

Cambios en la demanda de minerales

Análisis de los mercados del cobre y el litio,
y sus implicaciones

para los **países** de la **región andina**

Benjamin Jones
Francisco Acuña
Víctor Rodríguez



NACIONES UNIDAS

CEPAL



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

 www.cepal.org/es/publications

 www.cepal.org/apps

Cambios en la demanda de minerales

Análisis de los mercados del cobre y el litio, y sus implicaciones
para los países de la región andina

Benjamin Jones
Francisco Acuña
Víctor Rodríguez



Este documento fue preparado por Benjamin Jones, Francisco Acuña y Víctor Rodríguez, con la colaboración sustantiva de Juan Esteban Fuentes, Álvaro Acosta, Marcelo Bolton, George Heppel y Nicolás Robles, todos de la empresa CRU Consulting, bajo la supervisión de Jeannette Sánchez, Directora de la División de Recursos Naturales de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco de las actividades del programa Cooperación Regional para la Gestión Sustentable de los Recursos Mineros en los Países Andinos, ejecutado por la CEPAL en conjunto con la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania.

Los autores agradecen los comentarios de Pablo Chauvet, Mauricio León, José Luis Lewinsohn y Orlando Reyes, funcionarios de la División de Recursos Naturales de la CEPAL, y de Víctor Andrés Garzón, Nicolas Maennling y Cristina Muñoz, de la GIZ.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2021/89
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2021
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.21-00341

Esta publicación debe citarse como: B. Jones, F. Acuña y V. Rodríguez, "Cambios en la demanda de minerales: análisis de los mercados del cobre y el litio, y sus implicaciones para los países de la región andina", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2021/89), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Introducción	7
I. Perspectivas del mercado del cobre	9
A. Demanda de cobre refinado	10
1. Consumo de cobre por región, por producto semielaborado y por uso final	10
2. Factores que influyen la demanda del cobre	12
3. Cambios estructurales que afectan la demanda de cobre	12
4. Proyección global de la demanda del cobre a mediano y largo plazo.....	17
B. Oferta de cobre	19
1. Contexto de la oferta de cobre refinado y proyección de la oferta de cobre mina	19
2. Análisis de competitividad de costos de los productores de cobre en la región.....	24
II. Perspectivas del mercado de litio y baterías	27
A. Análisis de la demanda de litio.....	28
1. Evolución del mercado del litio y baterías	28
2. Tendencias de la demanda de baterías de litio	34
3. Proyección de demanda de litio a 2030	36
B. Análisis de la oferta de litio	41
1. Proyectos y proyección de la oferta	43
2. Proyección de oferta y capacidad en los países andinos	47
3. Análisis de competitividad de costos de los productores de litio en la región.....	49
III. Impacto de escenarios y principales perspectivas de desarrollo sostenible para la industria de cobre y litio en la región	55
A. Análisis de escenarios de demanda de cobre y litio	57
1. Definición de los escenarios	57
2. Proyecciones de escenario optimista	59
3. Proyecciones bajo escenario pesimista	62
B. Lineamientos de políticas para una mejor gestión en la minería de los países andinos en búsqueda de un desarrollo sostenible	65
1. Impacto ambiental	66
2. Impacto socioeconómico	71

