

XXXVI CONVENCIÓN INTERNACIONAL DE MINERÍA

20 DE NOVIEMBRE, 2025

MINERÍA ESENCIAL EN EL
COMBATE AL CAMBIO CLIMÁTICO



LSE: FRES BMV: FRES
www.fresnilloplc.com

01 Introducción: la coyuntura actual

02 Materiales esenciales para la transición

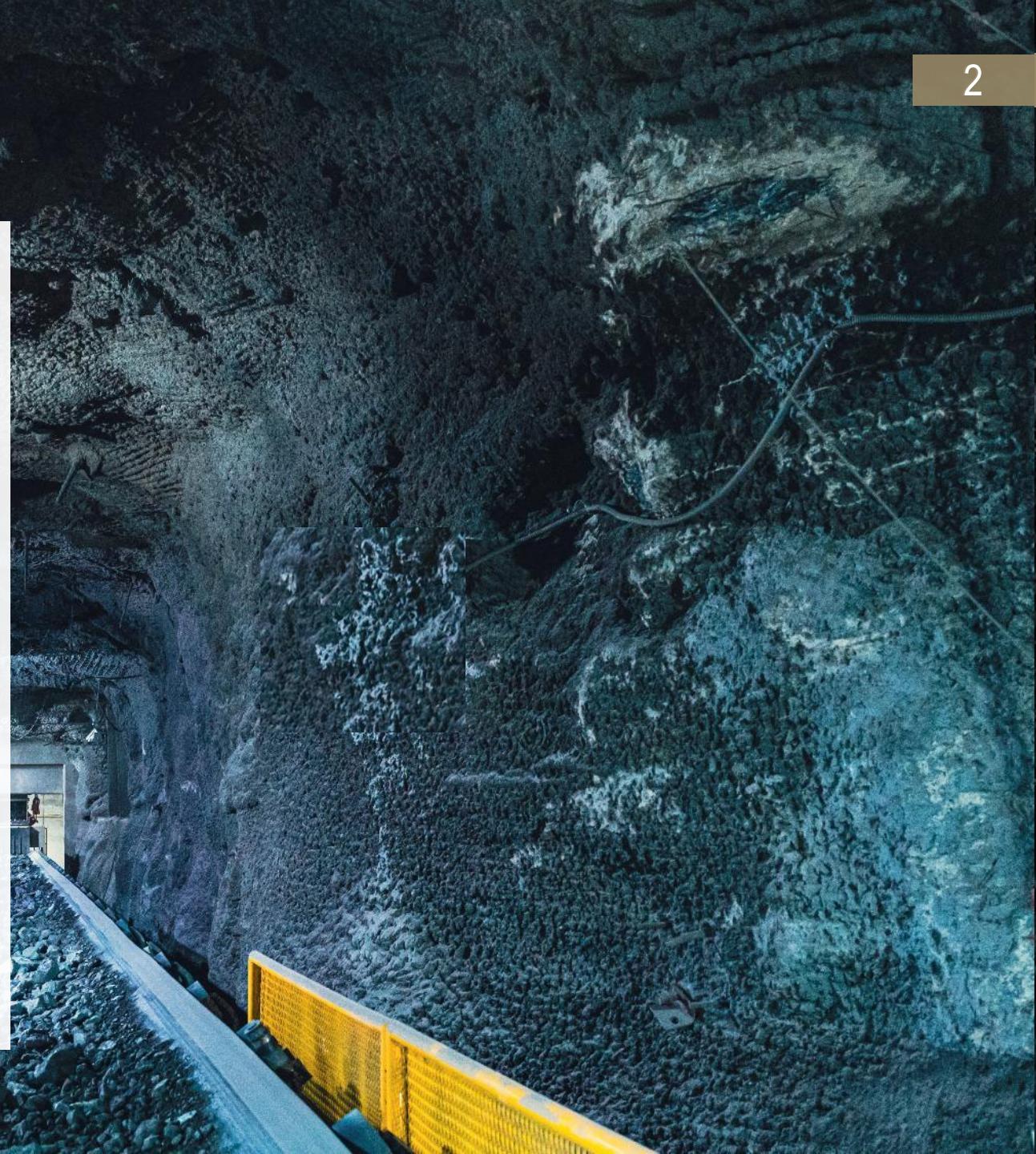
03 Desafíos para la industria minera

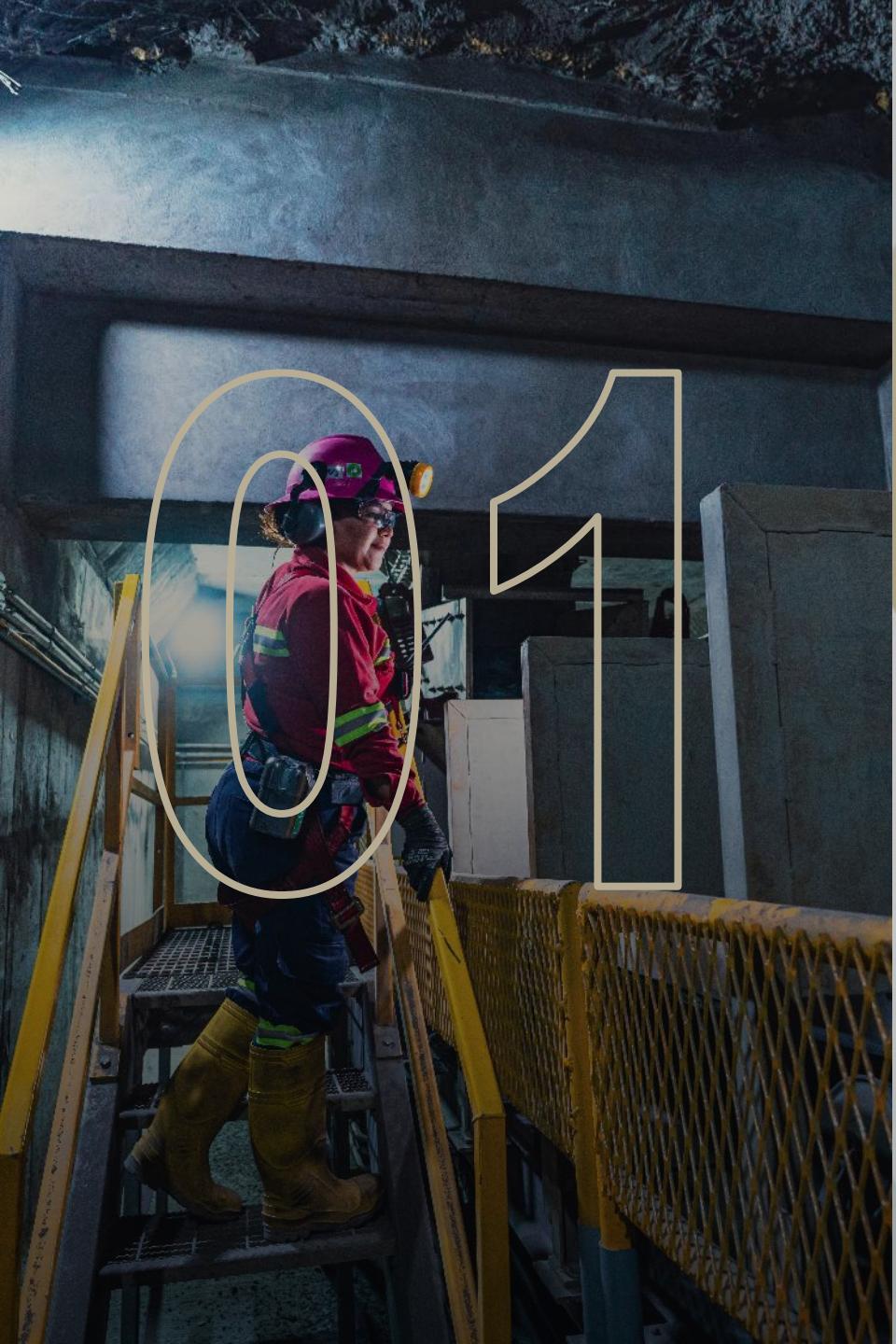
04 Innovación y tecnología en la industria minera

05 Qué está haciendo Fresnillo

06 Marcos de referencia

07 Conclusiones





INTRODUCCIÓN: LA COYUNTURA ACTUAL

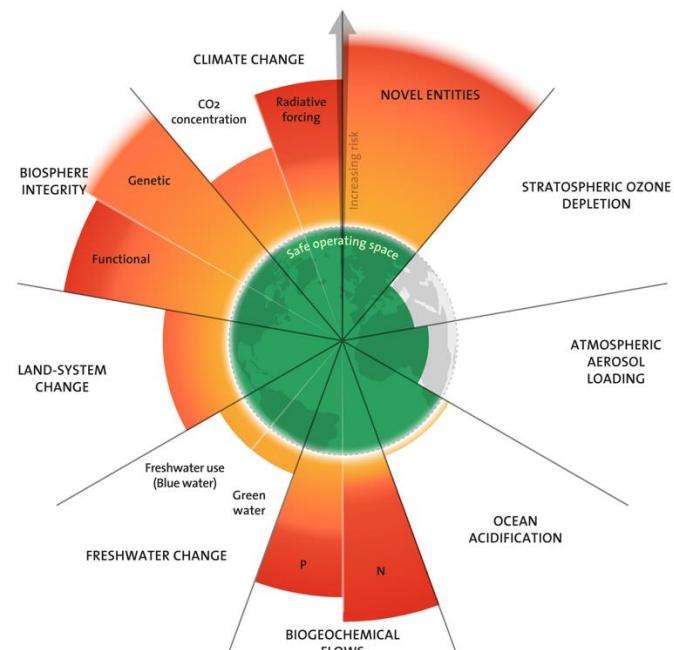
LAS FUERZAS QUE TRANSFORMAN EL FUTURO INDUSTRIAL

