, % de encuestados

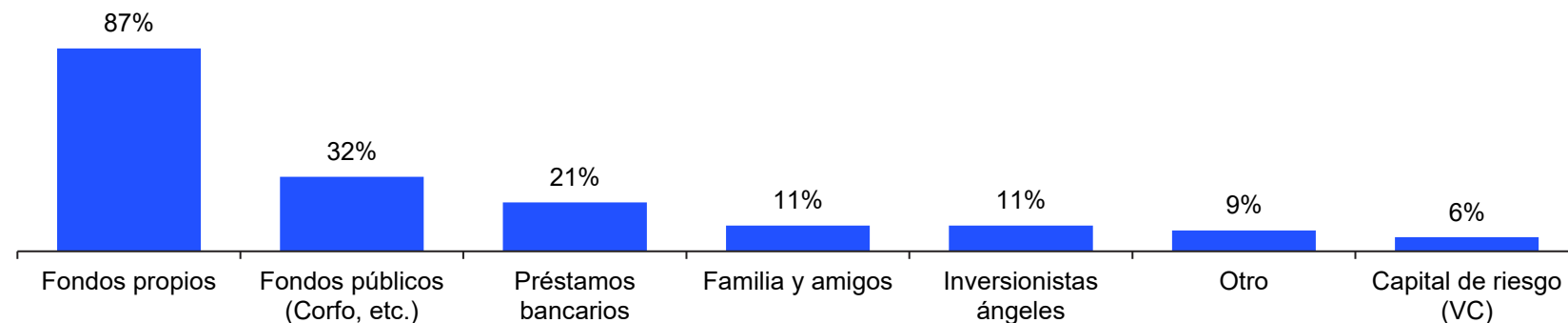
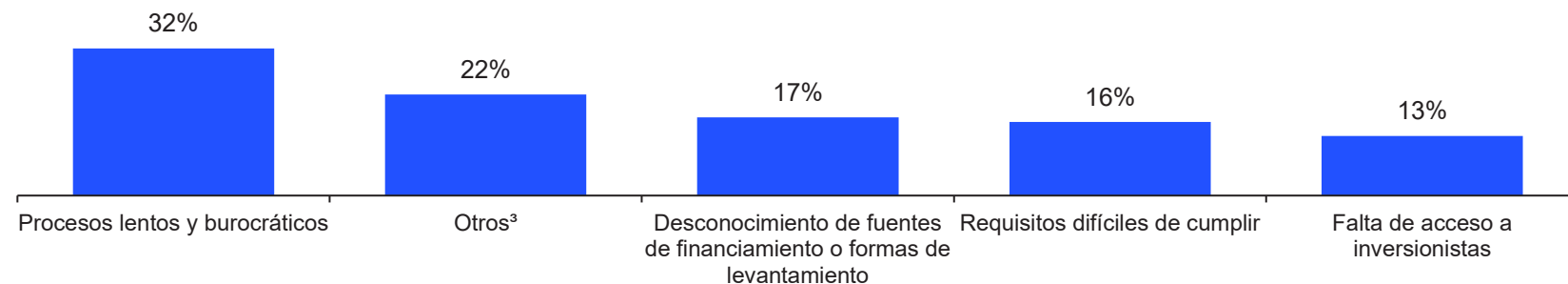


Gráfico 3

Principales desafíos de las startups para obtener financiamiento en Chile², % de encuestados



¹ Pregunta: ¿Cuáles han sido sus principales fuentes de financiamiento hasta ahora? (Puedes elegir más de una)

² Pregunta: ¿Qué desafíos específicos ha enfrentado para obtener financiamiento en Chile? (Seleccione sólo una)

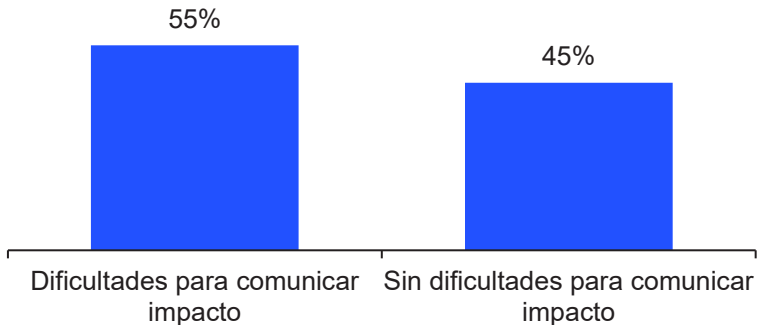
³ Los desafíos registrados por los encuestadores en "Otros" incluyen: costo del financiamiento, desconexión con la economía real, falta de compromiso de mineras, falta de interés de los inversionistas, entre otros