Bibliografía	77
Anexos	79
Anexo 1	80
Anexo 2	83
Anexo 3	85
Anexo 4	88
Anexo 5	92
Cuadros	
Cuadro 1 Cobre utilizado según tipo de vehículo.....	14
Cuadro 2 Intensidad de uso del cobre en energías renovables, 2020.....	15
Cuadro 3 Proyección de la demanda de cobre, 2020-2030.....	18
Cuadro 4 Proyección de la demanda de cobre refinado, 2020-2030.....	19
Cuadro 5 Producción potencial de minería de cobre por región, 2020-2030.....	21
Cuadro 6 Análisis de distribución de producción en Chile y Perú por cuartil de costos.....	26
Cuadro 7 Demanda de litio por región y por producto, 2015-2019.....	29
Cuadro 8 Resumen de las tecnologías de baterías utilizadas actualmente.....	31
Cuadro 9 Operaciones y proyectos existentes en la región (excluyendo Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de) y Chile).....	44
Cuadro 10 Operaciones y proyectos existentes en los países del Triángulo del Litio	47
Cuadro 11 Tasas de pago de arriendo a CORFO por parte de productores de litio en Chile	50
Cuadro 12 Análisis de sensibilidad para una variación de 5% en la venta de BEV sobre la demanda de cobre y litio.....	58
Cuadro 13 Tamaño de batería promedio de BEV por región.....	58
Cuadro 14 Distribución de tipo de batería por región	59
Cuadro 15 Potencial de uso de energías renovables respecto de la demanda total de electricidad de la minería de cobre en Chile, 2019-2023	70
Gráficos	
Gráfico 1 Consumo regional de cobre refinado, 2020	10
Gráfico 2 Consumo total de cobre y distribución de uso final, 2020	11
Gráfico 3 Intensidad histórica de uso per cápita frente al PIB per cápita, 1980-2019.....	12
Gráfico 4 Efecto de los EV en el consumo global de cobre refinado en el largo plazo, 2015-2030	13
Gráfico 5 Consumo global de cobre en energías renovables.....	15
Gráfico 6 Producción minera de cobre ponderada por región, 2020-2030.....	22
Gráfico 7 Análisis de la brecha de producción, 2020-030	22
Gráfico 8 Proyección de la producción de cobre en Chile, 2020-2030	23
Gráfico 9 Proyección de la producción de cobre en Perú, 2020-2030.....	23
Gráfico 10 Curvas de CRU Cash Cost [®] sin restricción para 2020, 2025 y 2030	24
Gráfico 11 Demanda de litio por aplicación, 2015 y 2019.....	28
Gráfico 12 Demanda de litio por aplicación de batería, 2015-2019	30
Gráfico 13 El contenido de litio es estable en alrededor de 0,7-0,8	32
Gráfico 14 Demanda de litio en aparatos electrónicos portátiles, 2015-2019.....	33
Gráfico 15 Demanda de litio industrial por uso final, 2015-2019	34
Gráfico 16 Demanda global de baterías de iones de litio por tipo de uso final, 2015-2030.....	35
Gráfico 17 Proyección total de la demanda de litio, 2015-2030, LCE.....	36
Gráfico 18 Participación de mercado total del uso final de la demanda de litio, 2015-2030.....	37
Gráfico 19 Demanda mundial de vehículos ligeros por transmisión, 2015-2030	38
Gráfico 20 Ventas de vehículos eléctricos por transmisión, 2015-2030.....	38