DISRUPCIÓN TECNOLÓGICA, LÍMITES AMBIENTALES Y UN NUEVO EQUILIBRIO ENERGÉTICO

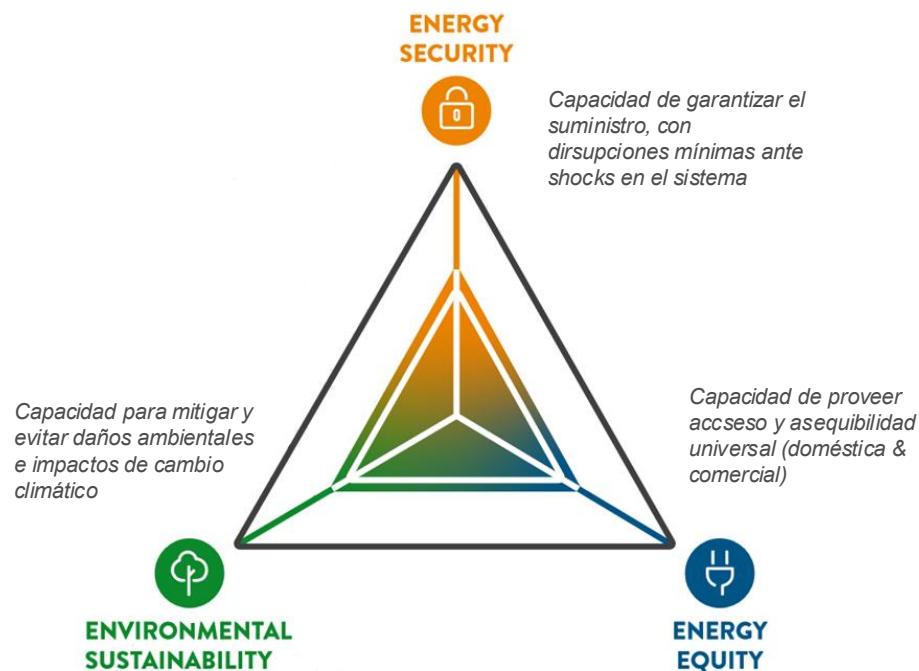
LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

- 1^a (s. XVIII-XIX): Agua y vapor para mecanizar la producción
- 2^a (s. XIX-XX): Electricidad para generar producción en serie
- 3^a (s. XXI): Electrónicos y tecnologías de la información para automatizar la producción
- 4^a (?): Sistemas ciber-físicos

LOS LÍMITES PLANETARIOS



EL TRILEMA DE LA ENERGÍA



- Construye sobre la **revolución digital**
- Se caracteriza por la fusión entre los ámbitos **físico, digital y biológico**
- La actividad humana aumenta los riesgos sobre los **procesos críticos** que regulan la estabilidad y la resiliencia de la Tierra
- 9 límites evaluados, **7 cruzados**
- Busca equilibrar tres dimensiones fundamentales de la capacidad de la política energética de las naciones
- Mantener el equilibrio en contextos de rápida transición hacia sistemas descentralizados, bajos en carbono y digitales es un reto

Source: The World Economic Forum. 2016. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond.

Stockholm Resilience Centre. Stockholm University. 2025. Planetary Boundaries.

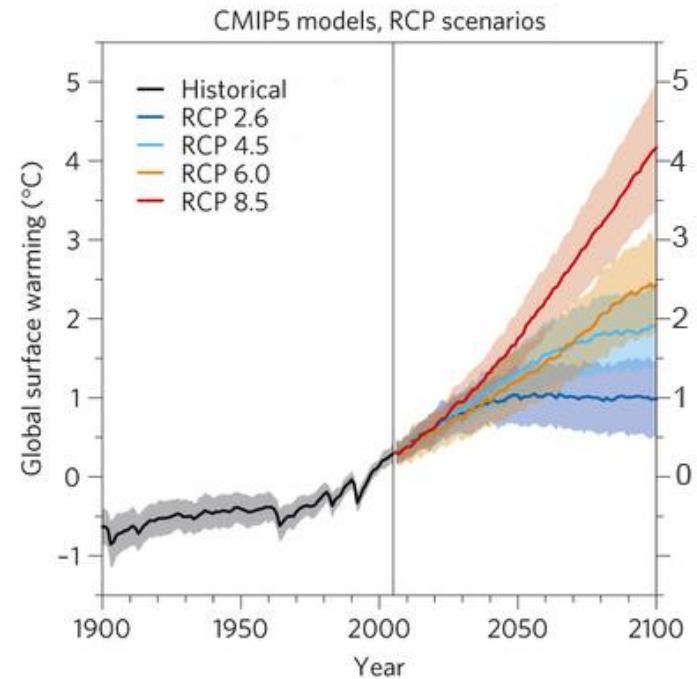
The World Energy Council. World Energy Trilemma 2024: evolving with resilience and justice.

LA CONTRIBUCIÓN DE LOS SECTORES AL CALENTAMIENTO GLOBAL

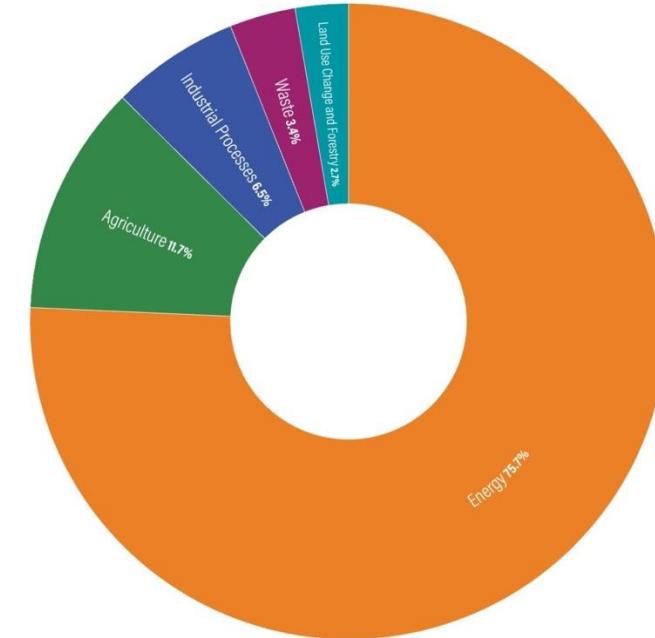
6

EL SECTOR ENERGÉTICO CONTRIBUYE EN 75% A LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) GLOBALES

TRAYECTORIAS DE CONCENTRACIÓN REPRESENTATIVAS DEL IPCC



EMISIONES GEI GLOBALES POR SECTOR Y USO FINAL, 2021



- El IPCC advierte que continuar emitiendo GEIs provocará más calentamiento y cambios en todo el sistema climático; los escenarios muestran distintos niveles de aumento de temperatura, con afectaciones en diferentes magnitudes.
- En la COP21 de 2015 en París se alcanzó un acuerdo histórico para intensificar las acciones para un futuro bajo en carbono:
 - Mantener la temperatura mundial en este siglo por debajo de los 2°C por encima de los niveles preindustriales, y
 - Proseguir con los esfuerzos para limitar aún más la temperatura a 1.5°C.

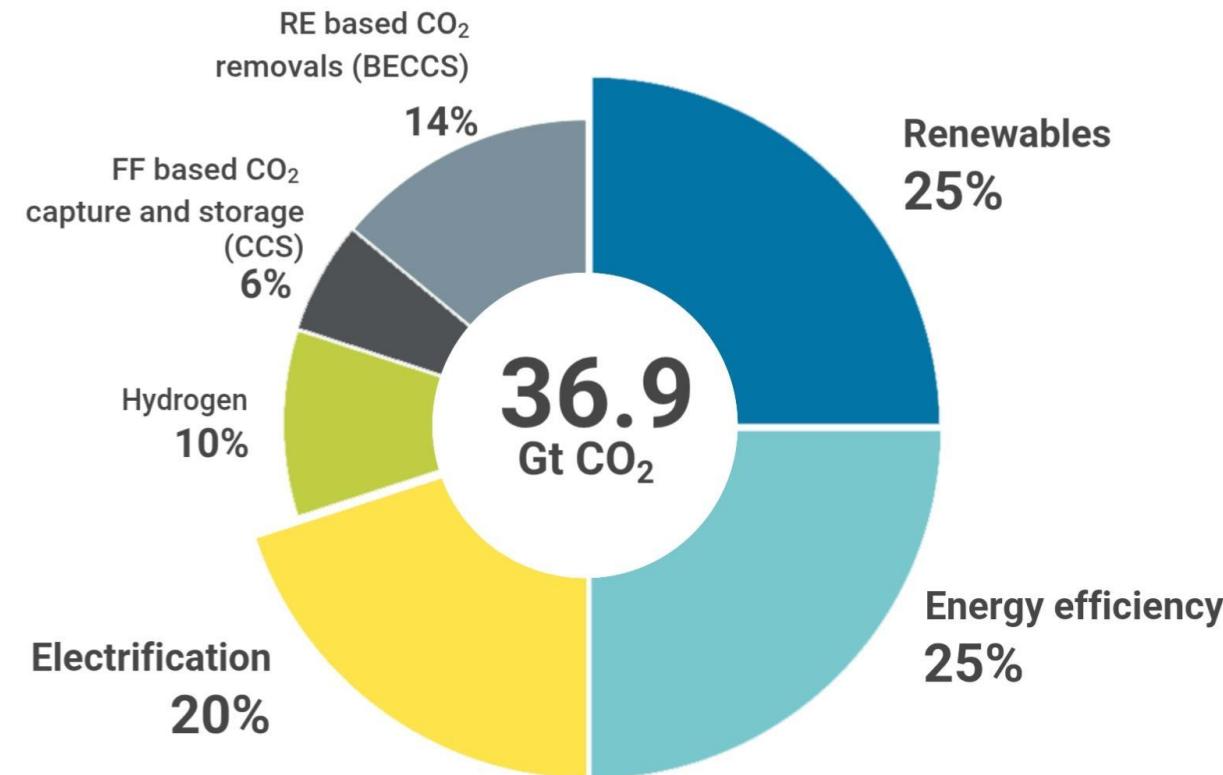
- La transición energética se refiere al cambio del sector energético global de sistemas basados en combustibles fósiles —incluyendo petróleo, gas natural y carbón— hacia fuentes de energía renovable como la eólica y la solar, con el fin de reducir las emisiones de CO₂.
- La medida en que dicho cambio ocurre, así como su velocidad, dependen en gran medida de la dinámica global y de la respuesta de la sociedad frente al cambio climático.

