

Revolución Tecnológica en la Gran Minería de la Región Andina



Implementado por

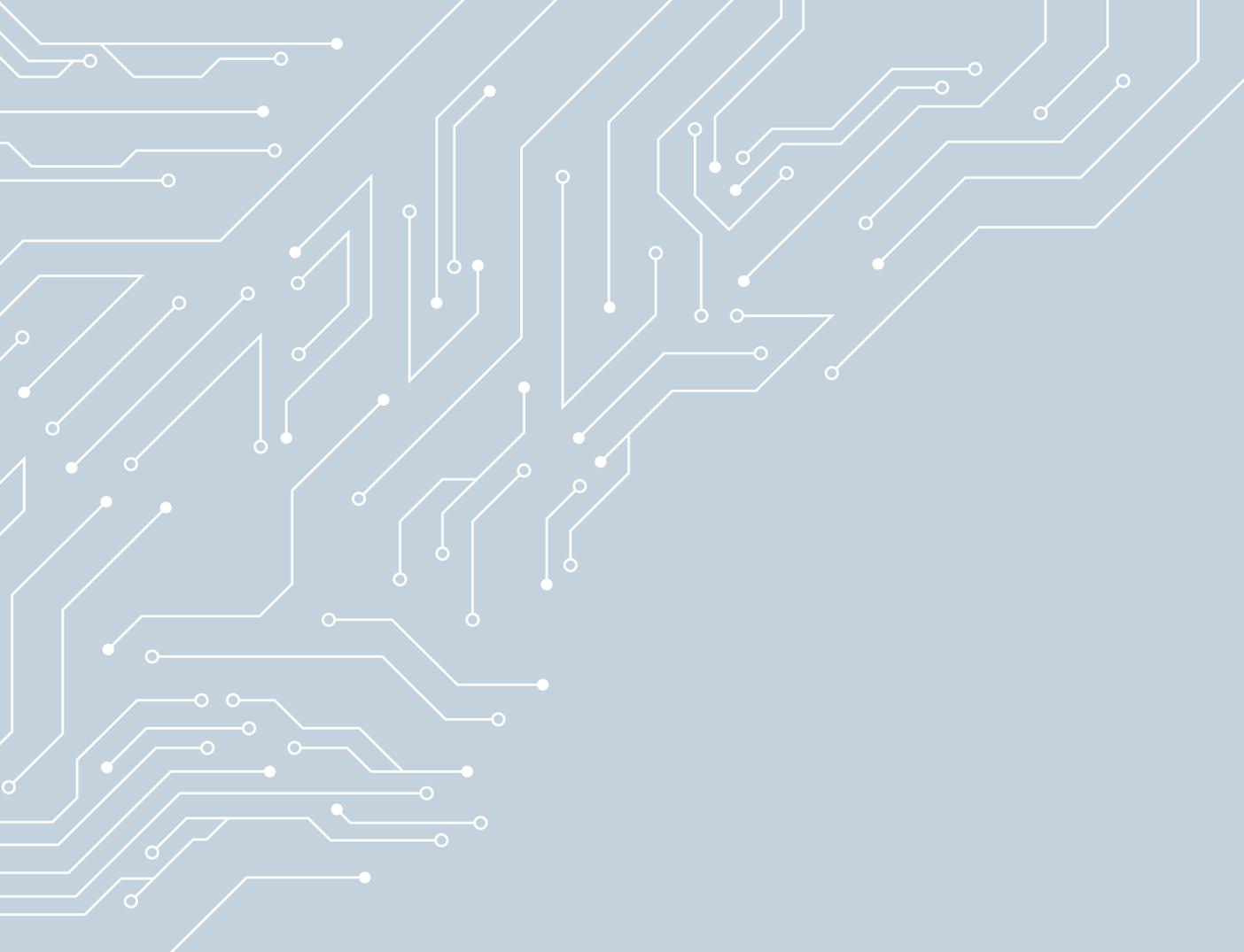


INTERGOVERNMENTAL FORUM
on Mining, Minerals, Metals and
Sustainable Development

CESCO

CENTRO DE ESTUDIOS
DEL COBRE Y LA MINERÍA





Coordinador del Informe: Osvaldo Urzúa

Equipo de Trabajo: Alejandra Wood
José Joaquín Jara
Nicolás Jubera
América Rodríguez
Alejandra Rivera

Los autores agradecen los valiosos comentarios de Annie Dufey, como también los aportes de los expertos entrevistados y participantes en los talleres.

Informe por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania, implementado por el Proyecto MinSus de la GIZ.

Este trabajo se enmarca en el “Proyecto Nuevas Tecnologías, un Nuevo Trato” del Foro Intergubernamental sobre Minería, Minerales, Metales y Desarrollo Sostenible (IGF), en asociación con el Centro para la Inversión Sostenible de Columbia (CCSI) y el Programa de Valor Compartido en Minería de Ingenieros Sin Fronteras de Canadá; el cual es financiado por el programa sectorial de la GIZ “Extractives for Development” por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ).

Enero 2021



Contenido

Resumen Ejecutivo	4
I. Contexto.....	8
II.A. Tecnologías identificadas y su nivel de adopción.....	12
II.B. Impactos del cambio y de la adopción tecnológica.....	18
II.C. Políticas públicas y esfuerzos colaborativos	26
III. Recomendaciones y una agenda para la adopción de las nuevas tecnologías en la gran minería de la región como una oportunidad	30



Tablas, gráficos y diagramas

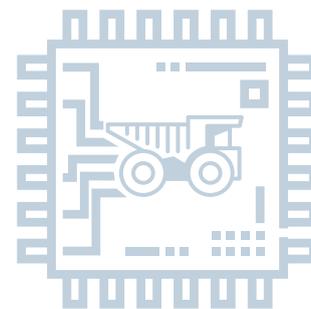
Esquema 1. Marco de análisis del impacto del cambio tecnológico en la gran minería del cobre.....	11
Esquema 2. Una mirada de conjunto para una transición exitosa	13
Tabla 1. Áreas tecnológicas de la Revolución Industrial 4.0 y de las soluciones para una minería sostenible	14
Tabla 2A. Impacto en empleo directo e indirecto producto de cambio tecnológico en comunidades, ciudades y áreas metropolitanas.....	22
Tabla 2B. Impacto en compras locales producto de cambio tecnológico en comunidades, ciudades y áreas metropolitanas.....	23
Tabla 2C. Impacto en el desarrollo de innovaciones a nivel local producto de cambio tecnológico en comunidades, ciudades y áreas metropolitanas	24
Tabla 2D. Impacto en la transformación productiva del entorno producto de cambio tecnológico en comunidades, ciudades y áreas metropolitanas	25
Tabla 3. Elementos de una agenda para impulsar la adopción de las nuevas tecnologías y hallazgos.....	33



Anexos

1. Referencias y bibliografía.....	35
2. Secuencia de entrevistas y talleres.....	37
3. Listas de expertos entrevistados y participantes en los talleres.....	38
4. Guía de entrevistas.....	39
5. Encuesta sobre factores críticos	41
6. Propuestas para el desarrollo de comunidades de prácticas	43

Revolución Tecnológica en la Gran Minería de la Región Andina



Políticas y esfuerzos colaborativos para el pleno aprovechamiento de la Revolución Tecnológica

Resumen Ejecutivo

Este trabajo se desarrolló bajo la premisa de que el cambio tecnológico no se puede parar y, que aprovecharlo para impulsar un desarrollo sostenible, es un desafío dual de crecimiento y equidad. Algunas tecnologías y actividades que son impulsoras de la productividad y el crecimiento no llevarán necesariamente a una mayor generación de empleo, pero son un requisito fundamental para crear condiciones habilitantes para desarrollar otras actividades impulsoras de un proceso de prosperidad inclusiva, y que apunten a mejorar la calidad de vida para todos. Ambas actividades son complementarias y deben desarrollarse coordinadamente: mientras algunas políticas públicas y esfuerzos colectivos apuntarán a abordar ambos propósitos, otros tendrán su acento en solo uno de ellos.

En este contexto, el Centro de Estudios del Cobre y la Minería (Cesco) desarrolló esta investigación con el objetivo de identificar políticas públicas y esfuerzos colectivos que ayudarían a aprovechar las oportunidades y mitigar los efectos no deseados asociados a la adopción¹ de nuevas tecnologías en la gran minería de la Región Andina, con foco en la gran minería del cobre debido a su relevancia y potencial en las economías de la región. Si bien no pretende generar un diagnóstico acabado de la situación que existe en cada país y los escenarios futuros que podrían enfrentar, constituye un primer esfuerzo para identificar factores y tendencias que se deben tener presente para estudiar los impactos del cambio tecnológico, y luego definir políticas y esfuerzos colaborativos para aprovecharlos. Al mismo tiempo, sienta las bases para establecer una comunidad de prácticas que permita ir profundizando el entendimiento de los desafíos y oportunidades y crear espacios de intercambio de la experiencia a nivel regional.

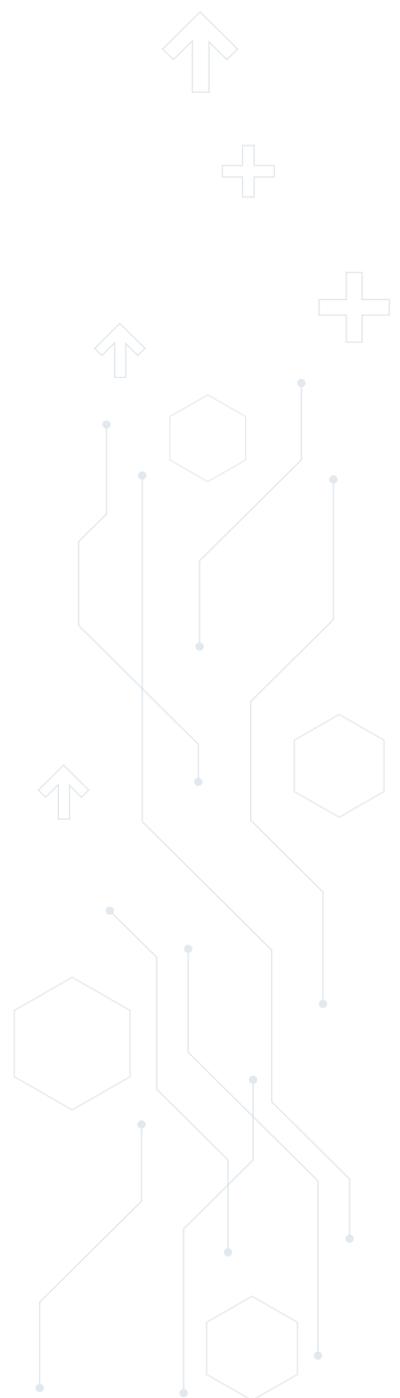
¹ El concepto “adopción tecnológica” abarca tanto la capacidad para poder utilizar una nueva tecnología y obtener mejoras de productividad y desempeño operacional, como también la participación en el cambio tecnológico mismo, pudiendo desarrollar innovaciones asociadas a las nuevas tecnologías.

Entre los hallazgos preliminares se incluyen:

- **No existe una solución única:** Existen importantes diferencias entre los países de la Región Andina respecto de los impactos y oportunidades de la adopción tecnológica en la gran minería del cobre. En distritos mineros más maduros, como Chile y Perú, los impactos en empleo, compras locales e innovación despiertan inquietud, y el sector enfrenta el desafío de atender las expectativas de la sociedad sobre lo que significa una participación justa de los beneficios que genera la minería. En distritos menos maduros, tales como Ecuador y Colombia, existe una percepción de un mayor beneficio en términos de empleo y compras globales, ya que se trata de actividades nuevas. Sin embargo, existe menor preocupación de aprovechar el impulso transformador que la adopción de nuevas tecnologías podría catalizar.
- **Revolución industrial 4.0 está en pleno despliegue, pero los impactos y frutos de la era digital están aún por venir:** La adopción de las tecnologías digitales, tales como la automatización y robótica, están en pleno despliegue y aún deben superar algunos desafíos para generar los beneficios esperados. Específicamente, se debe desarrollar la infraestructura digital, para luego abordar temas de ciberseguridad, la integración de sistemas, la gestión de data, la automatización y la autonomización de procesos. El proceso está en pleno desarrollo y los impactos deberían producirse en los próximos años, lo que genera una ventana temporal única para prepararse adecuadamente y contar con los saltos de productividad y mejora operacional fundamentales para la sostenibilidad de la industria y, simultáneamente, abordar los temas de inclusión y equidad, fundamentales para la licencia social del sector. Aunque se identifican un conjunto de esfuerzos que apuntan en esa dirección, se percibe una alta fragmentación y baja capacidad para el desarrollo de un esfuerzo colectivo y de largo aliento, que, si no se aborda, podría poner en riesgo el proceso de adopción tecnológica y, consecuentemente, la sostenibilidad de la industria.
- **Las políticas públicas y la acción colectiva son claves y conllevan a escenarios de mayores beneficios:** Bajo escenarios de existencia de políticas públicas y acción colectiva, se perciben mejoras relevantes en prácticamente todos los impactos analizados -empleo, compras locales, innovación y transformación productiva-, y en todas las unidades territoriales o demográficas. Los mayores beneficios se dan para las tecnologías de sostenibilidad y de gestión de datos. En otras palabras, según el juicio de los expertos que participaron en esta investigación, la minería puede proveer una plataforma de desarrollo para la Región Andina con una mirada de futuro, si existe una acción deliberada y coordinada de política y colaboración.