Gráfico 21	Capacidad media de la batería BEV.....	39
Gráfico 22	Proyección de demanda de baterías para xEVs, por tipo de química.....	40
Gráfico 23	Proyección de demanda de hidróxido y carbonato de litio en el mediano plazo para vehículos eléctricos.....	40
Gráfico 24	Demanda de litio dependiendo de su utilización.....	41
Gráfico 25	Suministro mundial de minas de litio por país, 2015-2019.....	42
Gráfico 26	Proyectos <i>greenfield</i> lideraron el aumento del suministro de litio entre 2015 y 2019.....	43
Gráfico 27	Caso base de suministro de litio, por tipo de yacimiento.....	43
Gráfico 28	Producción de litio.....	44
Gráfico 29	La nueva oferta estará dominada por una mayor producción <i>brownfield</i>	45
Gráfico 30	Caso base de oferta total de litio de mina, considerando todos los proyectos sin restricción.....	45
Gráfico 31	Proporción del suministro de productos químicos del caso base considerado.....	46
Gráfico 32	Suministro de hidróxido de litio considerado por fuente.....	46
Gráfico 33	Suministro de litio chileno, proyección sin restricciones, 2015-2030.....	48
Gráfico 34	Suministro de litio argentino, proyección sin restricciones, 2015-2030.....	49
Gráfico 35	Detalle de la estructura de costos de productores de litio en Argentina y Chile (en términos reales de 2020).....	51
Gráfico 36	Curva de costos de negocio del carbonato de litio, 2020, 2025 y 2030.....	52
Gráfico 37	Curvas de costos del negocio para carbonato e hidróxido, 2020.....	54
Gráfico 38	Curva de costo de negocio del hidróxido de litio, 2025.....	54
Gráfico 39	Proyección de demanda de vehículos livianos eléctricos de batería para escenarios.....	57
Gráfico 40	Proyección de consumo global de cobre refinado bajo escenario optimista, 2019-2030.....	61
Gráfico 41	Proyección de demanda de litio bajo escenario optimista, 2019-2030.....	62
Gráfico 42	Consumo global de cobre refinado bajo los diferentes escenarios, 2019-2030.....	64
Gráfico 43	Proyección de demanda de litio bajo escenario pesimista, 2019-2030.....	65
Gráfico 44	Emisiones de carbón en la industria del cobre.....	70
Gráfico 45	Porcentaje de costos de empleo sobre CRU Site Cost® en la minería del cobre.....	72
Gráfico 46	Aporte al empleo de la industria del cobre.....	73
Gráfico 47	Porcentaje de costos de empleo sobre CRU Site Cost® en la minería del litio.....	73
Gráfico 48	Aporte al empleo de la industria del litio.....	74
Recuadros		
Recuadro 1	Transición energética baja en carbono.....	16
Recuadro 2	Iniciativa para el aseguramiento de la minería responsable (The Initiative for Responsible Mining Assurance (IRMA)).....	66
Diagramas		
Diagrama 1	Cadena de valor de minerales de litio.....	50
Diagrama 2	¿Cómo funciona el EU ETS?.....	69
Diagrama A1	Esquema definición de costos de CRU para el litio.....	84
Diagrama A2	Definición de costos de CRU.....	85
Diagrama A3	Módulos considerados para la proyección de la demanda de litio.....	94
Mapa		
Mapa 1	Mapa ilustrativo de políticas de prohibición de vehículos ICE en Europa.....	60

Introducción

El presente estudio ha sido mandatado por la División de Recursos Naturales (DRN) de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco de las actividades del Programa Cooperación Regional para la Gestión Sustentable de los Recursos Mineros en los países Andinos (MinSus), financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania, e implementado juntamente con la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).

De acuerdo con los términos de referencia del proyecto, **este estudio se estructura en dos reportes**, los cuales apuntan a documentar un análisis cuantitativo de los cambios en los patrones de demanda y uso de minerales a nivel mundial y de los países de la región andina, así como las implicaciones asociadas al despliegue global de tecnologías para la transición energética. Asimismo, se presenta un análisis cuantitativo y cualitativo de las cadenas globales de valor del litio para la producción de baterías de iones de litio para vehículos eléctricos, haciendo foco en las potencialidades para escalamiento de los países andinos¹.

En este primer reporte se presenta un análisis asociado a los mercados del cobre y del litio, enfocado principalmente en la región comprendida por Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de), Chile y Perú. Junto con establecer las perspectivas relacionadas a su oferta y demanda actual y futura, se identifican los principales factores de cambio en el mediano y largo plazo. El reporte también analiza cómo la gestión minera sustentable, en conjunto con otras tendencias actuales, influenciarán en estos mercados.