LIMITAR EL CALENTAMIENTO GLOBAL A 1.5°C PARA 2050 REQUIERE:

↓ 37 Gt CO₂e Net-zero

- La transición energética está entrando a una fase más madura y compleja: enfrenta el intercambio entre la escala, la integración del sistema, la asignación del capital y la geopolítica.

REDUCIR LAS EMISIones POR MEDIO DE SEIS VÍAS TECNOLÓGICAS



AVANCES Y DESAFÍOS DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

ADICIONES ANUALES POR CATEGORÍA



Source: Krishan, M. et al. 2025. The hard stuff 2025: Taking stock of progress on the physical challenges of the energy transition. McKinsey Global Institute.

- **El progreso físico avanza, pero a la mitad del ritmo necesario.** Solo ~15% de las tecnologías bajas en emisiones necesarias para cumplir los Acuerdos de París hacia 2050 están desplegadas.
- **Avances desiguales en el sistema energético.** Hay impulso en energía limpia, transporte eléctrico y minerales críticos; el progreso sigue estancado en captura de carbono, hidrógeno y sectores industriales pesados.
- **China lidera el despliegue.** Aporta dos tercios de la nueva capacidad solar/eólica y ventas de vehículos eléctricos desde 2022. El ritmo en EE.UU. y la UE se desaceleró en algunas áreas.
- **Los retos más difíciles de la transición se han vuelto más complejos.** Persisten obstáculos en hidrógeno y descarbonización del acero debido a cancelaciones de proyectos, lenta innovación tecnológica y cambios de política.
- **Comprender las limitaciones físicas es clave.** Esta perspectiva ayuda a priorizar, identificar cuellos de botella y detectar oportunidades emergentes.



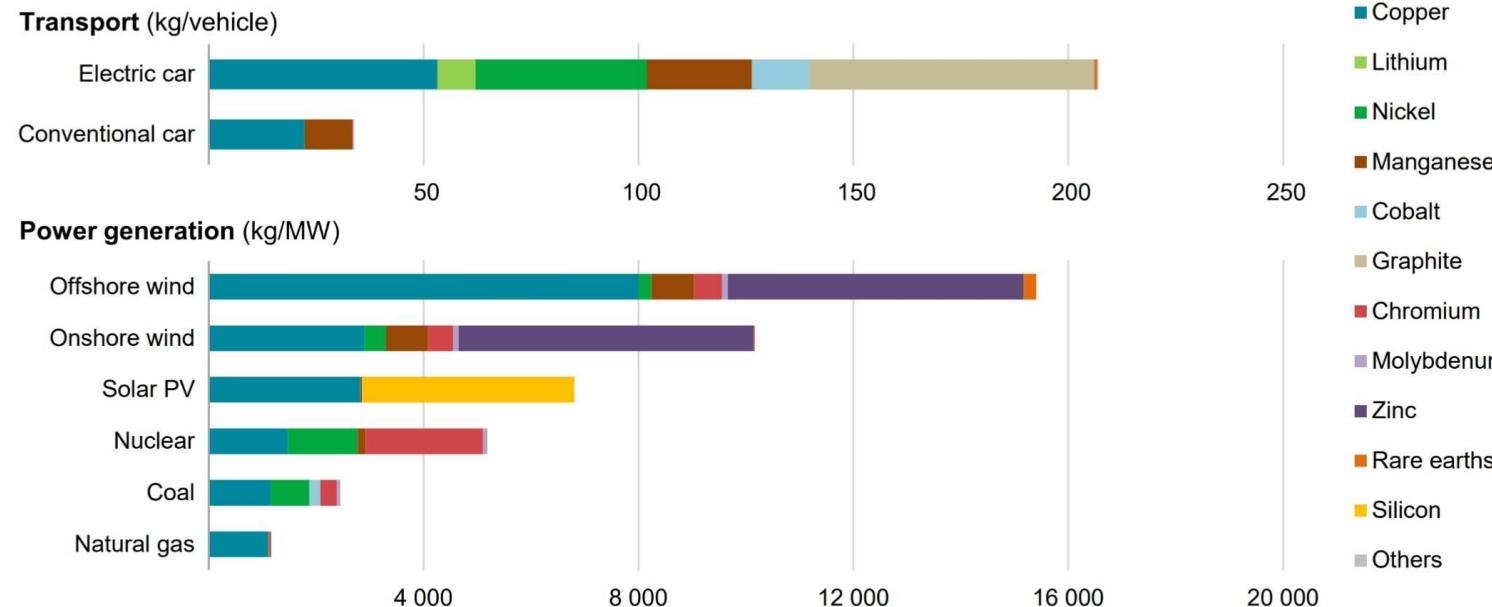
MATERIALES ESENCIALES PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EXIGE MÁS MATERIALES CRÍTICOS

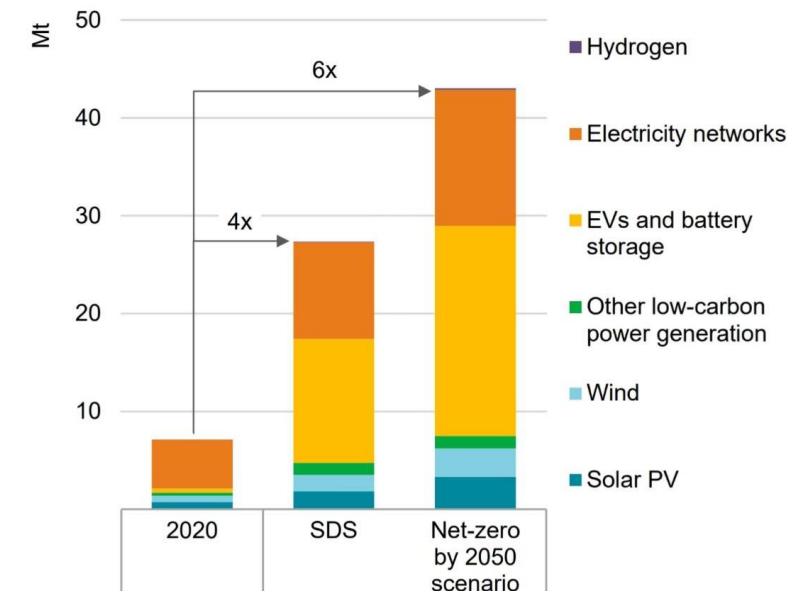
10

UN SISTEMA ENERGÉTICO BASADO EN TECNOLOGÍAS LIMPIAS ES MUY DISTINTO QUE UNO CONVENCIONAL

MINERALES UTILIZADOS EN TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA LIMPIA VS CONVENCIONALES



CRECIMIENTO A 2040 POR SECTOR Y ESCENARIO



- Un auto eléctrico requiere 6 veces más minerales que un auto convencional.
- Una planta eólica necesita 9 veces más minerales que una planta de generación de gas.
- Desde 2010, la demanda de minerales por cada nueva unidad de capacidad de generación eléctrica ha aumentado alrededor de 50%, impulsada por el crecimiento en nuevas inversiones en energías renovables.

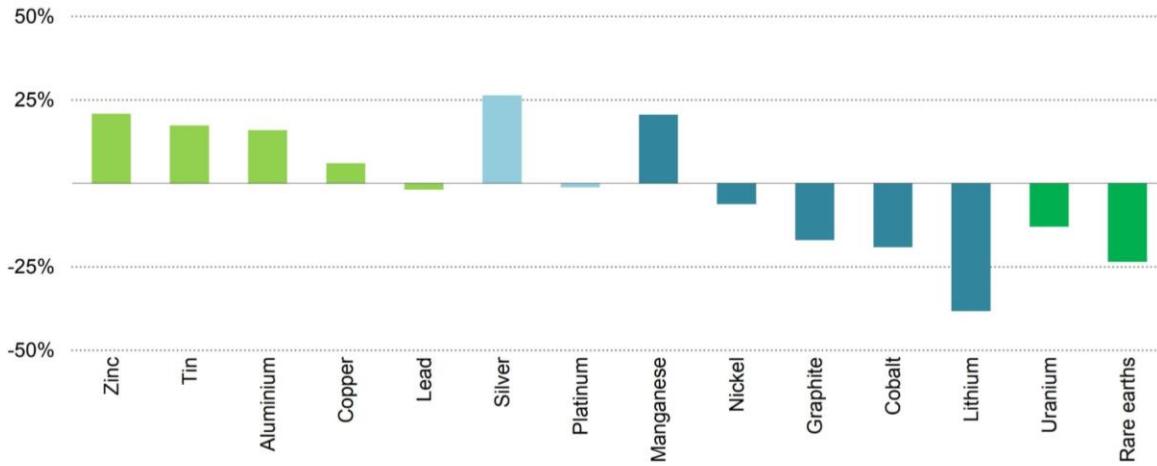
- La demanda de minerales para tecnologías de energía limpia aumentaría al menos 4X para 2040 a fin de cumplir los objetivos climáticos, con un crecimiento especialmente elevado en los minerales relacionados con los vehículos eléctricos y las redes eléctricas.