- La mayoría de las startups dependen de fondos propios, ya sea como financiamiento total o parcial de sus operaciones.
- El 40% de los encuestados reporta que su financiamiento proviene **exclusivamente de fondos propios**.
- Esta tendencia refleja la **dificultad para acceder a fondos** especializados en innovación.
- Los **procesos lentos y burocráticos** representan el principal obstáculo para la obtención de financiamiento, según un tercio de los encuestados.
- 22% de los encuestados atribuye la dificultad a otros factores, como falta de acceso a inversionistas, desconocimiento de fuentes de financiamiento, burocracia o requisitos exigentes.

La dificultad en comunicar claramente el impacto dificulta la adquisición de nuevos clientes



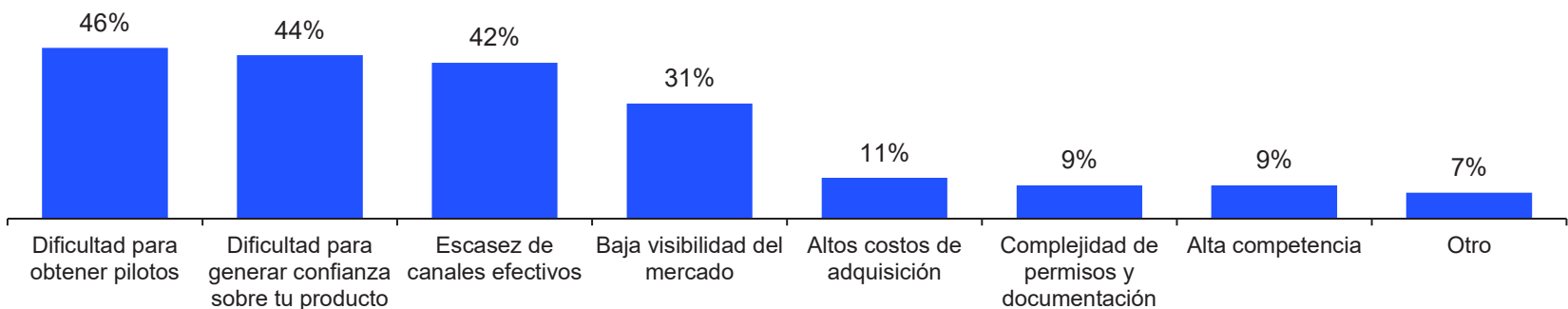
Gráfico 4
Capacidad para comunicar el impacto¹, % de encuestados



> La mayoría enfrenta desafíos para comunicar el impacto debido a la **falta de oportunidades y contactos** que permitan visibilizarlo.

Además, deben **competir con otras prioridades** de la minera que dificultan dedicar recursos y atención a este aspecto.

Gráfico 5
Mayores dificultades que enfrentan las startups al adquirir nuevos clientes², % de encuestados



- Las startups enfrentan desafíos en comunicar su impacto de manera clara a sus clientes, lo que limita su capacidad para adquirir nuevos clientes.
- Los encuestados reportan dificultades para obtener pilotos, lo que impide generar casos de éxito que respalden la venta de sus productos y servicios, además de complicar la conexión efectiva con los tomadores de decisión en las mineras y la construcción de confianza con ellos.

¹ Pregunta: ¿Has tenido dificultades para comunicar claramente tu impacto?
² Pregunta: ¿Cuáles son las mayores dificultades que enfrenta al adquirir nuevos clientes? (seleccione dos)

El flujo de caja inestable dificulta la atracción de talento para las startups, especialmente en los perfiles comerciales