Este documento se estructura en tres capítulos. El primero aborda las perspectivas asociadas al mercado del cobre, entregando proyecciones y análisis del comportamiento de la demanda en diferentes regiones y destacando la participación de los diferentes mercados finales del cobre. Junto a lo anterior, se abordan tanto de forma cualitativa como cuantitativa aquellos factores con incidencia directa en las proyecciones de consumo del cobre, identificando cómo el desarrollo sustentable se relaciona con este mercado. En cuanto a la oferta, se describe la situación actual del sector productivo, desarrollando estimaciones futuras de la capacidad minera esperada, revisando en detalle los casos de Chile y Perú.

¹ Véase el segundo informe de este estudio, B. Jones, F. Acuña y V. Rodríguez, "Cadena de valor del litio: análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos", Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/86), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021.

En el segundo capítulo se analiza en detalle el mercado del litio, destacando el rol de las baterías de iones de litio dentro del mismo. Para esto, se describe la penetración de los vehículos eléctricos dentro del parque automotriz mundial en el mediano y largo plazo como impulsor principal de la demanda futura de los dos productos principales de litio (carbonato e hidróxido). Estas proyecciones son acompañadas con un análisis y estimaciones de producción en el mediano y largo plazo, mostrando la variación esperada de la oferta mundial necesaria para abastecer la demanda creciente, y los cambios que esto implica en la participación de Chile, Argentina y Bolivia (Estado Plurinacional de).

Finalmente, el tercer capítulo del reporte incluye un análisis de escenarios alternativos de demanda de cobre y litio considerando diferentes narrativas asociadas al impacto y recuperación de la pandemia y del nivel de penetración de la electromovilidad. Los escenarios pesimista y optimista se contrastan con el caso base, discutiendo también cuáles son los principales impulsores de estas variaciones. Junto a este análisis, en el capítulo III se discuten y proponen lineamiento de políticas públicas para una mejor gestión minera, abordando temáticas relacionadas a la responsabilidad medioambiental y social de la industria, destacando aquellas buenas prácticas observadas dentro de los países estudiados, y comentando puntos de relevancia que deben ser abordados por los mismos.

I. Perspectivas del mercado del cobre

Puntos clave:

- CRU estima que la demanda mundial de cobre aumentará de 26,9 a 33,5 millones de toneladas entre 2020 y 2030, lo que representa una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) del 2,2% durante este período. La mayor parte del crecimiento de la demanda de cobre provendrá de mercados emergentes como India y el sudeste asiático, aunque China seguirá siendo el mayor consumidor de cobre a nivel mundial, representando el 44% de la demanda mundial de cobre refinado para 2030.
- Para 2030, alrededor del 82% del consumo de cobre se satisfará con cobre refinado y el 18% se cubrirá con chatarra de uso directo, comparado con 86% y 14% en 2020, respectivamente. El uso de chatarra crecerá a un ritmo ligeramente superior al de la producción total de cobre refinado.
- El papel que desempeñan los vehículos eléctricos en el crecimiento de la demanda de cobre a largo plazo es fundamental. Sin este vector, el consumo de cobre esencialmente se mantendría sin cambios a partir de 2030 cuando se espera que los vehículos eléctricos representen alrededor del 10% de la demanda total de cobre.
- Alrededor de 640.000 t de cobre se consumieron a nivel mundial en tecnologías de energía renovable en 2020, equivalente a ~2,4% de la demanda total global. CRU proyecta que en los próximos 10 años la demanda asociada a este sector aumentará a una TCAC de 7,7% alcanzando 1,35 millones de toneladas en 2030.
- Chile es el principal productor minero de cobre, representando aproximadamente un tercio de la producción mundial. Perú, por otro lado, ha aumentado la producción en 1,2 millones de toneladas en la última década, siendo responsable de más del 25% del crecimiento total de la producción de cobre de mina en este período.
- A nivel global, la oferta de cobre de las minas existentes y los proyectos firmes disminuirá de 20,2 millones de toneladas en 2020 a 18,4 millones de toneladas en 2030 debido al agotamiento de los recursos y la reducción de las leyes del mineral. Dado que la capacidad actual no será suficiente para cumplir con la demanda, se requerirá la puesta en marcha de nuevos proyectos.