- **La necesidad de una agenda integrada con tecnologías digitales y tecnologías para la sostenibilidad:** El impulso de una visión de conjunto de las tecnologías que están cambiando la economía, permite proyectar escenarios promisorios para una minería tecnológica, inclusiva y verde para la Región Andina, en la que se aborda el desafío dual antes mencionado. La digitalización es fuente de productividad y las tecnologías sostenibles -tales como las energías renovables, la electromovilidad, las soluciones basadas en la naturaleza y las soluciones de economía circular- abren espacios complementarios para la generación de ingresos o de reducción de costos, de empleo, compras e innovación. Además, un esfuerzo que integre tanto las tecnologías digitales como aquellas para una mayor sostenibilidad, genera mayores opciones para compensar eventuales impactos de la automatización y permite abordar los desafíos de productividad y los de desempeño socioambiental.
- **Las brechas de capital humano son una barrera para definir una agenda de valor para todos:** La integración de tecnologías digitales con tecnologías para la sostenibilidad, podría impulsar con mayor fuerza una minería que impuse un crecimiento más equitativo, baja en carbono y ambientalmente más responsable. Sin embargo, estas oportunidades son conocidas sólo por un grupo reducido de expertos, y no están plenamente integradas en las estrategias de las empresas, ni son parte de una política pública coherente y de largo plazo. Por ejemplo, destacan el hidrógeno verde, la restauración de ecosistemas, la gestión de cuencas y el reciclaje. El fortalecimiento del capital humano, tanto en el gobierno como en la empresa, es una condición habilitante para tener un debate informado, definir acciones pertinentes a cada contexto y luego implementarlas a través de un esfuerzo colaborativo. Asimismo, la adopción de nuevas tecnologías puede abrir una oportunidad para mejorar el balance de género en la fuerza de trabajo de la industria.
- **La flota de camiones CAEX es un ejemplo de un nicho de alto potencial que demanda acción colectiva:** Se estima que sólo entre Chile y Perú existe uno de los parques de camiones CAEX más importantes del mundo, que podría superar las 3.500 unidades. Estas flotas demandan servicios de mantenimiento, deben ir incorporando nuevas tecnologías a través de procesos de retrofitting y deben disminuir su huella de carbono. Esto abre una oportunidad única de generar capacidades locales para el desarrollo de un clúster minero regional en torno a estos grandes desafíos y con un mercado regional que tiene escala para el desarrollo de encadenamientos productivos que aprovechan el cambio tecnológico, e impulsan la transformación productiva. Esta aproximación podría impulsar el desarrollo del Clúster Minero Andino integrado a cadenas de valor globales y en alianza con las empresas y países que están liderando la nueva revolución tecnológica.



- **Los tomadores de decisiones son un grupo reducido. Una agenda coordinada solo requiere voluntad:** Un grupo reducido de compañías mineras son responsables de más del 50% del cobre que se produce en la Región Andina, lo que representa más del 20% del cobre producido a nivel mundial. Esto genera una gran oportunidad para impulsar una estrategia concertada de desarrollo en torno a una minería tecnológica, inclusiva y verde, en la que los desafíos sean abordados colectivamente y en alianza con el gobierno y las comunidades. Los problemas de agencia serían abordables, lo que abre una oportunidad única; no obstante, se requiere de un liderazgo privado y público para articular e impulsar una agenda regional que hasta hoy no aparece. Entender y enfrentar este desafío aparece como una acción en sí misma para el éxito de la adopción las nuevas tecnologías. La acción coordinada de las compañías mineras podría ser un primer paso para crear espacios de acción coordinada a nivel regional y entre los gobiernos de la región.
- **El COVID-19 aceleró la adopción y abrió el debate sobre la necesidad de una transformación productiva:** La crisis del COVID-19 aceleró la adopción de prácticas de trabajo remoto e introdujo nuevos controles y formas de trabajo para mantener la continuidad de las operaciones, sin arriesgar la salud de las personas. Adicionalmente, generó una mayor preocupación por apoyar a los proveedores y comunidades locales para enfrentar la crisis. La necesidad de impulsar lo antes posible la recuperación post crisis, ha generado un importante debate sobre cómo debería ser ésta. Algunos plantean si acaso la recuperación debe estar acompañada de inversiones que, junto con ayudar a recuperar el empleo, podrían aprovechar de acelerar la transformación productiva donde el uso del potencial de la tecnología digital, junto con el desarrollo de formas de producción, comercialización y consumo más inclusivos y sostenibles, permitan alinearse con la agenda del Acuerdo de París. Otros, prefieren primero recuperar la economía y el empleo según las formas de producción “tradicionales” existentes pre-COVID-19, y luego continuar con una agenda gradual de transformación.
- **Se abrirá el debate sobre cómo apoyar una recuperación que apunte a una economía más resiliente:** Probablemente se abrirá una discusión sobre el rol de la minería para impulsar la recuperación que vaya más allá de volver al estado de la economía previo a la pandemia. No se trata sólo de mantener operaciones y retomar las inversiones, también se debatiría sobre cómo aprovechar la recuperación para avanzar hacia una transformación productiva asociada a las nuevas tecnologías y exigencias por una mejor huella ambiental y social, y mayor inclusión y equidad. Existen recomendaciones de diversos organismos multilaterales, tales como el BID, el FMI y la OIT, que apuntan en esa dirección. Además se busca aunar los esfuerzos públicos y privados reconociendo las particularidades de cada territorio.

- **No es necesario reinventar la pólvora, muchas soluciones ya se conocen:** Existe un conjunto de políticas públicas y de esfuerzos colaborativos que son conocidos. Es clave que su diseño y ejecución sean adecuados y coordinados de forma tal que apoyen la transformación productiva e incluyan la adopción de tecnologías junto con promover el desarrollo sostenible de los territorios. Entre ellas se destacan las iniciativas pro-empleo y atracción de talento; las iniciativas para el impulso a las compras locales; las iniciativas de apoyo a la innovación local; y las iniciativas para impulsar la transformación productiva desde la minería.



Contexto

La actual revolución tecnológica está transformando aceleradamente la economía y todos los sectores productivos a nivel mundial. Aunque este proceso global es irreversible, y participar en él no es una opción ya que la competitividad y viabilidad de la industria dependen de ello, su impacto dependerá de cómo los países se preparen para poder aprovechar los beneficios que trae el cambio tecnológico y mitigar sus efectos negativos.

Debido a la profundidad de la transformación, un tránsito exitoso dependerá de un esfuerzo conjunto y coordinado entre la industria, el gobierno y la sociedad civil para avanzar hacia las nuevas formas de organización, producción y de trabajo que irán surgiendo, teniendo presente los factores sociales y políticos de cada país y territorio. Se trata de un cambio sistémico a nivel de toda la economía, consecuentemente, ningún actor por sí sólo será capaz de enfrentar exitosamente esta complejidad. En este contexto, adquieren especial relevancia las políticas públicas y los esfuerzos colaborativos de la industria que acompañen la transición hacia las nuevas formas de producción impulsadas por el cambio tecnológico y social.

Asimismo, mirar aisladamente cada tecnología y sus aplicaciones, impediría entender la complejidad de la transformación y, sobre todo, identificar las nuevas oportunidades que emergen. Evidentemente, algunas tecnologías como la automatización podrían generar una disminución en las oportunidades de cierto tipo de trabajo de naturaleza más rutinaria y repetitiva, o podrían llevar a menores niveles de compras locales. Pero otras tecnologías tales como la incorporación de energías renovables, podría impulsar nuevas inversiones y generar el efecto opuesto, creando empleo y compras a nivel local. Lo anterior obliga a mirar de manera integral esta transformación y, a partir de ello, definir un adecuado conjunto de políticas y esfuerzos colaborativos. Esto también incluye mirar más allá de las tecnologías que tradicionalmente se han identificado con la llamada Revolución Industrial 4.0², tales como la automatización, el aprendizaje de las máquinas y la analítica de datos, como también mirar la relación entre distintas industrias.

² La Revolución Industrial 4.0 se centra en gran medida en la interconexión, la automatización, el aprendizaje de las máquinas y la analítica de datos en tiempo real. Esta revolución ha hecho posible la conexión y acceso a información y conocimiento en tiempo real sobre procesos, productos y mercados. Lo anterior, está cambiando de manera fundamentalmente la forma en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos, impactando casi todas las industrias en todos los países. Fuente: Basado en WEF (2016) "The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond"; disponible en: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>

Las economías mineras en la Región Andina no están ajenas a este proceso. En particular, la gran minería en países como Chile, Perú, Ecuador y Colombia están adoptando, e incluso desarrollando, tecnologías asociadas a la actual Revolución Tecnológica para poder enfrentar los desafíos productivos, ambientales y de seguridad, de forma de mantener o fortalecer la posición competitiva necesaria para seguir operando.

Las nuevas tecnologías están cambiando las formas de producción y trabajo, proceso que se ha acentuado durante la crisis del COVID-19. Por ejemplo, se ha acelerado el trabajo remoto como una práctica habitual y se ha acentuado la vulnerabilidad a interrupciones en la cadena de abastecimiento, en especial en sus componentes importados. También las comunidades y regiones están manifestando su preocupación por el impacto en el empleo y en el nivel de compras locales que acompañaría el uso de las nuevas tecnologías.

En este contexto se desarrolla el proyecto “La Mina del Futuro para la Gran Minería en la Región Andina” que se desarrolla en el marco del proyecto internacional *New Tech, New Deal* (Nuevas tecnologías, un nuevo trato)³. El objetivo de este proyecto es identificar opciones de políticas públicas y esfuerzos colaborativos que acompañen el proceso de adopción y desarrollo de las nuevas tecnologías para obtener los mayores beneficios sociales de la revolución tecnológica en pleno despliegue.

Este proyecto recoge la visión de ejecutivos de la minería de Colombia, Ecuador, Perú y Chile, principalmente del sector privado y en menor medida funcionarios de gobierno, y hubo una mayor participación de expertos de la gran minería del cobre de Chile. El análisis se realizó a través de un conjunto de entrevistas semiestructuradas y cuatro talleres de trabajo para identificar impactos y presentar y validar hallazgos. Se sistematizó el juicio o percepción de este grupo de expertos sobre cómo se estaba desarrollando el cambio tecnológico y la adopción de nuevas tecnologías, y se identificaron políticas públicas y un conjunto de acciones colaborativas que apoyarían este proceso.

Debido a que el cambio tecnológico está impulsando una transformación que trasciende al sector minero, conocer su impacto y las posibilidades que ésta generaría, requiere adoptar una mirada que vaya más allá del sector minero.

Específicamente, este proyecto busca identificar:

A. Impactos en la minería: Los impactos que la inversión en nuevas tecnologías tiene en el desempeño de las compañías mineras tanto en términos de costos, como ambientales y de seguridad.

³ New Tech, New Deal es un proyecto internacional impulsado por el Foro Intergubernamental sobre Minería, Minerales, Metales y Desarrollo Sostenible (IGF) en asociación con el Centro para la Inversión Sostenible de Colombia (CCSI) y el Programa Valor Compartido en Minería. Además, el proyecto cuenta con el apoyo de la Cooperación Alemana, financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) e implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)

Se busca conocer la visión de expertos sobre el proceso de adopción de las tecnologías representativas de la actual revolución tecnológica en la gran minería del cobre de la Región Andina para mejorar su desempeño. Su correcta adopción es fundamental para la competitividad de la industria, de forma que se mantenga como un motor de crecimiento, lo que a su vez es requisito necesario para que la industria pueda generar beneficios sociales.

Se han definido dos grandes categorías de tecnologías a ser analizadas:

- i) Tecnologías distintivas de la Revolución Industrial 4.0, tales como la automatización, robótica y productos digitales; y
- ii) Tecnologías críticas para una minería sostenible, tales como las energías renovables, electromovilidad y soluciones circulares.

B. Impacto en empleo, compras locales, innovación y transformación

productiva: Los impactos que la inversión en nuevas tecnologías, tanto en las compañías mineras como en su cadena de abastecimiento, tiene en términos de empleo, compras y participación en la generación de soluciones (innovación) asociadas al cambio tecnológico. Además, se busca identificar las oportunidades que abre la inversión y adopción de nuevas tecnologías para impulsar la transformación del entorno productivo y social local más allá de la minería, las que pueden ser facilitadas por la escala de las inversiones del sector. Por ejemplo, si la minería está impulsando inversiones en electromovilidad, podrían aprovecharse esas inversiones para integrar esa tecnología en las ciudades y regiones mineras, generando empleo y actividad productiva nueva.

Se busca conocer la visión de expertos sobre el impacto de la adopción de las nuevas tecnologías generado por la acción conjunta de estas soluciones en comunidades, ciudades y zonas metropolitanas. Se reconoce que podría existir diferencias en los impactos de las distintas tecnologías: por ejemplo, mientras la automatización podría afectar el empleo local, la inversión en energías renovables podría ser un estímulo al mismo. La mirada de conjunto permite identificar mejor tanto las oportunidades, como las medidas de mitigación más efectivas.

C. Políticas y esfuerzos colaborativos: Conjunto de políticas y esfuerzos colectivos que promueva una adopción y desarrollo de las nuevas tecnologías para la creación de valor; no solo para la actividad productiva, sino que también para las comunidades y la sociedad, en términos más amplios.

Se busca conocer la visión de expertos sobre qué políticas y esfuerzos colectivos impulsarían un proceso de adopción tecnológica que fortalezca la competitividad del sector y estimule el desarrollo de los países, territorios y comunidades de la Región Andina. En este análisis se incluyen los impactos de la crisis del COVID-19 y de otros factores del entorno que afectan el proceso de transición asociado a la revolución tecnológica. La crisis del COVID-19 y la reactivación económica que le debería seguir, así como otros factores sociales y políticos del entorno, podrían generar riesgos, o bien acentuar las oportunidades para aprovechar los beneficios asociados al cambio tecnológico.