Gráfico 6

Desafíos para el reclutamiento y retención del talento¹, % de encuestados



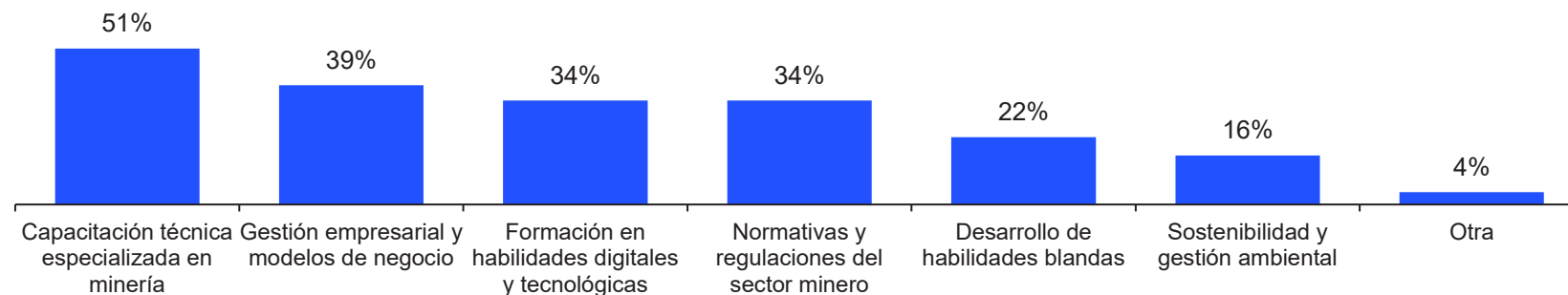
Gráfico 7

Perfiles críticos y más difíciles de atraer o retener², % de encuestados



Gráfico 8

Áreas de formación necesarias para el fortalecimiento del talento de las startups³, % de encuestados



- La inseguridad en la capacidad de cubrir los salarios, debido al flujo de caja inestable, dificulta la atracción y retención del talento.
- 32% de los encuestados presenta desafíos para cubrir perfiles comerciales.
- La mitad de los encuestados señala que su equipo puede fortalecerse con más capacitaciones técnicas especializadas en minería y en habilidades comerciales y de gestión de negocios.

¹ Pregunta: ¿Qué desafíos identificas al reclutar y retener talento? (selecciona sólo una opción)

² Pregunta: ¿Qué perfiles profesionales consideras críticos y cuáles te cuesta más atraer o retener? (selecciona sólo una opción)

³ Pregunta: ¿En qué áreas de formación consideras necesario fortalecer a tu equipo? (selecciona dos opciones)

Analizamos el resultado de cada segmento, para entender sus desafíos específicos

Introducción a los segmentos identificados

No exhaustivo

	A  Validación conceptual (TRL 1-4)	B  Piloto (TRL 5-8)	C  Escalamiento (TRL 9)
Descripción	- Tiene capacidad de desarrollo de su solución - Está validando el concepto y busca financiamiento para hacer pruebas - Tiene dificultad para acceder a la industria (contactos y/o conocimiento técnico)	- Logró validar problemática y solución - En proceso de pruebas a escala para refinar solución y optimizar bajo condiciones reales - Está generando experiencia en negociación con mineras	- Soluciones ya implementadas con clientes operativos - Buscan crecer y obtener más casos de uso - Desarrollando nuevos productos o servicios
Preguntas específicas	- ¿Cómo has validado la problemática a la que apunta tu solución? - ¿Has podido conceptualizar el impacto potencial de tu solución si es aplicado a la industria? - ¿Cuentas con recursos para construir/desplegar/realizar un prototipo de tu solución? - ¿Cuál es la principal brecha para poder validar tu propuesta de valor?	- Desde la conceptualización de la solución hasta el primer pilotaje en faena, ¿cuánto tiempo tardaste? - ¿Tu primer pilotaje coincidió con tu primera experiencia operando en una faena minera? - ¿Tu primer pilotaje fue concluyente o exitoso? - ¿Cuál(es) de las siguientes prácticas aplicas en tus pilotos? - ¿El monto cobrado en tus pilotos logra cubrir los gastos incurridos?	- ¿Cuál es tu foco para escalar la base de clientes de la compañía? - ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrenta tu empresa para escalar su solución técnica y comercialmente en la industria minera? - ¿Qué porcentaje de las pruebas piloto que ejecutas son exitosas? - Cuando los pilotos no son exitosos, ¿cuáles son las razones principales del fracaso?
Preguntas transversales	- De caracterización: número de empleados, etapa del desarrollo de los productos, ingreso promedio, entre otros - De financiamiento: principales fuentes de financiamiento, desafíos para la obtención del financiamiento, entre otros - Comercial/Impacto: principales clientes, desafíos en la adquisición de nuevos clientes, comunicación del impacto, entre otros		

A El segmento TRL 1-4 presenta grandes dificultades para generar interés respecto a su solución, dependiendo de las grandes mineras

Gráfico 9
Tipos de colaboración o networking considerado relevante por los TRL 1-4¹, % de encuestados



¹ Pregunta: ¿Qué tipo de colaboración o networking consideras relevante para tu negocio? (seleccione dos); n=25
² Pregunta: ¿Qué tan receptivas consideras que son las compañías mineras frente a nuevas soluciones tecnológicas? Evalúa de 1 (muy bajo) a 5 (muy alto); n=25
³ Pregunta: ¿Has tenido dificultades para comunicar claramente tu impacto? (Sí, ¿por qué?; No, ¿por qué?); n=25