- Sin embargo, el desarrollo de proyectos *greenfield* es complejo y crea incertidumbre en el balance a largo plazo de la industria debido al tiempo de desarrollo prolongado desde el descubrimiento hasta la obtención de los permisos y la construcción, que puede tardar alrededor de 15 años.
- Nuevos proyectos permitirán mantener los niveles de producción en Chile y Perú a pesar de la disminución de la producción de las operaciones mineras existentes.
- El precio promedio anual LME Cash de cobre en 2020 fue de 6.181 US\$/t, lo que significa que en promedio el 94% de la producción mundial de cobre tuvo márgenes operativos positivos.
- Chile y Perú tienen operaciones muy competitivas en términos de costos. El promedio ponderado del CRU Cash Cost[®] de las operaciones en 2020 fue 2.874 US\$/t en Chile y 2.516 US\$/t en Perú, lo que resulta en márgenes operativos saludables considerando un precio promedio de aproximadamente 6.200 US\$/t.

A. Demanda de cobre refinado

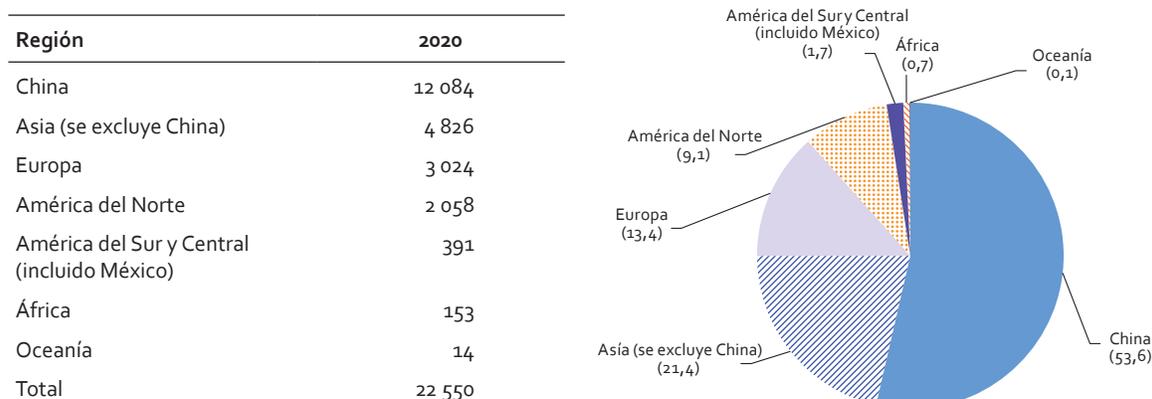
1. Consumo de cobre por región, por producto semielaborado y por uso final

El cobre refinado se obtiene extrayendo, procesando y refinando una variedad de minerales de óxido y sulfuro de cobre. Luego, se transforma en varios productos semielaborados (alambrón, varillas, barras y secciones, tiras, láminas, placas y tubos) antes de su uso final en construcción, la industria automotriz, manufactura, arquitectura y otras aplicaciones.

a) Consumo regional del cobre

Es importante señalar que cuando se hace referencia al consumo de cobre de un país, este corresponda al consumo de cobre refinado para la fabricación de productos semielaborados. Por ejemplo, si un aire acondicionado se fabrica en Japón, pero los tubos de cobre contenidos en el producto se fabricaron en China, se considera que el consumo de cobre tuvo lugar en China, cuando el cobre refinado se convirtió en tubo de cobre.