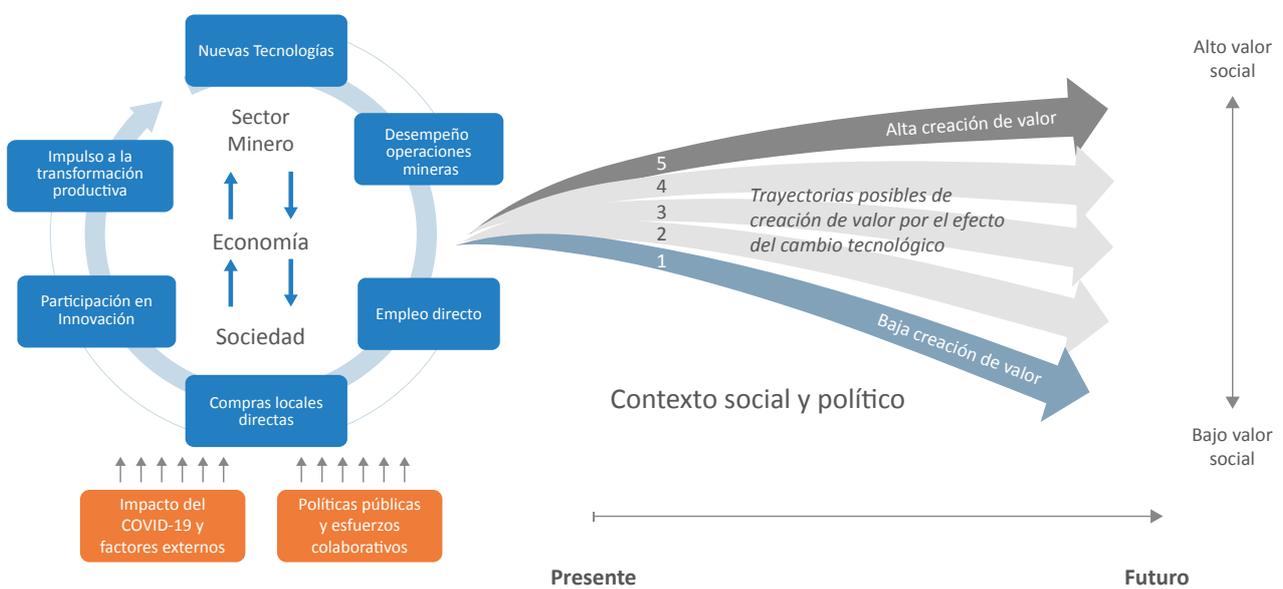


Por ejemplo, el uso de nuevas tecnologías podría requerir inversiones habilitantes de las mismas tanto en equipos e infraestructura, así como también en entrenamiento. Esto podría vincularse con medidas de reactivación de la economía que no sólo permitirían transitar hacia una mayor adopción de nuevas soluciones, sino que también podría ayudar a recuperar a las economías golpeadas por la pandemia.

El Esquema 1 resume el marco de análisis antes descrito, y que fue utilizado para el desarrollo de este proyecto.

Esquema 1. Marco de análisis del impacto del cambio tecnológico en la gran minería del cobre

Políticas y acciones colaborativas para impulsar un cambio tecnológico virtuoso



El análisis se realizó a través de un conjunto de entrevistas con representantes de la minería de Colombia, Ecuador, Perú y Chile. Además, se realizaron cuatro talleres de trabajo (ver Anexo 2) con entre 15 y 20 expertos representantes de la gran minería del cobre Ecuador, Perú y Chile (ver Anexo 3). A través de este análisis, se buscó sistematizar el juicio de expertos sobre cómo se está desarrollando el cambio tecnológico y la adopción de nuevas tecnologías en la industria del cobre de la región, e identificar las políticas públicas y el conjunto de acciones colaborativas que se recomiendan que sean impulsadas para una transición exitosa hacia un nuevo sistema productivo, tecnológico y socioambiental. Cada taller se fue construyendo sobre los aprendizajes del anterior.

Previo al ciclo de talleres, se realizaron más de 20 entrevistas semiestructuradas (ver Anexo 4) con expertos del sector minero de toda la Región Andina, para identificar un conjunto de tecnologías que fuera representativas de la actual revolución tecnológica, los factores que afectarían el proceso de adopción de las tecnologías y el impacto en los países, sus comunidades y en la licencia social para operar de la industria.

A continuación, se presentan los resultados de los cuatro talleres, y una propuesta para establecer una comunidad de prácticas a nivel de la Región Andina para profundizar y compartir conocimiento sobre los desafíos y oportunidades concretas relacionadas con la adopción de nuevas tecnologías, además de sugerir vías de acción.

Debido al tamaño del sector minero chileno y a que existe un mayor avance del proceso de adopción tecnológica, este trabajo contó con una mayor participación de expertos del sector minero de este país (50% de las entrevistas y 74 % de los asistentes a de los talleres). Adicionalmente, dado que la mayoría de los expertos en tecnologías mineras provienen de empresas, hubo una menor participación de actores representantes del gobierno o de alianzas público-privadas (17%). Sin embargo, para seguir profundizando en los hallazgos y definición de iniciativas de política pública, en futuros trabajos se debe procurar una participación más balanceada de los países mineros de la Región Andina, y también una mayor participación de expertos de los gobiernos y de la sociedad civil.

II.A. Tecnologías identificadas y su nivel de adopción

Uno de los propósitos de este trabajo, es avanzar en generar una mirada sistémica del cambio tecnológico, una visión integrada de sus impactos, de las oportunidades que pueden ser aprovechadas y de los efectos negativos que deben ser mitigados. En las entrevistas con expertos y en los talleres, se identificó la necesidad de contar con una aproximación que permita generar esta visión holística. Ello con el fin de identificar, por ejemplo, tanto las áreas de creación de empleo, como donde podría darse un eventual estancamiento o disminución de empleo. Al ser miradas en forma conjunta, se permite identificar efectos sinérgicos y medidas de mitigación “cruzadas”.



Hallazgo 1: Una transición exitosa se sustenta en una visión integrada del cambio tecnológico

Un análisis integrado del efecto conjunto de las soluciones que caracterizan la actual revolución tecnológica, permite identificar mejor las oportunidades y acciones para una transición exitosa en la que se concilia una agenda dual de crecimiento con prosperidad para las comunidades y el territorio.

Se han seleccionado seis áreas tecnológicas asociadas a la Revolución Industrial 4.0 y cuatro a las tecnologías para una minería sostenible, las cuales se presentan en la Tabla 1. Adicionalmente, para cada área tecnológica se listan un conjunto de soluciones distintivas asociadas. Ambos grupos de áreas tecnológicas no son excluyentes. Por ejemplo, las tecnologías digitales son necesarias o habilitantes de las tecnologías para mejorar el desempeño ambiental de la minería. Sin embargo, a pesar de este alto grado de interconexión, se estimó conveniente diferenciar los ámbitos tecnológicos, ya que permiten identificar de mejor forma las oportunidades que estaría generando el cambio tecnológico, tanto en términos de ganancia de productividad como de generación de oportunidades locales para un desarrollo más inclusivo. A futuro, se podrían identificar otros ámbitos tecnológicos que permitan enriquecer aún más esta mirada.

Las seis áreas asociadas a la Revolución Industrial 4.0 fueron recogidas del trabajo que lidera la Corporación Alta Ley⁴ para el desarrollo de las hojas de ruta tecnológicas para la gran minería del cobre, las cuales fueron validadas en entrevistas con expertos. Las cuatro áreas tecnológicas asociadas a Tecnologías para una Minería Sostenible, fueron identificadas a partir de las entrevistas con expertos y validadas en los talleres.

El Esquema 2 muestra los dos componentes de la revolución tecnológica actual y sus dos fuerzas traccionantes (digital y sostenibilidad), e ilustra la diversidad de tecnologías asociadas a esta revolución y la acción conjunta de ambas fuerzas para impulsar un crecimiento con equidad

Esquema 2. Una mirada de conjunto para una transición exitosa



⁴ Corporación Alta Ley es una institución público-privada representativa del sector minero de Chile, cuyo propósito es impulsar el desarrollo del ecosistema minero y una industria de bienes y servicios intensivos en conocimiento. Su rol es articular y coordinar iniciativas, programas y proyectos colaborativos a partir de la definición de hojas de rutas tecnológicas orientadas a abordar los desafíos relevantes de la minería a través del desarrollo de innovaciones, transferencia de tecnologías, desarrollo de bienes públicos y trabajo colaborativo.

Tabla 1. Áreas tecnológicas de la Revolución Industrial 4.0 y de las soluciones para una minería sostenible

Áreas tecnológicas de la Revolución Industrial 4.0 ⁵	Áreas tecnológicas para una minería sostenible
<p>1. Infraestructura digital</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Conectividad (GPS, WiFi / 5G / 4G) ▪ Sistemas y Sensores (IoT, RFID, +) ▪ Cloud Computing y Data Lakes ▪ Arquitectura IT ▪ Equipos Autónomos (OT / IoT / IIoT) ▪ Equipos Inmersivos (VR / AR / MR, +) <p>2. Ciberseguridad</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Seguridad IT / IS ▪ Seguridad OT / IoT / IIoT ▪ Seguridad en Supply Chain ▪ Seguridad en Ecosistema <p>3. Integración de ecosistemas</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Interoperabilidad de tecnologías y sistemas ▪ Estándares de interoperabilidad ▪ Legacy Systems ▪ Capas de Conexión (API, SOA, BUS, +) ▪ Ciberseguridad ▪ CIO Remoto ▪ Convergencia IT/OT <p>4. Gestión de data</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Business Intelligence ▪ Data Analytics ▪ Statistics, AI: Machine / Deep Learning ▪ Blockchain, Big Data, Digital Twins, + ▪ Data Governance ▪ Data Visualization and Presentation <p>5. Automatización y autonomización</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipos Autónomos (drones, vehículos, +) ▪ OT / IoT / IIoT ▪ Robótica y fabricación aditiva ▪ Protocolos y estándares ▪ Desarrollo de sistemas y procesos ▪ Gestión del cambio <p>6. Experiencias inmersivas</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ VR / AR / MR & Wearables ▪ Gamification ▪ Digital Twins ▪ Protocolos y estándares ▪ Desarrollo de sistemas y procesos ▪ Gestión del Cambio 	<p>1. Energías renovables y limpias</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hidrógeno verde ▪ Energía Solar - Fotovoltaica ▪ Energía Solar - Térmica ▪ Geotermia de baja entalpía ▪ Bombas de calor ▪ Energía Eólica ▪ Hidroelectricidad <p>2. Electromovilidad</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ CAEX Híbridos ▪ CAEX Eléctricos ▪ CAEX con cogeneración ▪ Trolleys ▪ Palas ▪ Buses y camionetas <p>3. Soluciones basadas en la naturaleza y gestión de recursos hídricos</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Restauración de ecosistemas ▪ Protección de ecosistemas (Ej. Turberas) ▪ Captura de carbono (Plantaciones, conservación) ▪ Manejo integrado de cuencas ▪ Desaladoras ▪ Planes de cierre <p>4. Soluciones de economía circulares</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Recuperación de elementos de valor en relaves y desecho ▪ Procesamiento de chatarra ▪ Reciclado de neumáticos ▪ Lixiviación de sulfuros ▪ Gestión de escoriales

⁵ La identificación de las áreas tecnológicas asociadas a la Revolución Industrial 4.0 fue provista por la Corporación Alta Ley y fue generada a partir de la “Hoja de Ruta: Digitalización para una Minería 4.0”, una iniciativa impulsada por Consejo Minero, Fundación Chile y Corporación Alta Ley.

Hallazgo 2: Establecer visiones holísticas, un desafío pendiente

A pesar de que se reconoce que un análisis integrado del conjunto de tecnologías que definen el cambio tecnológico genera mayores oportunidades para una transición exitosa, avanzar en ello es un desafío aún pendiente. Tanto las estrategias empresariales como las políticas públicas suelen realizar análisis parciales.

El proceso de adopción tecnológico abarca tanto la capacidad para poder utilizar una nueva tecnología y obtener mejoras de productividad, como la capacidad para participar en el cambio tecnológico mismo. Desarrollar esas capacidades requiere de esfuerzos sostenidos e integrales acompañados de una acción coordinada entre el sector privado y el sector público. Lo anterior se logra en la medida que la adopción tecnológica sea un elemento presente en las estrategias de las empresas, y que existan políticas públicas coherentes que faciliten e impulsen su adopción e incluyan acciones para mitigar eventuales impactos negativos.

En las entrevistas y talleres surgió que, si bien existen estrategias y políticas para aprovechar el cambio tecnológico, éstas no suelen tener una visión que integre tanto las tecnologías asociadas a la Revolución Industrial 4.0 como aquellas asociadas a una minería más sostenible. Además, existen bajos niveles de coordinación entre las políticas y estrategias, lo que genera importantes espacios para avanzar en el desarrollo de procesos de acción colectiva y colaborativa.

Específicamente, se percibe un mayor avance para integrar la Revolución Tecnológica 4.0 en las estrategias de las empresas y en las preocupaciones de la política pública en relación con los impactos en empleo, que en aquellas para la adopción de las tecnologías para fortalecer la sostenibilidad ambiental de la industria.

Hallazgo 3: La revolución industrial está en pleno despliegue, los impactos están aún por venir

Un proceso de adopción tecnológico exitoso se desarrolla en etapas y la plena adopción de las tecnologías requiere un entorno habilitante. Se necesita una agenda de largo plazo, consensuar una hoja de ruta y un sistema de gobernanza que dé estabilidad a este desarrollo por etapas. Los ciclos de inversión de nuevos proyectos generan oportunidades únicas para generar las condiciones y dar saltos en la adopción de las nuevas soluciones, como fuente de crecimiento y prosperidad.

Si las tecnologías no son adoptadas de manera exitosa, no generarán las mejoras de productividad ni del desempeño que necesita la industria para ser competitiva y, por consiguiente, tampoco el potencial de desarrollo en torno a la minería bajo el nuevo paradigma tecnológico, productivo y social deseado. Es un desafío dual y mutuamente dependiente.