- Las startups en este segmento **dependen fuertemente de la colaboración con grandes empresas**, lo que dificulta avanzar a etapas de pilotaje; además, pocas exploran pilotear con mineras medianas, donde podrían iterar más rápido.
- El 96% percibe a las mineras **como poco o medianamente receptivas**² (16% muy poco), debido a que el impacto de las soluciones suele ser indirecto, de largo plazo o difícil de medir, lo que no conecta con prioridades del negocio.
- A esto se suma la desconexión con tomadores de decisión y la falta de datos para demostrar impacto.
- Como resultado, un 48% no logra comunicar claramente su valor, en gran parte por no poder validar sus soluciones en entornos reales, generando un círculo vicioso.³

B A las startups TRL 5-8 les toma mayor tiempo entre la conceptualización y ejecución de los pilotos por falta de sponsor

Gráfico 10

Prácticas aplicadas por los TRL 5-8 durante sus pilotos¹, % de encuestados



¹ Pregunta: ¿Cuál(es) de las siguientes prácticas aplicas en tus pilotos? Marca todas las que apliquen; n=55

² Pregunta: Desde la conceptualización de la solución hasta el primer pilotaje en faena, ¿cuánto tiempo tardaste?; n=55

³ Pregunta: ¿Has tenido dificultades para comunicar claramente tu impacto?; n=55

⁴ Pregunta: ¿Tu primer pilotaje fue concluyente o exitoso?; n=55

⁵ Pregunta: ¿El monto cobrado en tus pilotos logra cubrir los gastos incurridos?; n=55



- El 44% de los encuestados del segmento cuenta con un sponsor para el desarrollo del piloto.
- El 55% de los encuestados reporta un periodo >12 meses entre la conceptualización y ejecución de los pilotos; mientras que solo el 5% indica que el tiempo fue menor a 3 meses.²
- El 78% señala dificultades para comunicar efectivamente su impacto³, principalmente por:
 - Impacto difícil de cuantificar o no alineado a las métricas del negocio.
 - Dificultad de acceder a los datos del cliente.
 - Desconexión con el liderazgo, resistencia al cambio y prioridades a corto plazo.
- El 78% considera que sus pilotos fueron exitosos⁴, a pesar de que solo el 38% logró cubrir los costos del piloto con el monto cobrado.⁵

c Los procesos lentos y burocráticos dificultan a los TRL 9 en la obtención del financiamiento y el escalamiento de su solución



Gráfico 11
Principales desafíos que enfrentan los TRL 9 para escalar su solución¹, % de encuestados



- La mayoría de los encuestados del segmento indica que los **procesos de compra representan un obstáculo para el escalamiento de la solución.**
- Entre los **principales desafíos para obtener el financiamiento en Chile²**, el 39% señala los procesos lentos y burocráticos, el 14% el desconocimiento de fuentes de financiamiento y un 13% los requisitos difíciles de cumplir.
- Una vez obtenido el financiamiento, un 65% cita **“Cambio en las prioridades del cliente”**, y un **64% identifica la resistencia al cambio y/o al riesgo de las compañías mineras como el principal motivo del fracaso de sus pilotos.³**

¹ Pregunta: ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrenta tu empresa para escalar su solución técnica y comercialmente en la industria minera? Seleccione los dos más relevantes; n=100
² Pregunta: ¿Qué desafíos específicos ha enfrentado para obtener financiamiento en Chile? Seleccione las dos más relevantes; n=100
³ Pregunta: Cuando los pilotos no son exitosos, ¿cuáles son las razones principales del fracaso? Seleccione las dos más relevantes; n=100
⁴ Otros incluye: procesos de decisión y asignación presupuestaria lentos, estándares TI diferentes entre compañías, baja inversión en I+D, entre otros

Acciones e iniciativas por actor para desarrollar partners tecnológicos en minería

Del rol al impacto: cómo cada actor apalanca un polo¹ de innovación minera, con foco en el desarrollo de proveedores.