TENDENCIAS EN LA DEMANDA, PRODUCCIÓN Y PRECIOS DE LOS MINERALES

11

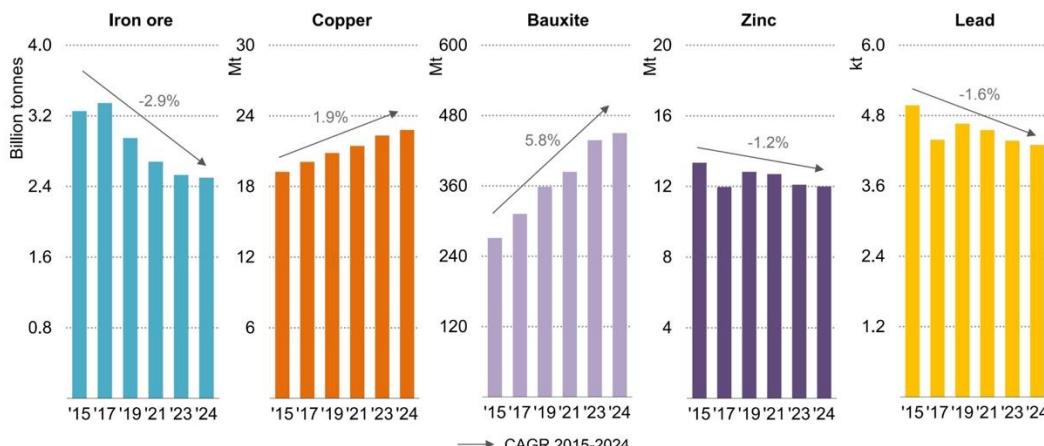
EN ESTA TRANSICIÓN, LOS MINERALES CRÍTICOS PLANTEAN NUEVOS DESAFÍOS PARA LA SEGURIDAD ENERGÉTICA

CAMBIOS EN LOS PRECIOS DE LOS COMMODITIES, 2024

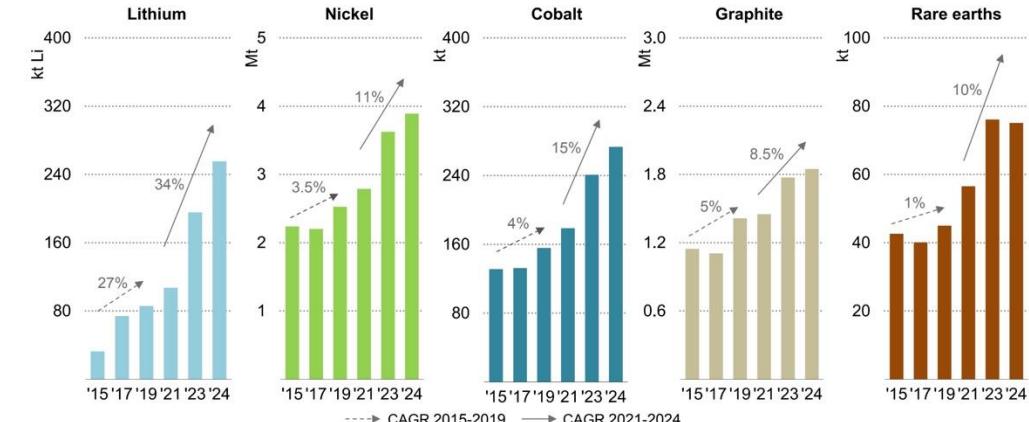


- Aunque los precios de los metales base registraron un ligero repunte, los precios de los metales para baterías continuaron disminuyendo en 2024 debido al rápido incremento en los volúmenes de oferta.
- La producción minera de metales para baterías y elementos de tierras raras ha acelerado significativamente su crecimiento en los últimos años.
- En contraste, el crecimiento de los metales base ha sido relativamente moderado, debido a los largos plazos de desarrollo, la disminución en la ley del mineral y los desafíos en los procesos de permisos.

PRODUCCIÓN MINERA DE METALES BASE SELECTOS



PRODUCCIÓN MINERA PARA BATERÍAS Y TIERRAS RARAS



LOS MATERIALES CRÍTICOS PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

UN CONJUTO DE MINERALES CRÍTICOS Y TIERRAS RARAS, CUYA DEFINICIÓN VARÍA POR REGIÓN*

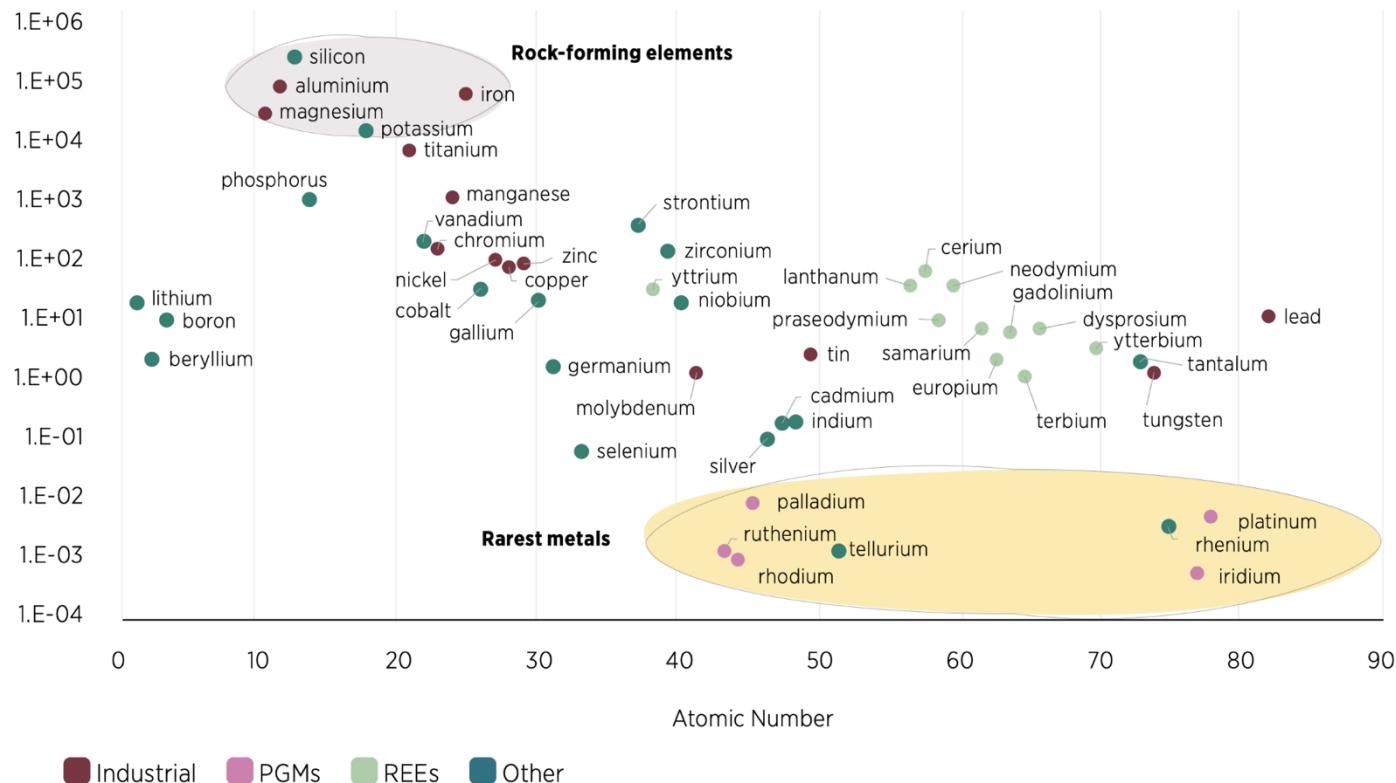
12

- Algunos minerales son extremadamente escasos; otros, son muy abundantes, pero **la abundancia no garantiza acceso fácil**, pudiendo tomar hasta 20 años en desarrollar una nueva mina.
- Minerales críticos como el litio, el cobalto y los elementos de tierras raras son fundamentales para tecnologías como los vehículos eléctricos, las turbinas eólicas y los paneles solares.
- La producción de muchos materiales críticos está altamente concentrada. El 95% del galio **provenie de China**, mientras que el **cobre** se extrae en **56 países**.
- La concentración de la producción y el refinado de minerales en países específicos, junto con los largos plazos de desarrollo de nuevas minas, representa riesgos significativos para las cadenas de suministro.**



ABUNDANCIA ESTIMADA DE MINERALES CRÍTICOS EN LA CORTEZA DE LA TIERRA

Abundance, atoms of element per 10^6 atoms of Si



* El Departamento de Energía de EEUU lista 50 minerales críticos, mientras que la Unión Europea se enfoca en 34.