La adopción de una nueva solución requiere desarrollar un entorno y una serie de capacidades habilitantes que son necesarias para que ésta pueda generar las ganancias de productividad y prosperidad. En particular, en el caso de las tecnologías asociadas a la Revolución Industrial 4.0, la Tabla 1 muestra el desarrollo de un ecosistema compuesto por diversas áreas tecnológicas (Infraestructura digital, Ciberseguridad, Integración de ecosistemas, Gestión de data, Automatización y autonomización y Experiencias inmersivas).

Se estima que la adopción de tecnologías asociadas a la Revolución Industrial 4.0 ya está en marcha en la gran minería del cobre de Chile y de Perú. Existen importantes avances en términos de infraestructura digital. Sin embargo, la adopción está a medio camino en términos de ciberseguridad, gestión de data, automatización y autonomización. Las áreas con más rezago son la integración de ecosistemas y el desarrollo de experiencias inmersivas. Este desarrollo a distintos niveles según área tecnológica es algo esperable y se proyecta que en los próximos 5 a 7 años las áreas tecnológicas estén más maduras, lo que llevaría a mejoras de productividad, las que hoy aún no son significativas.

En el caso de Colombia y Ecuador el proceso tiene menos desarrollo, y aunque son países que están recién desarrollando sus inversiones en minería del cobre a gran escala, no es claro que se esté aprovechando la posibilidad de hacer una adopción de las tecnologías nuevas desde un inicio; en particular, se podría explicar en la falta de elementos habilitantes tales como capital humano o infraestructura digital. Por ejemplo, en el caso de Quebradona, la primera operación minera de cobre de gran escala en Colombia, muchas de las tecnologías están incorporadas en el diseño del proyecto. En Ecuador, en cambio, esto es aún incierto.

Los ciclos de inversión abren oportunidades únicas de avance en los procesos de adopción tecnológico, incluyendo la posibilidad de participar en el proceso de cambio tecnológico mismo asociado al desarrollo de nuevas soluciones o innovaciones. No se identificaron políticas que estuviesen activamente aprovechando esta ventana de oportunidad.

Hallazgo 4: Nichos tecnológicos como oportunidad

Existen nichos tecnológicos que abren importantes oportunidades de empleo, compras locales e innovación, y podrían ser la base para impulsar una agenda de acción colectiva de alto valor. Para lograrlo se requiere coordinar esfuerzos de un número acotado de actores.



Existen pocas empresas operadoras de la gran minería del cobre de la Región Andina y, a su vez, existen nichos tecnológicos que representan importantes oportunidades de desarrollo, debido a la escala que tienen tanto a nivel nacional como regional. Por ejemplo, la flota de camiones CAEX de la gran minería del cobre de la región debe ser una de las más grandes del planeta, estimándose que existen sobre 3.500 unidades en toda la región. Esto permite definir políticas y programas de trabajo colaborativos para transitar desde flotas diésel hacia flotas electromóviles.

Se identificaron varios nichos con estas características y que a su vez cuentan con capacidades locales como para poder desarrollar una agenda, estrategias y políticas, incluyendo una visión regional. Así, además de las oportunidades que existen en torno a la flota de camiones CAEX, se identificaron las siguientes áreas:

- **Desarrollo de energías renovables tales como energía solar (térmica y FV), energía eólica, hidrógeno verde y energía geotérmica:** La demanda del sector minero junto al acelerado desarrollo tecnológico de las energías renovables, y un marco regulatorio que impulsa la inversión en este sector, ha ayudado a acelerar el desarrollo de un sistema energético de bajas emisiones.
- **Transición hacia flotas electromóviles de palas, buses, camionetas y trolleys:** La minería necesita disminuir las emisiones de sus flotas de vehículos y otros equipos móviles que usan combustibles fósiles (emisiones de Alcance 1) para avanzar hacia una minería verde. Una estrategia integral que incorpore la adopción de soluciones electromóviles, no solo puede disminuir los niveles de emisión, sino que también es costo-efectiva y puede ayudar a una transformación de los sistemas de transporte más allá de la minería.
- **Desarrollo de sistemas de desalación y abastecimiento de agua integrados:** La necesidad de avanzar hacia sistemas que permitan tener un manejo sostenible de cuencas lleva a plantearse la conveniencia de un enfoque integrado de las distintas fuentes y usuarios de agua. Esto comprende, desalación, uso de agua fresca o continental y recuperación. Esto no solo generaría un menor impacto ambiental, también puede llevar a una importante disminución en los requerimientos de inversión debido a que son desarrollos de infraestructura compartida.
- **Desarrollo de soluciones para el manejo integrado de cuencas y la remediación de ecosistemas:** Junto con impulsar una gestión integrada de los recursos hídricos disponibles en cada cuenca, también existe una creciente presión por remediar y recuperar ecosistemas de alto valor asociadas a éstas. Por ejemplo, el proyecto Quebradona en Colombia está impulsando el desarrollo de un parque biodinámico junto con la construcción de un tranque de relaves, que permitiría recuperar y proteger la biodiversidad del ecosistema donde se emplazará el proyecto.

- **Desarrollo de soluciones basadas en economía circular para la gestión de tranques de relaves y planes de cierre:** Los minerales retenidos en relaves y otros depósitos de residuos minerales, abren la posibilidad de impulsar el desarrollo de una minería secundaria para transformar estos pasivos en activos a través de proceso de extracción de elementos de valor (minerales) retenidos en estos depósitos.
- **Desarrollo de sistemas integrados de reciclaje de neumáticos y recuperación de chatarra:** Las exigencias y normativas de Responsabilidad Extendida al Productor (REP) están impulsando el desarrollo de un mercado de reciclaje que podrían ser fuentes de empleo e inversión. Los neumáticos usados y la recuperación de la chatarra aparecen como una de las primeras oportunidades para impulsar el reciclado.

Cada uno de estos nichos aparecen como espacios de oportunidad de gran interés que deben ser analizados en profundidad para entender el potencial valor asociado a cada uno de ellos y los esfuerzos que deben ser desplegados para su creación y que se acompañe de un proceso inclusivo de prosperidad para las comunidades y el territorio.

II.B. Impactos del cambio y de la adopción tecnológica



A través del juicio experto de los participantes en las entrevistas semiestructuradas y en los talleres, se analizó el impacto del cambio tecnológico en relación con las siguientes variables: (i) Empleo; (ii) compras locales; (iii) participación nacional o local en los procesos de innovación; y (iv) aprovechamiento de la escala de la minería para impulsar la transformación productiva de la economía en términos más amplios. Este análisis abordó tanto el impacto asociado a áreas tecnológicas específicas, como el efecto conjunto de todas las tecnologías.

Adicionalmente, se analizaron estos impactos para distintas unidades territoriales o demográficas. Específicamente, se evaluaron los impactos en las siguientes unidades demográficas: (i) Comunidades locales pequeñas, próximas a las operaciones; (ii) ciudades localizadas en regiones o territorios mineros; y (iii) áreas metropolitanas que usualmente corresponde a las capitales de los países de la Región Andina. Un último factor que se incluyó en este análisis fue identificar los posibles cambios en los impactos en escenarios con o sin políticas públicas, y de trabajo colaborativo entre empresas y el gobierno.

Hallazgo 5: No existen soluciones únicas

Diferentes unidades territoriales o demográficas (comunidad, ciudad y área metropolitana) serían impactadas de forma distinta producto del cambio tecnológico. Ello implica que no existe una solución única y se requerirán políticas públicas y acciones colectivas diferenciadas para los distintos contextos.

Empleo: Sin políticas o esfuerzos colaborativos, las comunidades locales serían las más impactadas en términos de empleo. En general se percibe que habría una leve caída en el empleo y que ésta podría ser absorbida por otros sectores como por ejemplo el sector agrícola, según el grado de dependencia relativa de la minería y la capacidad de absorción de la agricultura. Evidentemente, la efectividad de la absorción de empleo en el agro dependerá de cómo este sector está siendo impactado por el cambio tecnológico. En Ecuador, este impacto se vería mayormente mitigado y en el caso chileno, en particular en las comunidades de las regiones mineras del norte del país, se percibe que podría existir un mayor impacto en empleo.

En el caso de las ciudades y áreas metropolitanas el efecto en el empleo sería neutral o podría ser compensado por el desarrollo de otras actividades productivas. Aunque es importante volver a resaltar que cada contexto es distinto y, por lo mismo, se percibe una amplia dispersión en los resultados según el nivel de dependencia o integración que existe con la minería, en particular en las ciudades con vocación minera.

Compras locales: La situación sin políticas o esfuerzos colaborativos es similar a los que se percibe con el empleo. Es decir, las comunidades locales serían las más impactadas. En general se percibe que habría una leve caída en el nivel de compras locales que podría ser absorbida por otros sectores, lo cual dependerá del grado de dependencia que exista de la minería. En el caso de las ciudades y áreas metropolitanas, el efecto en las compras locales sería neutral o podría ser compensado por el desarrollo de otras actividades productivas. Nuevamente hay que destacar que cada contexto es distinto.

Participación local en el proceso de innovación: No se perciben grandes cambios en términos de los niveles históricos de participación en los procesos de innovación en un escenario en que exista ausencia de políticas o esfuerzos colaborativos a nivel de todas las unidades territoriales o demográficas. Probablemente, en el caso de las comunidades locales la situación actual ya es de una baja participación y debido a eso no se percibe mayor impacto. Sin embargo, si existen políticas y esfuerzos colectivos, se percibe que habría un aumento en la participación en todas las unidades territoriales.

Impulso a la transformación productiva: Frente al escenario de la ausencia de políticas o acciones colectivas, aparece un impacto leve. Es decir, la minería debido a su escala podría estar generando transformaciones productivas que van más allá del sector, por ejemplo, con el desarrollo de servicios de mantenimiento, los cuales podrían atender a otras industrias. Con el cambio tecnológico, este proceso de transformación podría debilitarse.

La minería ha tenido un mayor impacto histórico en términos de transformación productiva, en las ciudades y áreas metropolitanas, pudiendo ser parte de un proceso de desarrollo de un clúster minero integrado a cadenas globales. Sin embargo, aquí se presenta una mayor dispersión de los potenciales impacto del cambio tecnológico. Esto sugiere que existen escenarios extremos, el cambio tecnológico podría consolidar el desarrollo de un clúster minero avanzado o podría generar un deterioro de los encadenamientos. Esto es un llamado a que las políticas y la acción colectiva sean proactivas para evitar el escenario menos favorable.

Hallazgo 6: Políticas públicas y la acción colectiva son claves y conllevan a mayores beneficios

La política pública y la acción colectiva tiene el potencial de generar impactos relevantes, que efectivamente hagan una diferencia para transformar los desafíos en oportunidades. Se percibe que esta es un área de trabajo pendiente, lo que abre oportunidades únicas para crear valor de forma sostenible e inclusiva, y avanzar en una transformación productiva para una inserción en la economía del siglo XXI impulsada por la minería. Los tomadores de decisiones son un grupo reducido. Una agenda coordinada requiere voluntad, liderazgo y capacidad de planificación.

Bajo un escenario con políticas y acción colectiva se perciben mejoras relevantes en prácticamente todos los impactos descritos en el Hallazgo 5 para todas las unidades territoriales o demográficas, en el empleo, compras locales, innovación y transformación productiva. En otras palabras, según el juicio de los expertos que participaron en esta investigación, la minería puede proveer una plataforma de desarrollo para la Región Andina con una mirada de futuro.

Sin embargo, aún no se percibe un trabajo coherente de acción colectiva. Se requiere un esfuerzo colectivo tanto entre las grandes compañías mineras y grandes proveedores internacionales que operan en la región, como con el Estado, el cual debe actuar como articulador de acuerdos y generador de políticas habilitantes que conduzcan este proceso, incluyendo la participación ordenada de las comunidades y territorios. Por ejemplo, la mayoría de las compañías tienen planes de apoyo al desarrollo de los territorios, pero no realizan un esfuerzo colectivo y coordinado entre ellas ni con el Estado. Dada la concentración que existe en la gran minería del cobre, sería posible impulsar una agenda única y coordinada, basada en una visión compartida de largo plazo, que incluya un esfuerzo colaborativo entre empresas, gobiernos y territorios.



Hallazgo 7: COVID-19 como catalizador

El COVID-19 aceleró la adopción en algunas tecnológicas, generando condiciones para impulsar una transición en dos etapas. Primero, enfrentar la urgencia de la crisis, para luego impulsar una recuperación bajo formas productivas que hayan adoptado el cambio tecnológico y la integración de comunidades, territorios y de las economías de la región. Aunque la adopción tecnológicas se ha dado principalmente en áreas vinculadas a la revolución digital (por ejemplo: trabajo remoto), esta experiencia muestra un camino a ser replicado para impulsar una transformación productiva con una visión más amplia que incluya el desafío de una mayor integración con comunidades y el territorio.

La crisis sanitaria del COVID-19 aceleró la adopción de algunas prácticas de trabajo remoto e introdujo nuevos controles y formas de trabajo para mantener la continuidad de las operaciones sin arriesgar la salud de personas. También generó mayor preocupación sobre las interrupciones en las cadenas de suministros que podría afectar la continuidad de operaciones, y en algunos países generó suspensiones tanto en las operaciones como en el desarrollo de los proyectos de inversión. Adicionalmente, hubo una mayor preocupación por apoyar a los proveedores y comunidades locales para enfrentar la crisis.

La necesidad de impulsar la recuperación post crisis está generando un importante debate sobre cómo debería ser y cuál será el rol de la minería. Probablemente se abrirá una discusión sobre las políticas que se necesitan para impulsar la recuperación, el tipo de inversiones y apoyos que se deben impulsar para recuperar el empleo y, de ser posible, aprovechar de acelerar la transformación productiva asociada a las nuevas tecnologías y exigencias de menores emisiones y huella ambiental y social, en línea con la recomendación de los diversos organismos multilaterales. La acción público-privada coordinada, y que reconozca las particularidades de cada territorio, surge nuevamente como una necesidad imperiosa.