ACTOR	ROL EN EL ECOSISTEMA	DESAFÍO ACTUAL	INICIATIVAS CLAVE	IMPACTO ESPERADO
 Academia <i>Universidades y centros de conocimiento</i>	Genera conocimiento y tecnología, forma talento y aporta infraestructura de I+D.	Investigación desconectada de la industria; baja madurez TRL/MRL; incentivos a I+D complejos e inestables.	- Orientar el I+D a los desafíos reales de la minería. - Crédito tributario de 60% al I+D minero. - Testbeds³ en faena e infraestructura para validar TRL tempranos - Doctorados industriales, spin-offs y aceleradoras especializadas.	Soluciones que responde a la demanda, mejores pilotos, mayor adopción y más patentes.
 Empresas mineras <i>Industria · demanda y adopción</i>	Adoptan, comercializan tecnología y traccionan la demanda desde la operación.	Tiempos de pilotaje extensos, permisos complejos, baja adopción de tecnología y falta de cuantificación de impacto.	- Sistemas de contratación diferidos (SCI) y alianzas con EECC, actores claves/defensa y mediana minería. - Unidad conjunta de pilotos en distritos o temáticas² (Codelco, BHP, AMSA) Protocolos estándar de IT y seguridad. - Incentivos a los equipos mineros para validar tecnología <i>on site</i> - Incorporación de talento senior a áreas de innovación.	Menores tiempos de prueba, más experimentación y más tecnologías escaladas.
 Gobierno <i>Políticas públicas, financiamiento y mercado</i>	Define políticas, normativas e incentivos; financia y dinamiza el mercado.	Financiamiento rígido, falta de VC especializado y dificultad para escalar.	- Fondos exclusivos para minería, con plazos y montos adaptados. - Fondo «Chile Mining Tech Fund» (US\$ 200–300M) y semilla regional en Antofagasta. - Ley de Compras Locales 2.0 (3–5% a innovación), compra anticipada y bonos tributarios. - Promover la internacionalización.	Financiamiento continuo y demanda temprana; las startups pasan de piloto a contrato.

¹ **Polo de innovación:** distrito geográfico donde coexisten físicamente todos los actores: proveedores, universidades, centros tecnológicos, aceleradoras, venture capital y, sobre todo, las mineras.

² **Unidad conjunta de pilotos:** equipo colaborativo inter-empresas que permite probar soluciones en múltiples minas con procesos similares y tiempos más cortos. Estandarización de protocolos de pruebas para facilitar TT.

³ **Testbed:** entorno controlado y autorizado dentro de una faena donde una startup prueba, valida y ajusta su tecnología en condiciones reales, con riesgos acotados.

Agradecimientos*

Este estudio constituye un trabajo colaborativo en donde participaron distintos actores con el interés de poder comprender los procesos de innovación en minería y contribuir a una mejora desde el rol que cada uno ejerce. Extendemos un especial agradecimiento por su tiempo y dedicación a:

Pepe Barroilhet - **Spencer Stuart**

Ferrán Puyol - **McKinsey & Company**

Gino Slanzi - **McKinsey & Company**

Felipe Lagno - **CODELCO**

Samu Cortés - **CODELCO**

Ana María González - **CODELCO**

José Miguel Celis - **CODELCO**

Francisco Lozano - **AMSA**

Lisette Wen - **AMSA**

Daniel Pérez- **AMSA**

Andoni Torrontegui - **ENAMI**

Magdalena Andrade - **ENAMI**

Natalia Vicencio - **SQM Litio**

Victoria González - **SQM Litio**

Carlos Aros - **BHP**

Alejandra Gerlestein - **BHP**

Juan Andrés Morel – **Lundin Mining**

Sebastián Ríos - **PuCobre**

Claudio Soto - **PuCobre**

Osvaldo Urzúa - **Karungen**

Juan Carlos Román - **Fundación Chile**

Philip Wood - **Fundación Chile**

Valentina Wyman - **Fundación Chile**

Carolina Rojas - **Fundación Chile**

Cristian Rojas - **Ministerio de Minería**

Ricardo Cerda - **Ministerio de Minería**

Paula Gómez - **Consultor independiente**

Gonzalo Montoya - **Consultor independiente**

Y a los casi 200 *partners* tecnológicos que participaron en los workshop y la encuesta que permitió dar forma a este estudio

*Se consideró la compañía que representaban las personas al momento de participar del estudio. Es posible que al momento de la publicación algunas ya no pertenezcan a esas empresas.

expande
somos FCh

50
FCh
FUNDACIÓN CHILE

Lundin Mining

SpencerStuart

CODELCO

**McKinsey
& Company**

**ANTOFAGASTA
MINERALS**

P
PUCOBRE

Contacto

Si quieres saber más del estudio contáctanos al correo
innovacion.abierta@fch.cl

CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY
Any use of this material without specific permission is strictly prohibited



expande
somos FCh

50
FCh
FUNDACIÓN CHILE



Lundin Mining

SpencerStuart



CODELCO

McKinsey
& Company



ANTOFAGASTA
MINERALS



PUCOBRE

Estudio Ecosistema de Tecnología en Minería

Septiembre 2026

CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY

Any use of this material without specific permission is strictly prohibited