DESAFÍOS PARA LA INDUSTRIA MINERA

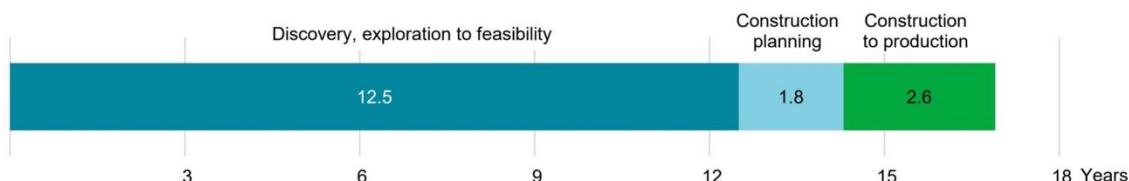
RETOS PARA ASEGURAR LA DISPONIBILIDAD FUTURA DE MINERALES

14

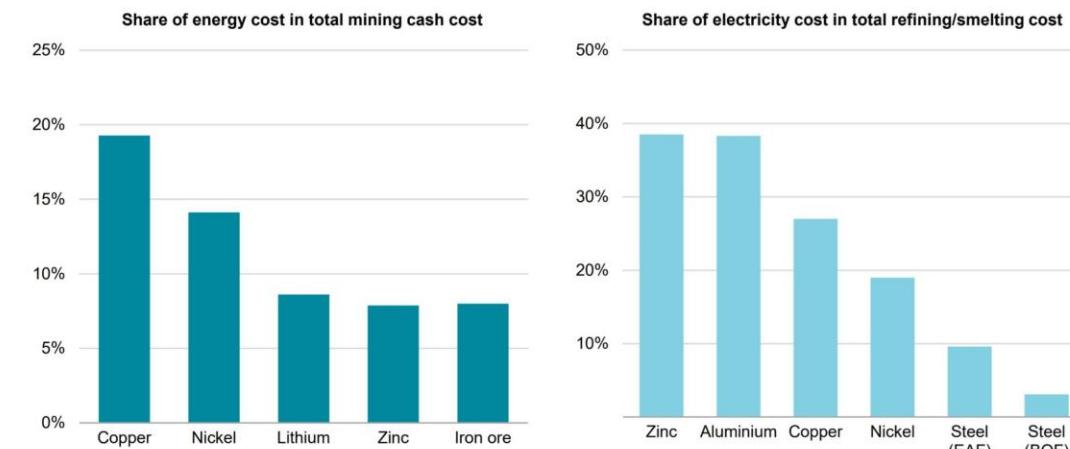
PRESIONES A LA CAPACIDAD DEL SECTOR PARA RESPONDER A LA DEMANDA GLOBAL

- Concentración geográfica:** El análisis de los portafolios de proyectos indica que, en la mayoría de los casos, la concentración geográfica de la producción no cambiará en el corto plazo.
- Tiempos de desarrollo de proyectos:** Las tensiones en el mercado por déficits de la oferta y volatilidad en precios pueden surgir mucho más rápido de lo que se pueden desarrollar nuevos proyectos.
- Disminución en la calidad del mineral:** La menor ley de mineral conlleva desafíos en costos de extracción y procesamiento, así como en mayores emisiones y volúmenes de residuos.
- Costos asociados al desempeño ESG:** La necesidad de mejorar el desempeño ambiental podría aumentar los costos de producción y de procesamiento que tienen una mayor intensidad energética.
- Riesgos climáticos:** Los activos mineros enfrentan riesgos climáticos crecientes y mayor estrés hídrico – cerca de la mitad de la producción mundial de litio y cobre se concentra en zonas de alto estrés hídrico.

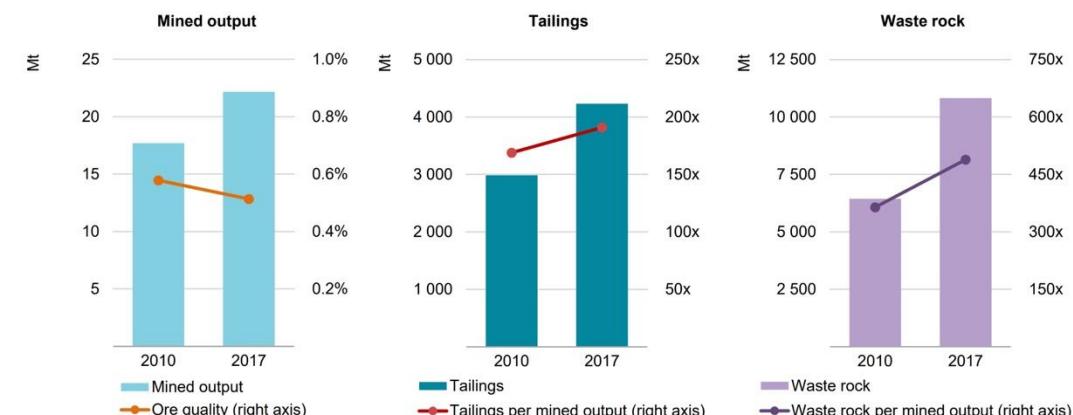
PROMEDIO DE TIEMPO DEL DESCUBRIMIENTO A LA PRODUCCIÓN, 2010-2019



% DE COSTOS DE LOS ENERGÉTICOS PARA MINERALES SELECTOS



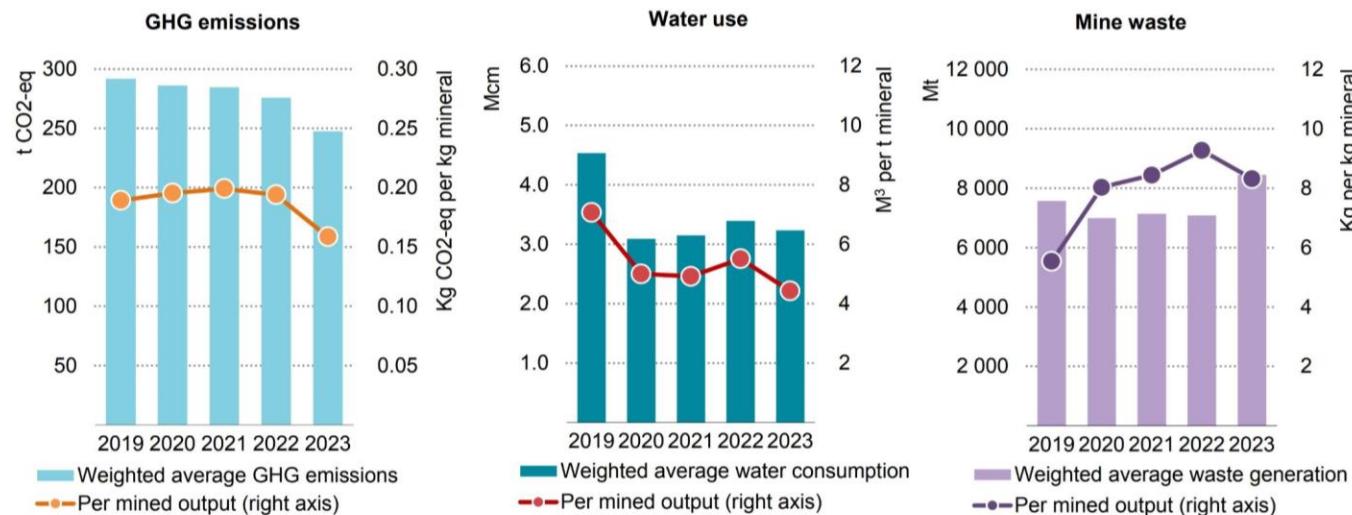
GENERACIÓN DE RESIDUOS DE MINERÍA DE COBRE Y NICKEL



DESEMPEÑO ACTUAL COMO BASE PARA LA INNOVACIÓN

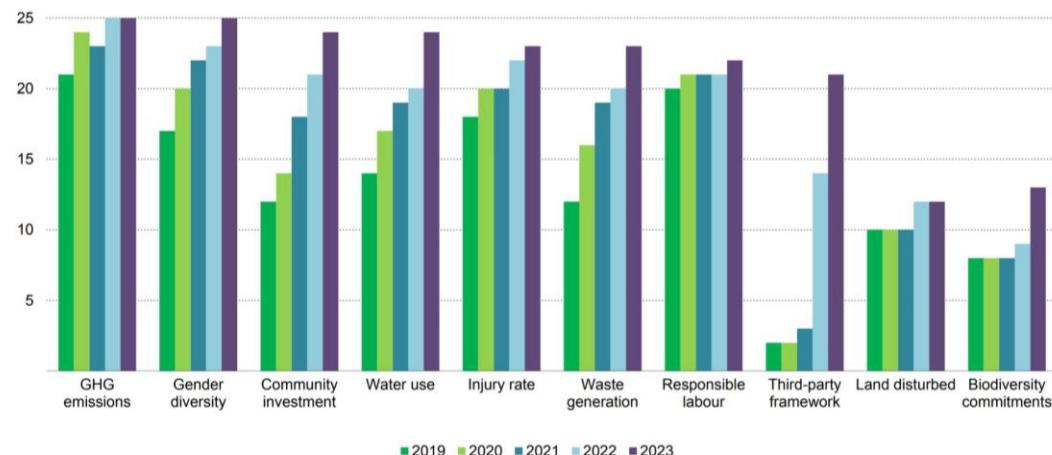
LAS TENDENCIAS QUE GUÍAN LOS COMPROMISOS DEL SECTOR HACIA EL FUTURO

DESEMPEÑO PROMEDIO DEL TOP 25 DE COMPAÑÍAS MINERAS, n=25*



- La disminución en la ley de los minerales dificulta reducir los niveles absolutos de generación de residuos, emisiones y uso de agua; mejoras en la eficiencia operativa y la implementación de tecnología permiten seguir avanzando.
- La divulgación y transparencia de la información de sostenibilidad ha mejorado, así como la alineación a marcos de referencia de terceros.