Las Tablas 2A, 2B, 2C y 2D que se presentan a continuación muestran los impactos que el grupo de expertos proyectan asociados al cambio tecnológico en el empleo, compras locales, innovación y transformación y las diferencias asociadas a los escenarios con o sin política pública y esfuerzos colaborativos.

Tabla 2A. Impacto en empleo directo e indirecto producto del cambio tecnológico en comunidades, ciudades y áreas metropolitanas

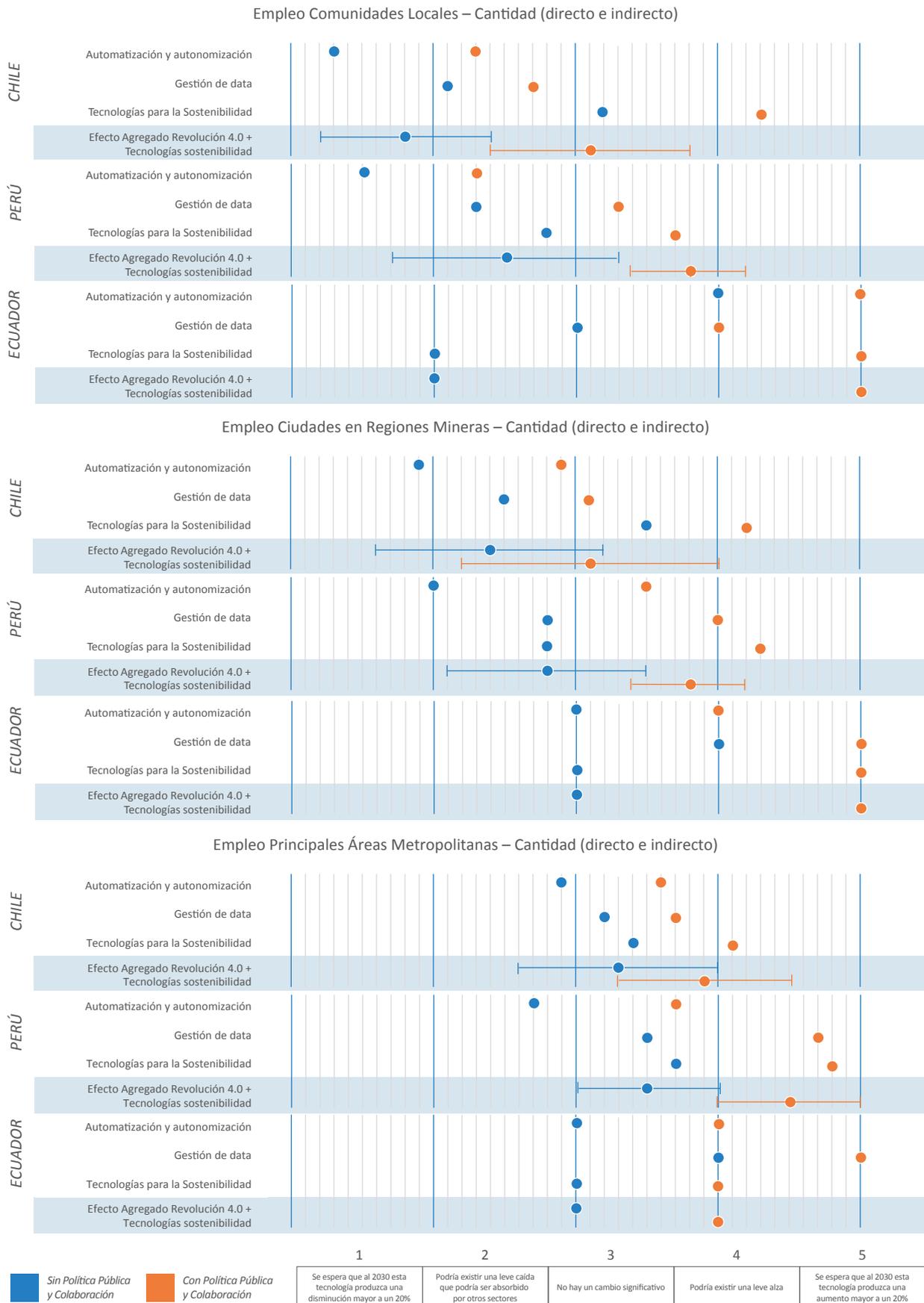


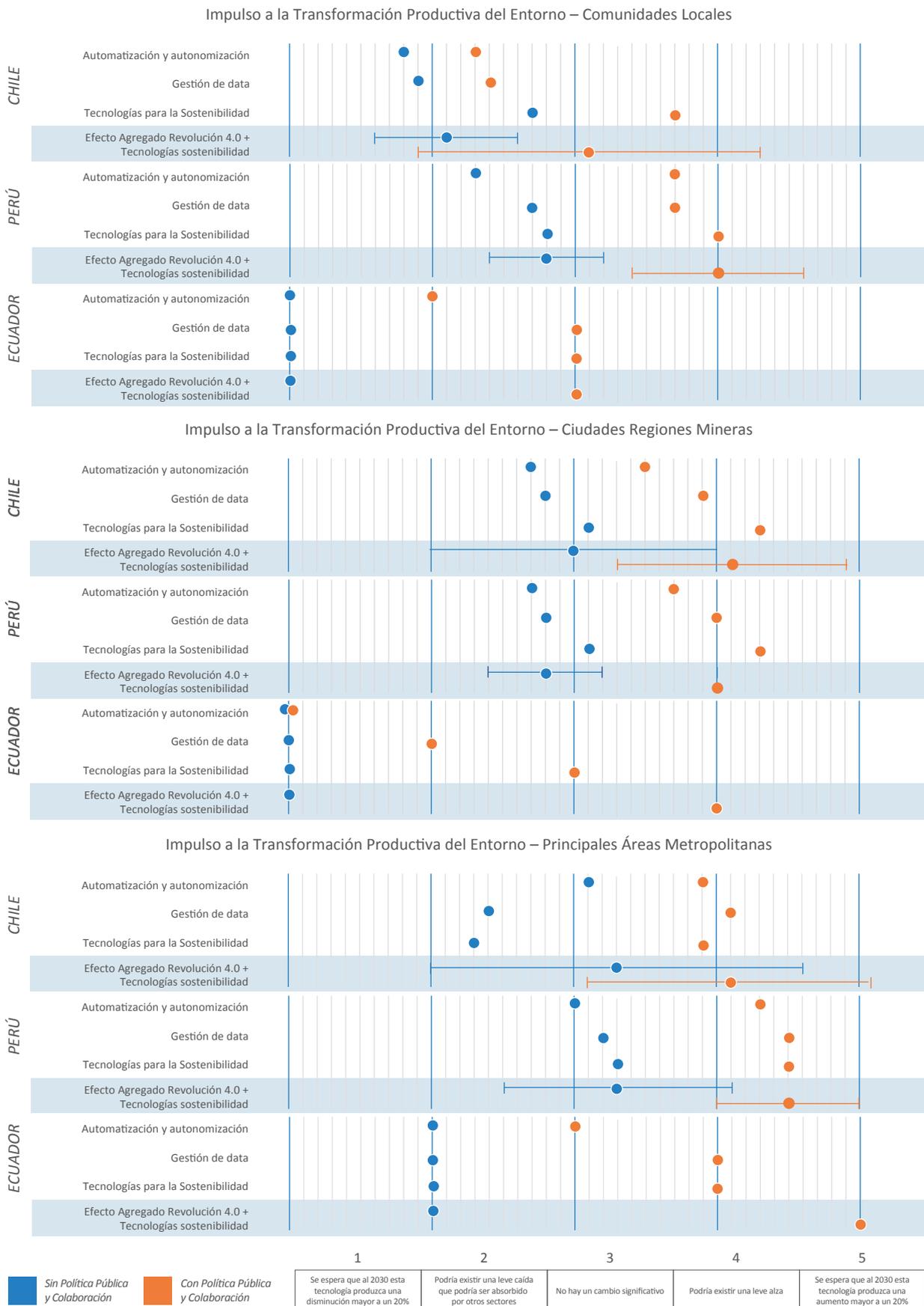
Tabla 2B. Impacto en compras locales producto del cambio tecnológico en comunidades, ciudades y áreas metropolitanas



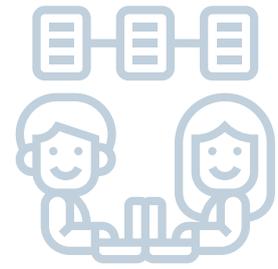
Tabla 2C. Impacto en el desarrollo de innovaciones a nivel local producto del cambio tecnológico en comunidades, ciudades y áreas metropolitanas



Tabla 2D. Impacto en la transformación productiva del entorno producto de cambio tecnológico en comunidades, ciudades y áreas metropolitanas



II.C. Políticas públicas y esfuerzos colaborativos



El tercer taller tuvo como foco la identificación de políticas públicas y acciones colaborativas que pueden ayudar a que la adopción de nuevas tecnologías se realice con éxito en términos del desempeño económico, social y ambiental. Se identificaron políticas de apoyo en los siguientes ámbitos: (i) Empleo; (ii) compras locales; (iii) participación nacional o local en los procesos de innovación; y (iv) aprovechamiento de la escala de la minería para impulsar la transformación productiva de la economía en términos más amplios.

Hallazgo 8: No es necesario reinventar la pólvora, muchas soluciones ya se conocen

Existen diversas áreas de políticas públicas y esfuerzos colaborativos que ayudarían al proceso de adopción de nuevas tecnologías, facilitando el aprovechamiento de los potenciales beneficios del cambio tecnológico o mitigando los efectos negativos. Aunque varias de las iniciativas son conocidas, son difíciles de implementar debido a brechas o barreras tales como: (i) Falta de información de calidad, o el acceso a ella; (ii) Bajas capacidades, especialmente de coordinación, planificación y articulación público-privadas para impulsar un esfuerzo coordinado; (iii) Bajo interés por trabajar colaborativamente, lo que lleva a agendas o esfuerzos fragmentados o aislados; (iv) Falta de confianza para desarrollar relaciones recíprocas y de beneficio mutuo; y (v) Falta de liderazgos para impulsar una transformación productiva inclusiva.

A continuación, se presentan áreas de políticas públicas y esfuerzos colaborativos identificados:

1. Sistemas de información sobre necesidades de la industria (conocer la demanda): Sistemas de información de calidad, actualizados y de fácil acceso para conocer las necesidades y proyectar las demandas del sector minero en términos de empleo, compras y desafíos que necesitan soluciones innovadoras. Estos sistemas requieren estándares que faciliten codificar la información, poner estadísticas agregadas y organizar la información.

Algunos ejemplos de lo anterior son los siguientes:

- a. Desarrollo de perfiles de competencias laborales estandarizados y certificables, que sean reconocidos por el sector minero (compañías mineras y sus proveedores), que estén disponibles como bien público, ayudando a proyectar la demanda por empleo y alinear los esfuerzos de entrenamiento y educación.

- b. Proyecciones de demandas de compras, incluyendo requisitos técnicos y volúmenes. Estos sistemas deben abordar tanto la demanda de los proyectos de inversión como de las operaciones.

2. Fortalecimiento de las capacidades locales necesarias para abordar los desafíos (fortalecer la oferta): Programas de fortalecimiento de capacidades locales, en términos de formación de personas y desarrollo de las capacidades de las empresas, los gobiernos nacionales y locales y su entorno, incluyendo capacidades de innovación y desarrollo de bienes públicos. Los sistemas de información descritos más arriba son fundamentales para diseñar esfuerzos que se ajusten a los requerimientos reales de la demanda tanto en cantidad, como en términos de las competencias técnicas.

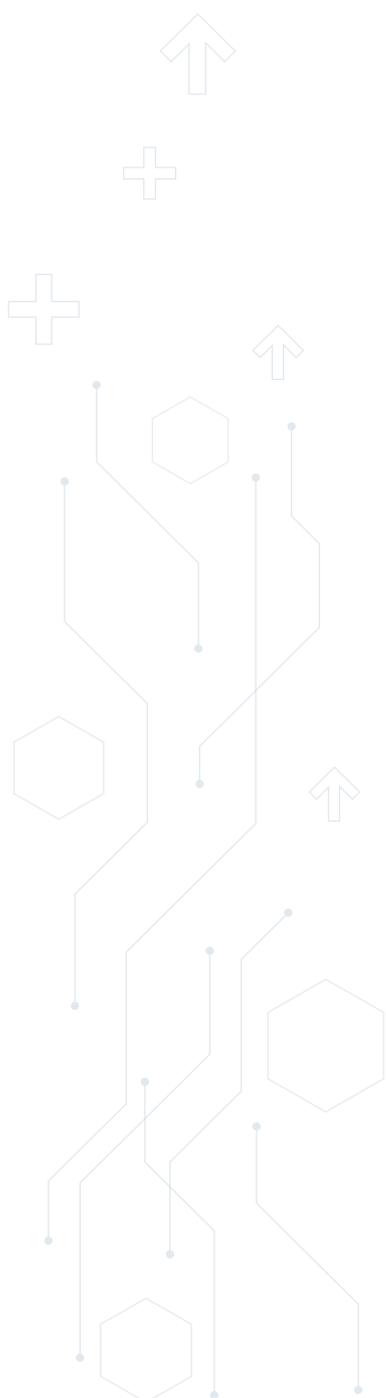
Algunos ejemplos de lo anterior son los siguientes:

- a. Fortalecimiento y desarrollo de centros de capacitación técnica en los territorios para promover el empleo local. Estos programas de fortalecimiento y desarrollo deberían diseñarse de acuerdo con las características de la demanda.
- b. Diseño del currículo de las carreras universitarias y programas de formación de capital humano avanzado, de forma que respondan a las necesidades de conocimiento y capital humano avanzado que se necesitará para dar solución a los problemas y desafíos que debe enfrentar la minería.

3. Articulación para conectar las capacidades locales con las necesidades de la industria (conectar oferta y demanda): Esfuerzos para abordar las brechas de coordinación, asimetrías de información y falta de procedimientos simples que dificultan la adecuada conexión entre oferta local y nacional y la demanda del sector minero en términos de empleo, compras y desafíos que necesitan soluciones innovadoras. Estas brechas impiden un adecuado diseño de las actividades de fortalecimiento de capacidades para que sean coherentes con las necesidades presentes y futuras de la industria y los territorios.

Algunos ejemplos de lo anterior son los siguientes:

- a. Sistemas de compras locales simplificados para empresas locales que incluyan a las mineras y grandes proveedores, y que cuenten con garantías estatales para acceso al crédito a costos competitivos.
- b. Plataforma de innovación abierta que abra a los actores locales y nacionales la posibilidad de participar en el desarrollo de soluciones a los desafíos de las operaciones mineras y grandes proveedores.
- c. Desarrollo de Hojas de Rutas Tecnológicas en torno a desafíos estratégicos (Ejemplo: Minería sin relaves). El desarrollo de estas Hojas de Ruta puede ser abordado como un esfuerzo a nivel de toda la Región Andina, y así aprovechar economías de escala. Se pueden definir áreas de especialización por país e incluir alianzas tecnológicas internacionales.



- d. Fondo mixto concursable para resolver desafíos de la industria (Ejemplos: Sistema de monitoreo en línea del estado de acuíferos por cuenca; y soluciones de economía circular para disminuir los residuos de la minería). El fondo debe incluir toda la cadena de conocimiento, hasta el escalamiento industrial y comercialización para poder cerrar efectivamente el ciclo de innovación.
- e. Desarrollo de contratos minera-proveedor y proveedor-proveedor para el desarrollo de I+D+i, que incluya una visión completa del proceso de innovación y el escalamiento de las soluciones, y que pueda servir para atraer inversionistas interesados en apoyar innovaciones.
- f. Desarrollo de espacios de prueba, pilotaje y escalamiento industrial para el desarrollo de innovaciones, sin exponer a riesgo la continuidad operacional de las faenas mineras.

4. Exigencias e incentivos para una mayor participación local, territorial y nacional, y atracción de inversiones: Exigencias e incentivos para impulsar una mayor participación, inclusión y uso de las capacidades locales y nacionales para atender demandas de empleo, proveer productos y servicios, y desarrollar innovaciones para el sector, para integrarse efectivamente a un proceso sostenible de creación de valor en torno a la minería. Adicionalmente, la transformación productiva impulsada por el cambio tecnológico y las nuevas demandas sociales y de los mercados, requerirán de importantes inversiones y la región debe mostrar que su minería, incluyendo a los encadenamientos, es una gran oportunidad para esto. Las exigencias e incentivos también juegan un rol en atraer las inversiones que la región necesita.

Algunos ejemplos de lo anterior son los siguientes:

- a. Incentivos tributarios para apoyar la inversión en entrenamiento, educación y formación de capital humano.
- b. Incentivos tributarios que impulsen las compras locales, incluyendo desarrollo de contenido local y desarrollo de proveedores locales.
- c. Incentivos tributarios para incrementar el esfuerzo en I+D+i relacionado a problemas estratégicos.
- d. Incentivos tributarios para apoyar el desarrollo de infraestructura pública de alto valor para los territorios (Ejemplo: Programa Obras por Impuestos en Perú).
- e. Definición de cuotas sobre contratación y compras locales acompañada con fortalecimiento de productividad y competitividad para evitar prácticas rentistas pasivas.



- f. Sistemas de financiamiento mixto desde capital semilla hasta el escalamiento industrial y la comercialización.
- g. Programas de desarrollo de infraestructura de telecomunicaciones para tener acceso a internet de alta velocidad en todos los territorios y localidades que viabilice estudiar y trabajar de forma remota.
- h. Regulación para establecer estándares abiertos de interoperabilidad, para evitar sistemas cerrados que bloquen la participación de actores locales.
- i. Posicionar a la región como polo productor de cobre verde, trazable y que sea una fuente de soluciones bajas de carbono.

5. Planes colectivos de desarrollo integral: Esfuerzos para el desarrollo de visiones comunes que ayuden a definir una agenda de trabajo colectivo de largo plazo en alianza con el gobierno, las empresas, las comunidades y los trabajadores para abordar desafíos estratégicos para el territorio y los países.

Algunos ejemplos de lo anterior son los siguientes:

- a. Plan maestro integrado de transformación productiva y desarrollo territorial que oriente y busque sinergias entre la inversión pública, la inversión productiva y la inversión social de las empresas, y que reconozca las vocaciones territoriales específicas, más allá de la minería.
- b. Plan de desarrollo local en términos de calidad de vida en distritos mineros que incluya salud, educación, recreación, además del desarrollo productivo. Parte del desarrollo productivo, puede ser impulsado para fortalecer a proveedores locales de escala intermedia, para toda la industria. Además, se puede apoyar el desarrollo de otras actividades según las vocaciones productivas de cada territorio, más allá de la minería (Ejemplo: ganadería, agroindustria, turismo) que ayudan a la diversificación.
- c. Desarrollo de centros regionales de excelencia en torno a nichos que tienen escala y requieren capacidades avanzadas para impulsar el desarrollo de productos y servicios exportables (Ejemplo: Centros de Economía Circular)
- d. Impulsar un plan para la transición energética como herramienta de reactivación.

III. Recomendaciones y una agenda para la adopción de las nuevas tecnologías en la gran minería de la región como una oportunidad



El proceso de adopción tecnológica avanza aceleradamente, y la pandemia del COVID-19 lo ha acelerado aún más. Simultáneamente, también ha hecho visible la importancia de que la adopción de tecnologías considere las variables sociales y políticas y, particularmente, las demandas de los territorios.

En este contexto, la Región Andina y su minería enfrentan una encrucijada. Por un lado, existe una oportunidad de impulsar un proceso de desarrollo que la proyecta hacia el futuro y, por el otro, existe un escenario de conflicto y tensiones.

En este contexto y a partir de los hallazgos de esta investigación, se proponen los siguientes elementos a tener presente en la definición de una agenda para impulsar la adopción de las nuevas tecnologías en la minería de la Región Andina como una oportunidad:

I. Una visión holista para una minería tecnológica, inclusiva y verde:

Avanzar en el desarrollo de una visión holística del impacto generado por el conjunto de las tecnologías que están cambiando la economía y al sector minero de la región para liderar el tránsito hacia una minería tecnológica, inclusiva y verde, abordando el desafío dual de impulsar un crecimiento sostenible y con mayor equidad. Un esfuerzo con una visión integral abre mayores opciones para compensar los eventuales impactos negativos de la automatización, a la vez que permite abordar los desafíos de productividad y de desempeño socioambiental.

Por ejemplo, la digitalización es fuente de productividad y las tecnologías sostenibles tales como las energías renovables, la electromovilidad, las soluciones basadas en la naturaleza y las soluciones de economía circular abren espacios complementarios generadoras de empleo, compras e innovación locales. Por ejemplo, programas gubernamentales que impulsen en cada territorio el desarrollo de inversiones y capacitación en energías renovables para disminuir las emisiones de la minería, junto con un mejoramiento de internet e infraestructura de telecomunicaciones facilitarían que los nuevos trabajos asociados tanto a una mayor digitalización, como a energías más limpias estén disponibles en cada territorio.

II. Impulsar una agenda de alivio y recuperación con inclusión: Definir una agenda para impulsar la adopción de las nuevas tecnologías en la minería de la Región Andina no puede ignorar la urgencia y las presiones por aliviar la crisis sanitaria y la necesidad de impulsar una recuperación de los impactos del COVID-19. En este contexto, es probable que se abra el debate sobre políticas de apoyo o estímulos, que podría llevar a reasignar el gasto público y, eventualmente a buscar nuevos fondos para financiar e impulsar la recuperación.

En este contexto, el proceso de adopción tecnológica debería ser inclusivo, considerando preferentemente capacidades existentes o que se puedan desarrollar, tanto en los territorios como a nivel nacional. Ello, de manera que los actores locales participen en el proceso de creación de valor asociado a una minería sostenible, abordando las brechas de género, y que ayude a construir una relación de aprecio y beneficio mutuo entre empresas, comunidades y Estado.

III. Planes de desarrollo integrales que recojan las particularidades de cada territorio, incluyendo el sistema de gobernanza: Complementar los esfuerzos para adoptar nuevas tecnologías apoyando activamente planes de desarrollo integrales para los territorios que vayan más allá de lo minero. Ello, no solo para cerrar posibles brechas que dificultan la participación local en el proceso de generar valor de la minería, sino que también para apoyar un desarrollo más integral, una mejor calidad de vida e impulsar un desarrollo productivo y económico sostenible que reconozca las particularidades de cada territorio.

Desarrollar modelos de gobernanza que faciliten la acción colectiva y la cooperación público-privada, que cuente con altos niveles de transparencia, y que permita ir fortaleciendo vínculos de confianza entre las comunidades, empresas, gobierno y otros grupos de interés.

IV. El clúster minero andino con alianzas internacionales estratégicas: Avanzar en el análisis de la viabilidad del desarrollo de un clúster minero andino que esté integrado a cadenas de valor globales y que se desarrolle en alianza con las empresas y países que están liderando la nueva revolución tecnológica, a partir de las oportunidades y desafíos de la adopción de las nuevas tecnologías, y considerando que cada contexto es diferente y no existe una solución única.

Este análisis se puede focalizar en desafíos estratégicos que tengan el potencial de traccionar el desarrollo de agendas colectivas estratégicas de alto impacto. Por ejemplo, el tamaño e importancia de la flota de camiones CAEX de las operaciones mineras en la región, podría ser un nicho de alto potencial para definir una agenda de largo plazo.



La siguiente lista presenta un conjunto de temas que fueron identificados de manera preliminar como áreas específicas de trabajo en las que habría que profundizar:

- 1. Infraestructura compartida y gestión integrada- Agua:** Desarrollo de sistemas de gestión de desalación y abastecimiento de agua a partir de desarrollo de modelos de infraestructura compartida.
- 2. Electromovilidad y energía baja en carbono:** Desarrollo de la hoja de ruta de la electromovilidad para las flotas de camiones, vehículos y equipos móviles las operaciones mineras de la Región Andina (CAEX, palas, buses, camionetas y trolleys).
- 3. Mercado del carbono, trazabilidad y monitoreo de emisiones y soluciones basadas en la naturaleza:** Una agenda para liderar el tránsito hacia una minería baja en carbono, junto al desarrollo de un hub de servicios para una minería verde, que incluya una minería 100% trazable y digital; un plan de desarrollo de un mercado regional de carbono y servicios ambientales; un impulso a las energías renovables tales como energía solar (térmica y FV), energía eólica, hidrógeno verde y energía geotérmica; y soluciones para el manejo integrado de cuencas y la remediación de ecosistemas.
- 4. Economía circular para una minería con bajos niveles de residuos:** Descubrir y aprovechar el potencial de la economía circular en la gran minería del cobre, incluyendo soluciones basadas en economía circular para la gestión de tranques de relaves y planes de cierre y sistemas integrados de reciclaje de neumáticos y recuperación de chatarra.
- 5. Otros temas:**
 - a. Atracción de talentos del mundo digital y de las tecnologías para sostenibilidad
 - b. Observatorios de encadenamientos de proveedores y planes de desarrollo
 - c. Centro de ciberseguridad, alerta y respuesta temprana ante ciberataques
 - d. Nuevos liderazgos para renovar la licencia social para operar
 - e. Monitoreo y reportes de uso e impacto de recursos públicos



Próximos pasos: Se propone dar continuidad al trabajo iniciado en este proyecto, a través de la constitución de comunidades de prácticas para entender el potencial de desarrollo que existen en torno a desafíos concretos y de alto potencial (tal como los que se mencionan más arriba) y proponer acciones que impulsen una agenda de trabajo colectiva y de alto impacto (En el Anexo 6 se presenta una propuesta para avanzar en esta dirección).

Las áreas que aparecen como más urgentes de trabajar para avanzar hacia el desarrollo de una minería sostenible para la Región Andina se vinculan con digitalización y gestión de información y fortalecimiento del desarrollo de soluciones para los desafíos ambientales y de cambio climático y sociales.

La siguiente tabla resume cómo los ocho hallazgos descritos anteriormente se vinculan con los cuatro elementos de la agenda antes descrita.

Tabla 3. Elementos de una agenda para impulsar la adopción de las nuevas tecnologías y hallazgos

Hallazgos	Elementos de una agenda para una adopción exitosa de las nuevas tecnologías			
	I. Una visión holista para una minería tecnológica, inclusiva y verde	II. Impulsar una agenda de alivio y recuperación con inclusión	III. Planes de desarrollo integrales que recojan las particularidades de cada territorio	IV. El clúster minero andino con alianzas internacionales estratégicas
H1 y 2: Necesita análisis integrado	X		X	
H3: Adopción por etapas y aprovechar los ciclos de inversión		X	X	
H4: Aprovechar los nichos de oportunidades requiere acción colectiva coordinada (público-privada)		X	X	X
H5: Distintos territorios y áreas urbanas, distintos impactos y distintas soluciones			X	
H6: Necesidad de política pública y la acción colectiva para la adopción exitosa			X	X
H7: El COVID-19 aceleró la adopción tecnológica, se requiere planificación por etapas para alivio y recuperación		X	X	
H8: Existen áreas de políticas públicas y esfuerzos colaborativos son conocidos			X	

A lo largo de las entrevistas y los sucesivos talleres realizados en este estudio se identificó con claridad el rol crítico del gobierno, tanto a nivel nacional como en cada territorio, para impulsar una agenda que apoye la adopción exitosa de nuevas tecnológicas junto con una transformación productiva en términos más amplios. Sin embargo, en general se percibe que el gobierno ha tenido rol pasivo, y que las importantes oportunidades que traería el cambio tecnológico, que requiere de esfuerzos coordinados y colectivos, no se estarían aprovechando plenamente. Lo mismo sucedería con la implementación de un conjunto de medidas coherentes para mitigar los efectos no deseados.