NÚMERO DE EMPRESAS RELEVANTES EN LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES CRÍTICOS QUE REPORTAN EL INDICADOR, n=25*



* Análisis de la IEA basado en los reportes de sustentabilidad de Albemarle, Allkem and Livent (Arcadium Lithium), Anglo American, BHP, CMOC Group, Codelco, Eramet, First Quantum, Freeport Mc-MoRan, Ganfeng Lithium, Glencore, IGO, KGHM, NorNickel, Pilbara Minerals, Rio Tinto, South32, Southern Copper, SQM, Teck Resources, Tianqi Lithium, Vale, Zhejiang Huayou, and Zijin Mining Group Co. Ltd.

TENDENCIAS EN LAS PALANCAS DE DESCARBONIZACIÓN

INICIATIVAS QUE BUSCAN MEJORAR LA EFICIENCIA OPERATIVA Y REDUCIR LOS IMPACTOS AMBIENTALES



- **ELECTRICIDAD – FUENTES RENOVABLES:** La palanca más relevante, aunque, depende del portafolio energético de la red eléctrica local, o de la apertura del mercado para suscribir contratos de energía de largo plazo (PPAs).
- **EQUIPO MÓVIL – ELECTRIFICACIÓN DE FLOTAS:** Hoy existe un sobreprecio del 60-100% frente al diesel—que representa el 23% de los costos de producción en minería a cielo abierto. Las alternativas se enfocan en la reoptimización del plan de minado, la automatización y la reestructuración del costo de la electricidad.
- **EQUIPO MÓVIL – SUSTITUCIÓN DE COMBUSTIBLES:** Ante la ausencia de soluciones comercialmente viables para la electrificación de flotas, algunas empresas prueban con biocombustibles. La falta de estándares entre jurisdicciones complica el cálculo de la huella de carbono, sobre todo en lo que se refiere al cambio de uso de suelo.
- **BENEFICIO – PRECONCENTRACIÓN DE MINERALES:** Busca eliminar el material estéril antes del procesamiento, reduciendo el material a tratar, el consumo energético y los costos.
- **FUNDICIÓN Y REFINACIÓN:** Sustitución de combustibles fósiles por hidrógeno o biocombustibles en hornos y procesos de reducción; aún requiere optimización tecnológica y comercial.
- **OPTIMIZACIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA:** Permite reducir costos y emisiones, aunque con impactos variables y generalmente de menor impacto; incluye desde software de monitoreo y control de la demanda, hasta captura de energía residual o renovación de equipos.
- **COMPENSACIONES DE CARBONO:** Reforestación, créditos de carbono, restauración de tierras y captura de carbono para aquellas emisiones de difícil mitigación. Sin embargo, no evita que nuevas emisiones entren al sistema.



INNOVACIÓN Y TECNOLOGIA EN LA INDUSTRIA MINERA

COMPROMISOS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DEL TOP 20 DE COMPAÑÍAS MINERAS

Company	Scope 1 and 2		Scope 3	
	2021-2030	Long term	2021-2030	Long term
Vale	33%	100%	-	15%
BHP	30%	100%	30-40% ⁱ	-
Rio Tinto	30%	100%	15%	-
Glencore	40%	100%	40%	100%
Freeport-McMoRan	15%	-	-	-
Codelco (Corporación Nacional del Cobre)	70%	-	-	-
Fortescue Metals Group	26%	100%	-	-
Norilsk Nickel	25% ⁱ	-	-	-
Barrick Gold	10%	-	-	-
Southern Copper	-	-	-	-
Newmont	30%	100%	15%	100%
Hancock Prospecting	-	-	-	-
KGHM Polska Miedź	-	-	-	-
Teck Resources	33%	100%	-	-
AngloGold Ashanti	-	-	-	-
First Quantum Minerals	-	-	-	-
Zijin Mining Group	-	-	-	-
Anglo American	30%	100%	-	-
Sibanye-Stillwater	27%	-	-	-
Mitsui	50%	100%	50%	100%

Nota: Las reducciones pueden incluir la eliminación de CO₂ (por ejemplo, mediante reforestación o captura directa de aire) y créditos de emisiones (generados por reducciones de emisiones en otros sectores). Los objetivos de largo plazo abarcan compromisos a cumplir en 2035, 2040 o 2050.

ⁱ = objetivo de intensidad.

UN PROBLEMA LOCAL CON OPORTUNIDADES GLOBALES

LA CADENA DE VALOR DE CADA MINERAL ENFRENTA DIFERENTES DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES DE INNOVACIÓN

TENDENCIAS DE MINERALES SELECTOS

FeNi & NPI: las emisiones provienen principalmente del uso de combustibles fósiles en el horno rotatorio para secado, calcinación y reducción del mineral.

- La conversión de NPI a *matte* —cada vez más común para acceder al mercado de baterías— requiere energía adicional y eleva la intensidad de emisiones. Estos procesos siguen siendo altamente intensivos en el consumo de la energía.

Li: en concentrado, los procesos de calcinación, tostación y lixiviación son altamente intensivos en energía y dependientes de combustibles fósiles; la intensidad final varía según el factor de la red eléctrica. Soluciones actuales incluyen la sustitución de combustibles.

- En salmuera, tiene mucho menor consumo energético al basarse en evaporación; ya que son etapas químicas menos intensivas. Sin embargo, su traslado para procesamiento añade costos y emisiones.



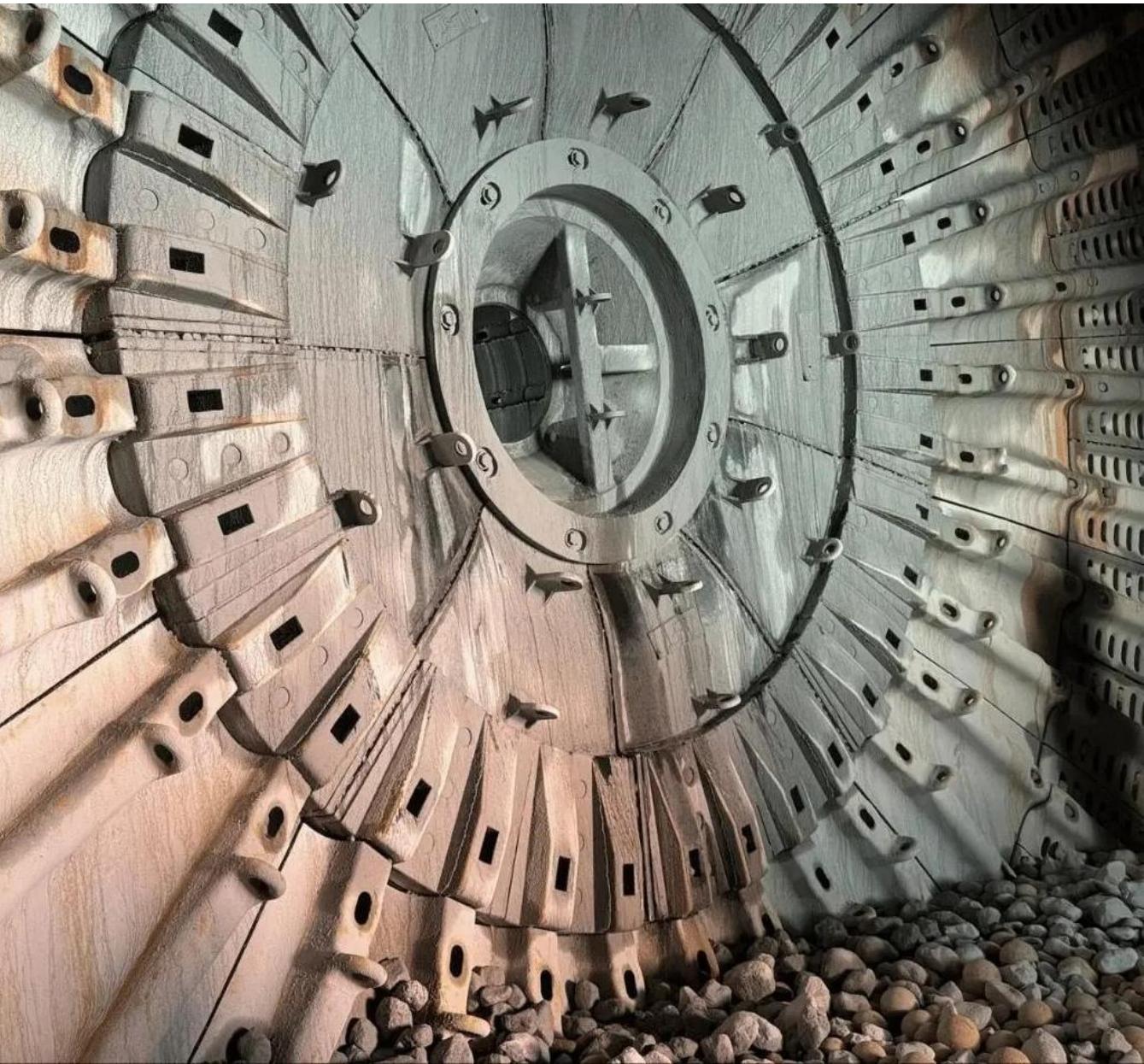
ALGUNOS EJEMPLOS RECENTES DE INICIATIVAS DE PARES EN LA INDUSTRIA

- **Sustitución de combustibles:** incluye la conversión de boilers de carbón a gas natural, reconversión de plantas carboeléctricas a biomasa o GNL, la sustitución de diésel por biodiesel en mina, planta, y circuitos de fundición y refinación, así como el reacondicionamiento de camiones de acarreo para operar con bioetanol o mezclas de diésel-GNL.
- **Proyectos de optimización y eficiencia energética:** abarcan desde el uso de *scorecards* para el monitoreo del desempeño de operadores, la sustitución de acarreo por locomotora o bandas transportadoras, hasta el aprovechamiento de calor residual de proceso para cogeneración.

Los proveedores pueden ayudarnos a acelerar nuestra transición apoyándonos en el desarrollo y pilotaje de tecnologías clave, incluyendo:

- **Electrificación de equipos** para reducir emisiones y mejorar condiciones operativas.
- **Energía renovable y almacenamiento** para disminuir la dependencia de combustibles fósiles.
- **Optimización de procesos y herramientas digitales** que mejoran eficiencia y reducen desperdicios en tiempo real.
- **Gestión avanzada de agua y residuos**, fomentando la reutilización y circuitos cerrados.
- **Combustibles alternativos y soluciones de captura de carbono (CCUS)** para emisiones de difícil mitigación.
- **Métodos de extracción y procesamiento innovadores** que requieren menos energía, agua y perturbación superficial.

Por otra parte, invitamos a que nuestros proveedores aguas arriba comiencen a medir sus impactos y establezcan sus propias ambiciones de descarbonización para asegurar coherencia y progreso en toda la cadena de valor.





005

QUÉ ESTÁ
HACIENDO
FRESNILLO

CONTRIBUCIÓN A LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

22

INICIATIVAS EN MARCHA PARA REDUCIR NUESTROS IMPACTOS AMBIENTALES EN UN ENTORNO GEOPOLÍTICO Y REGULATORIO CADA VEZ MÁS COMPLEJO

- Energía renovable:** Optimización del portafolio eléctrico para maximizar el consumo de energía eólica; meta de **75% al 2030**.
- Sustitución de combustibles:** Piloto de reacondicionamiento de motores de diesel a **diésel–GNL** en camiones de acarreo (Herradura).
- Gestión de agua:** Reacondicionamiento y operación de plantas de tratamiento y potabilizadora para la **sustitución de agua de laboreo por residual tratada**, en coordinación con el municipio de Fresnillo (Distrito Fresnillo). Contribución voluntaria 300,000 m³ anuales bajo el marco del Plan Nacional Hídrico 2024-2030.
- Cambio climático:** Identificación de riesgos y oportunidades, controles y medidas de mitigación. Firma del Acuerdo Nacional por los Bosques, Selvas y Manglares.
- Descarbonización:** Evaluación de **palancas de valor** para trazar una hoja de ruta hacia la **neutralidad de carbono en 2050**.

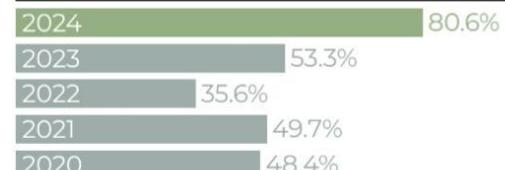


DESEMPEÑO DE INDICADORES CLAVE

Renewable electricity

(Percentage of renewable electricity consumption)

80.6%



Greenhouse gas intensity

(Tonnes of CO₂e per tonne of mineral processed)

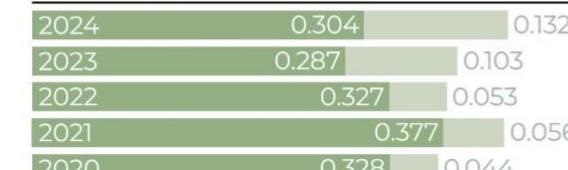
0.0182



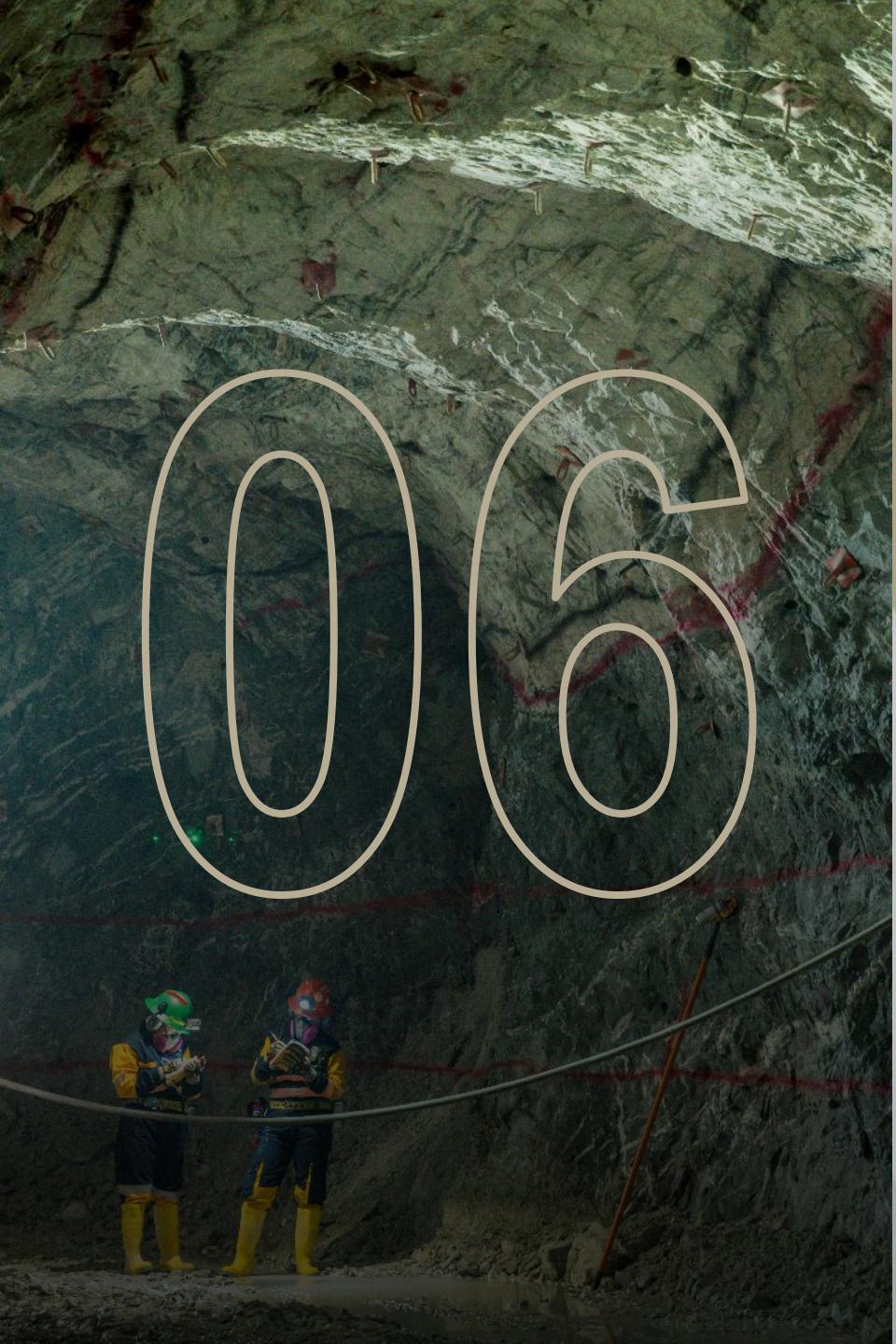
Water intensity

(m³ per tonne of mineral processed)

0.436



Fresh water
Waste water

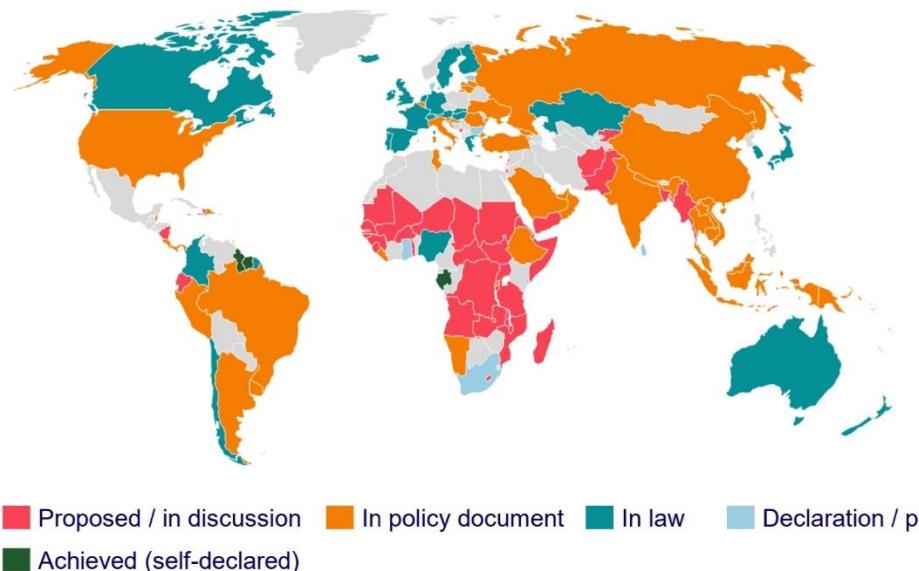


MARCOS DE REFERENCIA



- **Las metas de neutralidad de carbono cubren el 88% de las emisiones globales anuales:** la Unión Europea, Reino Unido, Estados Unidos, Japón y Corea del Sur tienen metas a 2050; China e India a 2060 y 2070, respectivamente.
- En la Unión Europea comienza a operar el Mecanismo de Ajuste en Frontera por Carbono (CBAM) para evitar las **fugas de carbono**; aplicará a importaciones de **aluminio, hierro y acero, fertilizantes, electricidad, cemento e hidrógeno**. También realizó una enmienda a su **Reglamento de Baterías**, que requiere un pasaporte único con código QR para la trazabilidad del ciclo de vida de todas las baterías industriales y de vehículos eléctricos.
- Factores como la pandemia, las disruptiones en las cadenas de suministro, las tensiones geopolíticas y las guerras arancelarias actuales han incrementado la incertidumbre económica global, afectando el avance hacia los objetivos necesarios para evitar escenarios climáticos más severos.