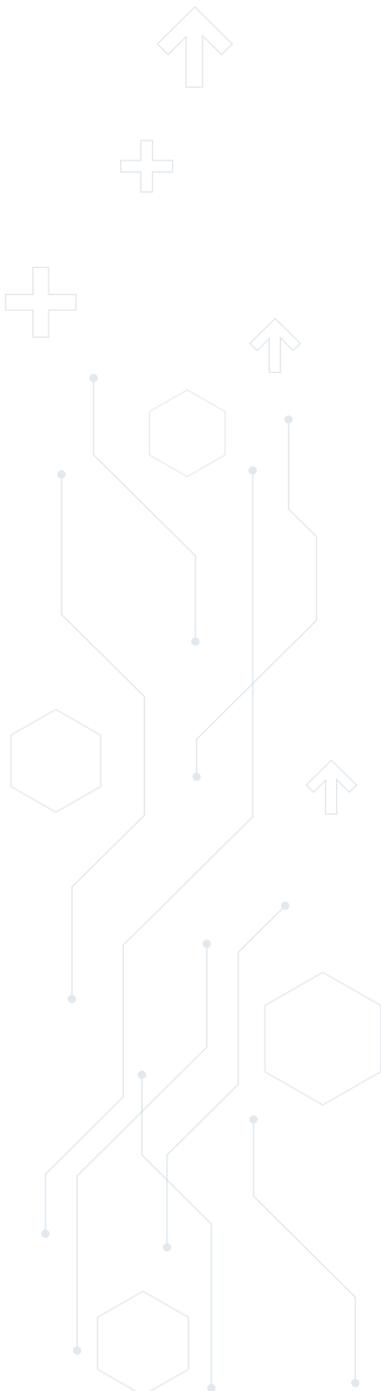
Hay roles específicos que se dan a nivel de los gobiernos centrales y que otros requieren mayor protagonismo de los gobiernos regionales para recoger la particularidad de cada territorio. En ese sentido, parece fundamental fortalecer las capacidades y confianza en los gobiernos, especialmente a nivel de los territorios, para impulsar planes de desarrollo integrales que recojan las particularidades de cada territorio y que sean coherentes y complementarios con las políticas nacionales. Por otra parte, el impulso de una visión a nivel de la Región Andina que contemple alianzas internacionales y una visión holística podrían ser elementos de definiciones de una agenda colectiva entre países. Por último, los planes de alivio y recuperación de la pandemia requerirán un alto grado de coordinación y coherencia entre todos los niveles, bajo la guía del gobierno a nivel nacional.



ANEXOS:

1. Referencias y bibliografía

- Cesco (2020) “Hacia una minería 4.0 Recomendaciones para impulsar una industria nacional inteligente”, Disponible en: <https://www.cesco.cl/wp-content/uploads/2020/06/Hacia-una-miner%C3%ADa-4.0.-Recomendaciones-para-impulsar-una-industria-nacional-inteligente-1-2.pdf>
- Consejo Minero, Fundación Chile y Corporación Alta Ley (2020) “El Roadmap: Digitalización para una Minería 4.0 es una iniciativa”, proyectos desarrollado con el apoyo de Corfo y la asesoría técnica del programa Interop
- Deloitte (2019) “Value Beyond Compliance - A new paradigm to create shared value for mines, communities and government. Disponible en: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/za/Documents/energy-resources/za_value_beyond_compliance_mining_012019.pdf
- Deloitte (2017) “Mining and METS: engines of economic growth and prosperity for Australians”, Report prepared for the Minerals Council of Australia, 2017
- Deloitte (2017) “Innovación en minería Latinoamérica”, Disponible en: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/energy-resources/2018/Innovacion-mineria-LATAM.pdf>
- Fernandez-Stark, K., V. Couto y P. Bamber (2019) “Industry 4.0 in Developing Countries: The Mine of the Future and the Role of Women”, Background Paper for WBG-WTO Global Report on Trade and Gender: How can 21st century trade help to close the gender gap?,
- Hepburn, C., O’Callaghan, B., Stern, N., Stiglitz, J., and D., Zenghelis (2020) “Will COVID-19 fiscal recovery packages accelerate or retard progress on climate change?”, Smith School Working Paper 20-02.
- Hoffmann B., Armangue T. and Parrado E. (2020) “The Business Case for ESG Investing for Pension and Sovereign Wealth Funds” IDB, 2020
- Meller, P. y B. Salinas (2019) “Revolución Tecnológica 4.0 y Capital Humano: Una Mirada desde la Minería”, Beauchef Minería
- Mining Global (2019) “The New Dawn of Mining”; Entrevista al Dr Kash Sirinanda; disponible en: <https://www.miningglobal.com>
- Morrar, R., H. Arman, and S. Mousa (2017) “The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): A Social Innovation Perspective”, Technology Innovation Management Review, November 2017, Volume 7, Issue 11
- Pérez, C. (2010) “Dinamismo tecnológico e inclusión social en América Latina: una estrategia de desarrollo productiva basada en los recursos naturales”; Revista Cepal N° 100, abril 2010, Pag 123-145



- Pérez, Carlota, Anabel Marín y Lizbeth Navas-Alemán (2013) “El posible rol dinámico de las redes basadas en recursos naturales para las estrategias de desarrollo en América Latina” en Dutrénit y Judith Sutz (eds), *Sistemas de Innovación para un Desarrollo Inclusivo*. Cap. 13, pp. 347-377. Mexico: Foro Consultivo Científico y Tecnológico.
- Pratt, W., M. Mustafa, F.A. Drews, K. Powell, J.M. Haight, Y. Wang, K. Baxla y M. Sobalkar (2019) “Automation in the Mining Industry: Review of Technology, Systems, Human Factors, and Political Risk”, *Mining, Metallurgy & Exploration*, 36, Pag 607–631
- Ramdoo, I. (2019) “New Tech, New Deal: Technology Impact Review”, International Institute for Sustainable Development
- Saget, Catherine, Vogt-Schilb, Adrien and Luu, Trang (2020) “Jobs in a Net-Zero Emissions Future in Latin America and the Caribbean”, Inter-American Development Bank and International Labour Organization, Washington D.C. and Geneva.
- The Coalition of Finance Ministers for Climate Action (2020) “Better Recovery, Better World: Resetting Climate Action in the Aftermath of the COVID-19 Pandemic”, Group of Experts Report
- Van Teijlingen K y B. Hogenboom (2020) “COVID-19 Impact on the Value Chain in Latin America” Policy Brief, Cedla
- Watkins, G., M. Silva, A. Rycerz, K. Dawkins, J. Firth, V. Kapos, L. Canevari, B. Dickson y A-L Amin (2019) “Nature-Based Solutions: Increasing Private Sector Uptake for Climate-Resilience Infrastructure in Latin America and the Caribbean”, IADB, Discussion Paper Num IDB-DP-00724.





2. Secuencia de entrevistas y talleres

- **Entrevistas con expertos (julio y agosto de 2020):** Tecnologías y factores críticos.

Más de veinte entrevistas con ejecutivos de compañías mineras, consultores, investigadores y funcionarios de gobierno para identificar tecnologías, factores críticos y definir el diseño de los cuatro talleres virtuales.

- **Taller 1 (20 de agosto de 2020):** Identificación de tecnologías representativas.

Identificación del conjunto tecnologías representativas de la revolución tecnológica en la Gran Minería del cobre de la Región Andina, y caracterización de su grado de adopción e integración en las estrategias de empresas y gobiernos.

- **Taller 2 (3 de septiembre de 2020):** Impactos del cambio tecnológico, factores de contexto y COVID-19

Para el conjunto de tecnologías seleccionadas, se estima el impacto en términos de empleo, compras, innovación y apoyo a la transformación productiva teniendo presente factores del entorno que están afectando este proceso y la crisis del COVID-19.

- **Taller 3 (15 de septiembre de 2020):** Políticas públicas y esfuerzos colaborativos.

Identificación de políticas públicas y esfuerzos colaborativos para apoyar una transición exitosa.

- **Taller 4 (26 de noviembre de 2020):** Validación de hallazgos e identificación de temas.

Presentación y validación de hallazgos e identificación de temas para profundizar en trabajos posteriores.

3. Listas de expertos entrevistados y participantes en los talleres



Nombre	Cargo y organización	País	Entrevista	Taller 1	Taller 2	Taller 3	Taller 4
Cleve Lightfoot	Head of Innovation BHP	Chile			X		X
Alan Muchnik	Gerente Innovación Antofagasta Minerals	Chile		X	X		
Andres Hevia	VP Estrategia e Innovación, Antofagasta Minerals	Chile	X				
Hernán Araneda	Gerente de Centro de Innovación en Capital Humano Fundación Chile	Chile	X				
Andres Mitnik	Director de Negocios, Expande, Fundación Chile	Chile		X	X	X	X
Sebastián Carmona	Gerente de Innovación de Codelco.	Chile	X		X		
Pedro Damjanic	VP Senior Minería Finning	Chile	X				
Patrick Hall	Partner Strategy and Mining Consulting Deloitte Chile	Chile	X				
Marcel Villegas	Leader Energy & Resources Deloitte Chile	Chile	X				
Nicolas Jubera	CEO Timining	Chile		X	X	X	
Dominic Collins	Mining Leader, Deloitte Chile	Chile	X				
Juan Carlos Román	Head of Operations/General Manager Anglo American Sur, Anglo American	Chile	X	X	X		
Jorge Cantaloptos	Director de Estudios y Políticas Públicas, Comisión Chilena del Cobre	Chile			X	X	
Fernando Lucchini	Presidente Corporación Alta Ley	Chile		X	X	X	X
Ignacio Flores	Operational Excellence Superintendent, Collahuasi	Chile		X	X	X	X
Gianni López	Director, Centro Mario Molina Chile, Centro I+D CORFO	Chile		X	X	X	X
Alejandra Molina	Gerente General, Minnovex	Chile		X	X	X	X
Diego Lizana	Subgerente de Eficiencia Energética, Antofagasta Minerals	Chile		X	X	X	
Víctor Pérez	Corporación Alta Ley	Chile		X	X	X	X
Javier Ruiz del Solar	Director Ejecutivo AMTC, Universidad de Chile	Chile		X	X	X	
Carlos Rebolledo	Business Development Manager, EcoMetales Limited	Chile		X	X	X	X
Nancy Pérez	Codelco	Chile			X		
José Antonio Díaz	FME y CEIM	Chile		X			X
Eduardo Valente	Socio líder de Consultoría EY	Chile					
Ricardo Labó	Mining Partner, LQ Energy Group	Perú		X	X	X	X
Gonzalo Delgado	Director Ejecutivo CEMS, Universidad del Pacífico del Perú	Perú	X		X	X	
Benjamin Quijandria	Director Cluster Minero del Sur	Perú	X	X	X	X	
Emilio Gómez de la Torre	Gerente General de Linkminers	Perú			X	X	X
Cory Stevens	VP Operational Improvement, Freeport	Perú	X				
Rafael Estrada	Gerente de TIC, Antamina	Perú		X	X	X	X
Laura Zurita	Ex Gte Rel Gobierno de Mirador (CRCC), ExPresidente de la Cámara de Minería del Ecuador	Ecuador	X	X	X	X	X
Fernando Benalcazar	Vice Ministro de Minas	Ecuador	X				
Felipe Márquez	Presidente Anglo Gold Ashanti (Quebradona)	Colombia	X				
David González	VP Promoción y Fomento, Agencia Nacional Minería	Colombia	X				
Equipo Cesco		País	Entrevista	Taller 1	Taller 2	Taller 3	Taller 4
Oswaldo Urzúa		Chile	X	X	X	X	X
José Joaquín Jara		Chile	X	X	X	X	X
Nicolás Jubera		Chile		X	X	X	
Alejandra Wood		Chile	X	X	X	X	X
Alejandra Rivera		Chile		X	X	X	X
América Rodríguez		Chile		X	X	X	X



4. Guía de entrevistas

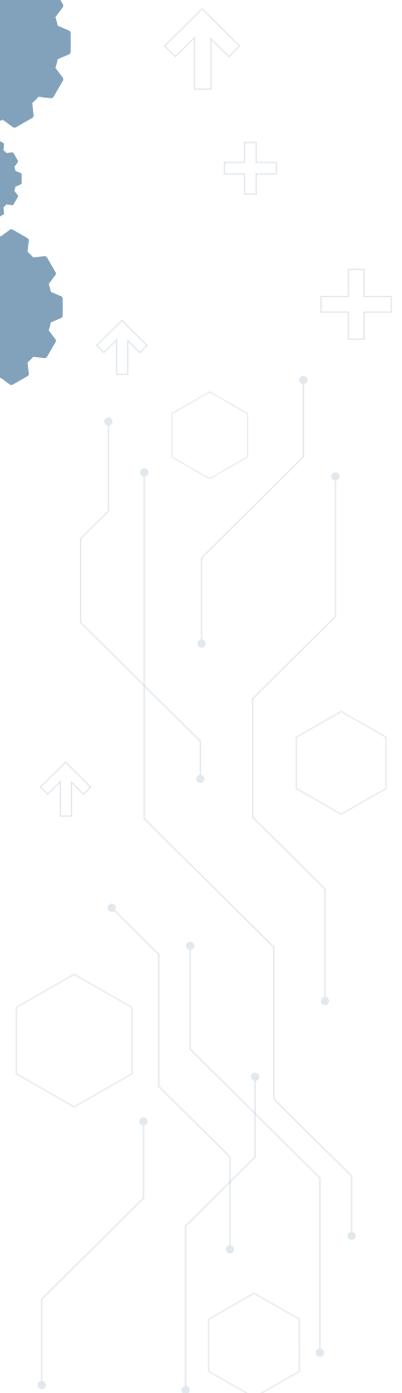
Nombre y cargo: Fecha:

Contexto:

- Este proyecto tiene como objetivo evaluar **el impacto total de las nuevas tecnologías** y proponer **opciones pragmáticas de políticas y esfuerzos colaborativos** para apoyar la obtención de todo el potencial de estas nuevas tecnologías.
- **Proyecto internacional** del Foro Intergubernamental sobre Minería, Minerales, Metales y Desarrollo Sostenible (IGF), en asociación con el Centro para la Inversión Sostenible de Columbia (CCSI) y el Programa de Valor Compartido en Minería, con el apoyo de la Cooperación Alemana, financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) e implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Los países de estudio incluyen a Burkina Faso, la República Democrática del Congo, Mongolia, Sudáfrica y la Región Andina (Chile, Colombia, Ecuador y Perú), centrándose en el cobre.
- Con el apoyo de la Cooperación Alemana, financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) e implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- CESCO está haciendo el estudio de la Región Andina.
- **Totalmente confidencial** (Reglas de Chatham House)
- Preguntas de investigación:
 1. ¿Qué **tecnologías se están adoptando** y cómo han afectado el **rendimiento operacional**?
 2. ¿Cómo **cambiará la fuerza laboral** a medida que se implementen las nuevas tecnologías?
 3. ¿Cómo **cambiará la cadena de suministro** a medida que se implementen nuevas tecnologías? ¿Cuándo?
 4. ¿Cómo impactará el cambio tecnológico a las **comunidades locales** y las regiones mineras?
 5. ¿Cuáles son los principales **riesgos y oportunidades** asociados a la adopción de nuevas tecnologías y cómo el COVID-19 está configurando ese proceso?
 6. ¿Cuáles son las **principales iniciativas** que están llevando a cabo las empresas mineras, los proveedores y los gobiernos para apoyar la adopción y el desarrollo de nuevas tecnologías?

Preguntas clave para esta entrevista:

- ¿Cuáles son las **tecnologías más importantes** que se están adoptando o se adoptarán? ¿Por qué? ¿Puede dar algunas características o ejemplos? ¿Alguna fuente de información?
- ¿Qué pasa con el **impacto a las comunidades**? ¿Cuáles son las tecnologías que más las impactarán?
- ¿Cuáles son los **principales desafíos**? Político, Económico, Social, Tecnológico, Legal
- ¿Está recibiendo algún **apoyo relevante del gobierno**? ¿De otros?
- ¿Existe alguna diferencia entre la adopción de tecnologías en la **minería del cobre** en comparación con otros minerales? ¿Alguna tecnología solo utilizada en cobre?
- - Nos gustaría seleccionar una muestra de procesos / tecnologías para hacer un análisis profundo y, en base a esta muestra, obtener una mejor comprensión de lo que está dando forma al proceso de implementación de nuevas tecnologías. **¿Qué proceso / tecnologías sugeriría? ¿Por qué?** Nos gustaría tener algo de diversidad para representar las diferentes realidades que existen desde la exploración hasta el procesamiento.
- ¿Algún **nombre para contactar o referencia**? ¿Alguna **experiencia exitosa** o fracaso que revisar?
- ¿Alguna **sugerencia** o interés?





5. Encuesta sobre factores críticos

A continuación, se presentan algunas afirmaciones sobre los desafíos, oportunidades y acciones asociadas al cambio y adopción de nuevas tecnologías en la gran minería del cobre de la Región Andina. Por favor, indique en qué medida está de acuerdo con ellas según los siguientes valores

1. Completamente en desacuerdo
 2. En desacuerdo, pero existen unos pocos elementos en que coincido
 3. Parcialmente en acuerdo
 4. De acuerdo con pequeños matices de diferencia
 5. Completamente de acuerdo
- I. Las tecnologías de la 4ª Revolución Industrial (tales como la digitalización) y las tecnologías asociadas a mejoras en el desempeño ambiental (tales como el uso de energías renovables con bajas emisiones) se consideran claves para el desarrollo de una minería sostenible.
 - II. Las compañías mineras tienen plenamente integrada en sus estrategias de crecimiento la adopción de las 4ª Revolución Industrial, tienen unidades responsables con las competencias y presupuestos necesarios para abordar coherentemente el trabajo requerido.
 - III. Las compañías mineras tienen plenamente integrada en sus estrategias de crecimiento el uso de tecnologías de alto impacto para la sostenibilidad tales como el uso energías renovables, la electromovilidad, soluciones basadas en la naturaleza y soluciones de economía circular, tienen unidades responsables con las competencias y presupuestos necesarios para abordar coherentemente el trabajo requerido.
 - IV. Los gobiernos tienen plenamente integrado en sus políticas, regulaciones, programas y planes el impulso a la adopción de las 4ª Revolución Industrial, existen unidades responsables con las competencias y presupuestos necesarios para abordar coherentemente el trabajo requerido.
 - V. Los gobiernos tienen plenamente integrado en sus políticas, regulaciones, programas y planes el impulso al desarrollo y el uso tecnologías de alto impacto para la sostenibilidad tales como el uso energías renovables, la electromovilidad, soluciones basadas en la naturaleza y soluciones de economía circular, tienen unidades responsables con las competencias y presupuestos necesarios para abordar coherentemente el trabajo requerido.
 - VI. Existe un conjunto de tecnologías que podrían ser importantes fuentes de soluciones para una minería sostenible y que son conocidas sólo por un grupo reducido de expertos, no están integradas en estrategia empresarial, ni son parte de la política pública. Podrían existir importantes

oportunidades de crear valor que no se estarían aprovechando. En particular en Chile se destacan el hidrógeno-verde, los CAEX eléctricos, la restauración de ecosistemas y gestión de cuencas. En Perú, destacan la energía solar FV, los CAEX eléctricos, la restauración de ecosistemas, gestión de cuencas y el reciclado

- VII. El hidrógeno-verde sería una tecnología madura en la siguiente década
- VIII. Aunque el hidrógeno-verde no sea una tecnología aún madura, la Región Andina debería participar en su desarrollo en alianza con líderes internacionales que ya avanzan decididamente para contar con la opcionalidad de liderar un sector estratégico de la economía mundial
- IX. Entre Chile y Perú debe existir uno de los parques de camiones CAEX más importantes del mundo. Se estima que superarían las 3.500 unidades. Estas flotas demandan servicios de mantención, deben ir incorporando nuevas tecnologías a través de procesos de retrofitting y deben disminuir su huella de carbono. Esto abre una oportunidad única de generar capacidades locales para el desarrollo de un cluster regional en torno a estos equipos
- X. Un grupo reducido de compañías mineras son responsables de un más de un 50% del cobre que se produce en la región que seguramente representa sobre un 20% del cobre producido a nivel mundial. Esto genera una gran oportunidad de impulsar una estrategia concertada de desarrollo en torno a la minería en la que los desafíos sean abordados colectivamente y en alianza con el gobierno y las comunidades.
- XI. Lo anterior requiere de liderazgo y convicciones tanto de privados como del gobierno y un alto nivel de apoyo social
- XII. La dimensión del potencial de la región para desarrollar soluciones basadas en la naturaleza se entiende pobremente y no se están haciendo los esfuerzos necesarios para conocerlo y aprovecharlo. Esto incluye soluciones de protección de cuencas y sus ecosistemas, soluciones para infiltrar cuencas, soluciones para el cierre de minas, capturas de CO2 con algas, entre muchos otros
- XIII. Aprovechar el cambio tecnológico requiere un análisis integrado del efecto agregado de la adopción de distintas tecnologías e identificar los impactos negativos y las oportunidades en términos de empleo, compras locales e innovación. Análisis de esta naturaleza son poco frecuentes lo que dificulta identificar las oportunidades



6. Propuestas para el desarrollo de comunidades de prácticas

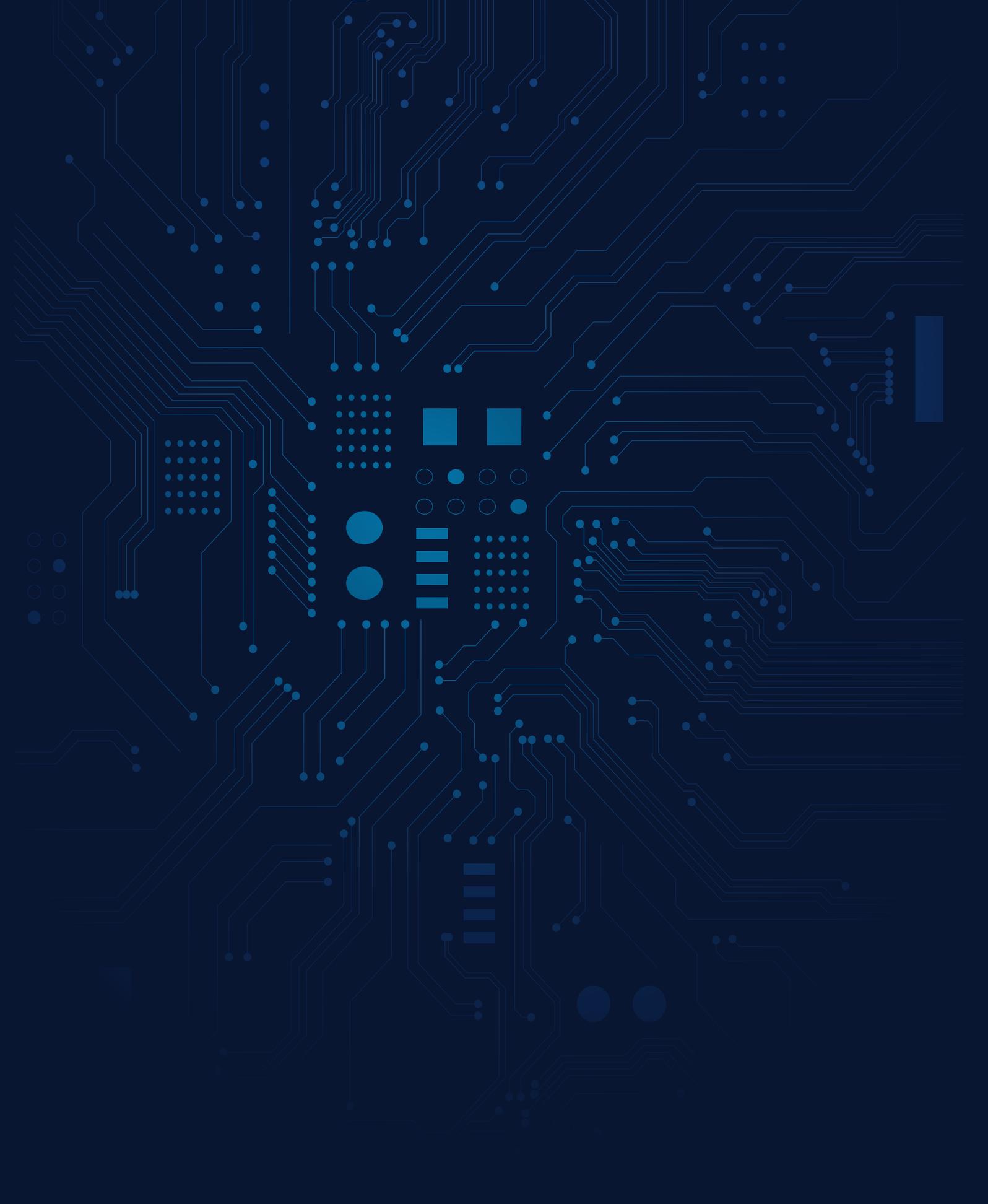
La comunidad de aprendizaje es una comunidad de expertos que se reúne periódicamente para tener un debate informado (se comparte información de valor previo a cada reunión), para caracterizar y definir oportunidades de alto valor y proponer acciones avanzar en el desarrollo de la oportunidad.

Por cada oportunidad o desafío se propone organizar 4 reuniones-virtuales bajo una estructura predefinida tal como la siguiente:

0. Preparación: Cesco identifica un conjunto de temas estratégicos y de alto interés
1. Reunión 1: Definición de la oportunidad o desafío
2. Reunión 2: Estimación preliminar del valor en juego
3. Reunión 3: Identificación de soluciones y acciones
4. Reunión 4: Bases para un plan de acción

La siguiente lista presenta un conjunto de temas que fueron identificados de manera preliminar como áreas específicas de trabajo en las que habría que profundizar:

- I. Infraestructura compartida y gestión integrada- Agua
- II. Electromovilidad y energía baja en carbono
- III. Mercado del carbono, trazabilidad y monitoreo de emisiones y soluciones basadas en la naturaleza
- IV. Economía circular para una minería con bajos niveles de residuos
- V. Atracción de talentos del mundo digital y de las tecnologías para sostenibilidad
- VI. Observatorios de encadenamientos de proveedores y planes de desarrollo
- VII. Centro de ciberseguridad, alerta y respuesta temprana ante ciberataques
- VIII. Nuevos liderazgos para renovar la licencia social para operar
- IX. Monitoreo y reportes de uso e impacto de recursos públicos



Implementado por
giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



IGF

INTERGOVERNMENTAL FORUM
on Mining, Minerals, Metals and
Sustainable Development

CESCO

CENTRO DE ESTUDIOS
DEL COBRE Y LA MINERÍA