ESTATUS DE COMPROMISOS DE NEUTRALIDAD DE CARBONO POR PAÍS

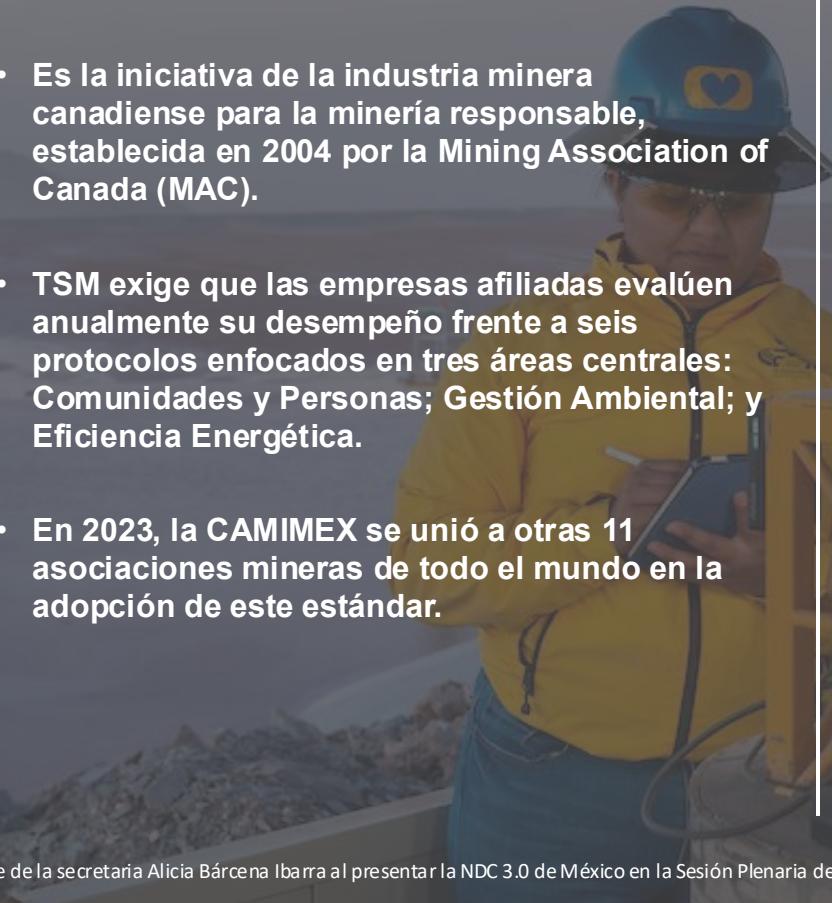


CONTRIBUCIONES DETERMINADAS A NIVEL NACIONAL (NDC)

- Son los planes nacionales de acción climática que presenta cada país en virtud del Acuerdo de París—el cumplimiento del objetivo mundial de limitar el aumento de la temperatura a 2°C respecto a niveles preindustriales.
- Existen dos tipos de compromisos: los no condicionados—a cumplirse con recursos propios—y los condicionadas, dependientes de apoyo financiero y tecnológico internacional.
- En noviembre de 2025 en la COP30, México se comprometió alcanzar un máximo de emisiones netas entre 364 y 404 millones de CO₂e para 2035, lo que representa una reducción del 50%.

TOWARDS SUSTAINABLE MINING (TSM)

- Es la iniciativa de la industria minera canadiense para la minería responsable, establecida en 2004 por la Mining Association of Canada (MAC).
- TSM exige que las empresas afiliadas evalúen anualmente su desempeño frente a seis protocolos enfocados en tres áreas centrales: Comunidades y Personas; Gestión Ambiental; y Eficiencia Energética.
- En 2023, la CAMIMEX se unió a otras 11 asociaciones mineras de todo el mundo en la adopción de este estándar.



ICMM: PRINCIPIOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Establecen requisitos ESG de buenas prácticas para las empresas afiliadas mediante expectativas de desempeño y lineamientos que contribuyen a metas globales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU y los Acuerdos de París:

1. Negocio ético
2. Toma de decisiones
3. Derechos Humanos
4. Gestión de riesgos
5. Salud y seguridad
6. Desempeño ambiental
7. Conservación de la biodiversidad
8. Producción responsable
9. Desempeño Social
10. Vinculación con grupos de interés

UN ENFOQUE INTEGRAL PARA LA SEGURIDAD DE LOS MINERALES

LOS SEIS PILARES DE LA EIA EN MATERIA DE SEGURIDAD ENERGÉTICA

26

Garantizar inversiones suficientes en fuentes nuevas y diversificadas de suministro

Promover la innovación tecnológica a lo largo de la cadena de valor

Ampliar las capacidades de reciclaje

Fortalecer la resiliencia y la transparencia de las cadenas de suministro de los mercados

Integrar estándares ambientales y sociales más altos

Reforzar la colaboración internacional entre países productores y consumidores

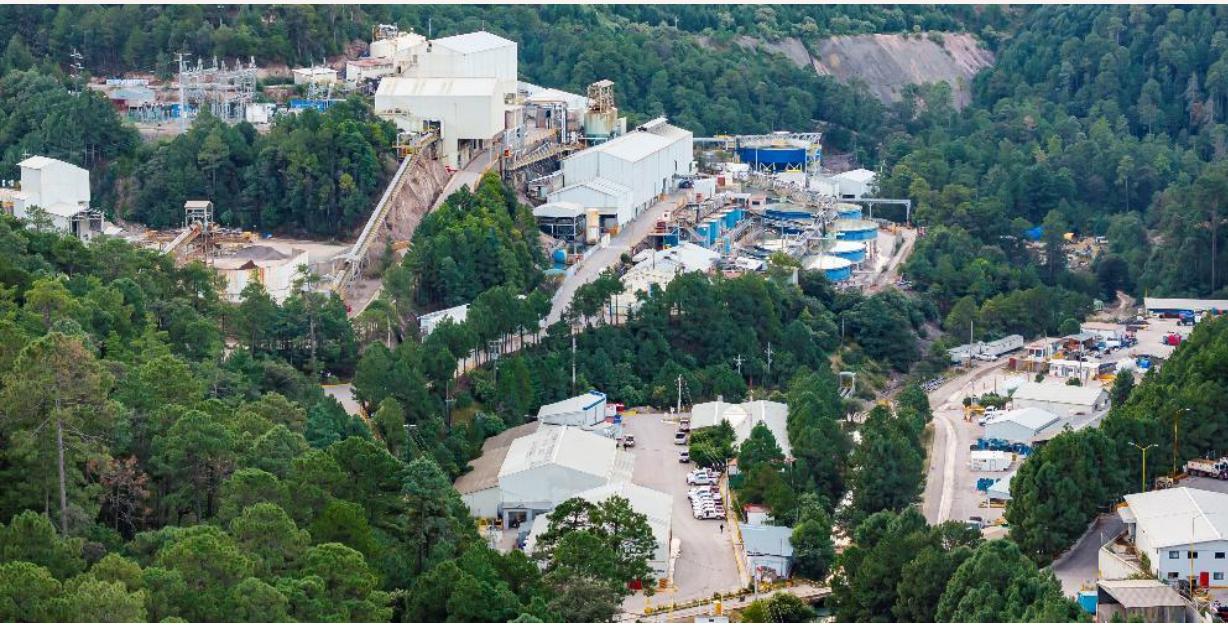


CONCLUSIONES

SIN MATERIALES CRÍTICOS, NO HAY TRANSICIÓN ENERGÉTICA

PARA AVANZAR, NECESITAMOS MÁS MINERÍA—PERO UNA MINERÍA RESPONSABLE

- La creciente demanda de minerales requiere no solo aumentar la producción, sino también fortalecer prácticas de minería responsable.
- Esto incluye reconocer los derechos sobre la tierra, reforzar la seguridad de los trabajadores y seguir reduciendo los impactos sociales y ambientales asociados con la extracción, el refinado y el procesamiento.



- También es importante **promover la eficiencia en el uso y consumo de los recursos**, mediante la eficiencia operativa, el reciclaje de minerales provenientes de productos al final de su vida útil, el aprovechamiento de residuos y el diseño de tecnologías y sistemas que requieran menos materiales de origen.