Gráfico 1
Consumo regional de cobre refinado, 2020
(En miles de toneladas y en porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

La participación de China representó el 53,6% del consumo total de cobre refinado en 2020. China ha sido la principal fuerza detrás del aumento del consumo de cobre en la última década, impulsado por su rápida expansión económica, la creciente urbanización y la inversión en infraestructura e industria. Asia (excluida China), representa el 21,4% del consumo de cobre, seguido por Europa y América del Norte con el 13,4% y el 9,1% del total mundial, respectivamente.

b) Consumo por producto semielaborado y uso final

El cobre refinado se transforma en varios productos semielaborados: alambrión, tubos, láminas, tiras, placas, láminas, varillas, barras y secciones, antes de ser utilizado en sectores de uso final como construcción, industria automotriz, manufactura, arquitectura y otros.

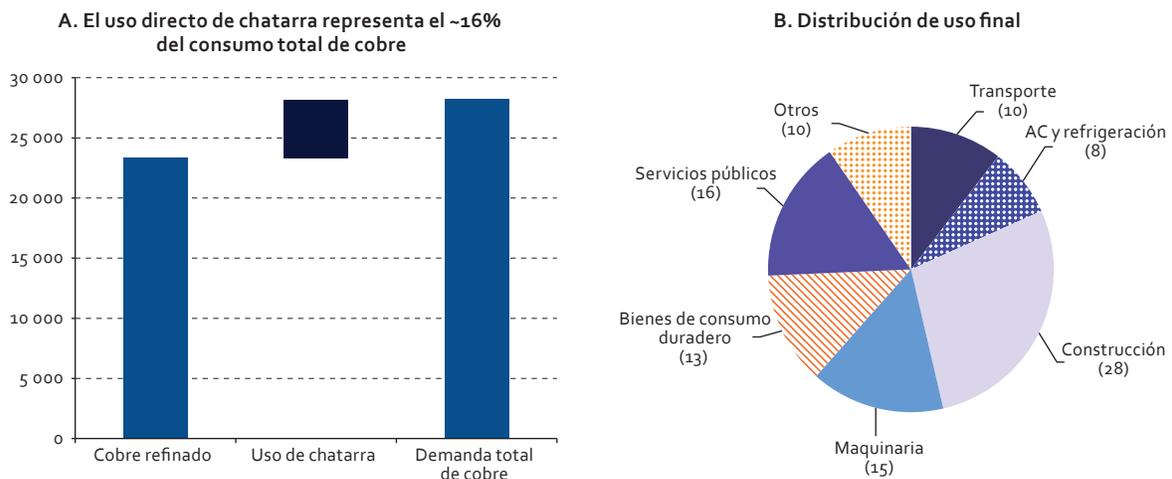
El alambrión constituye la mayor parte del consumo de cobre refinado con un 72,5% y es usado principalmente en la fabricación de alambres y cables de cobre para distribución de energía y en telecomunicaciones. El alambre de construcción es el uso más común del alambrión y es el uso final más importante del cobre.

El tubo de cobre y el tubo de aleación tienen una amplia variedad de usos finales. Sin embargo, sus dos usos finales más importantes son el tubo de plomería y el uso en la fabricación de calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración. El uso en tubos representó el 12% del consumo de cobre refinado en 2020.

Los productos laminados planos de cobre se utilizan ampliamente en aplicaciones como productos eléctricos, edificios y construcción, automóviles y segmentos militares. Las láminas y tiras de cobre y aleación de cobre se utilizan en la industria de la construcción para fabricar puertas y bisagras, interruptores, cableado, cerraduras y enchufes eléctricos.

El consumo total de cobre incluye no solo el cobre refinado, sino también la chatarra de uso directo, que es básicamente la chatarra que se utiliza directamente en las plantas de semi manufactura. Este material de desecho es principalmente chatarra de aleación y chatarra de alta calidad. Se estima que en 2020 se consumieron 4,4 millones de toneladas de chatarra de uso directo, y el consumo total de cobre alcanzó los 26,9 millones de toneladas el mismo año.

Gráfico 2
Consumo total de cobre y distribución de uso final, 2020
(En miles de toneladas y en porcentajes)



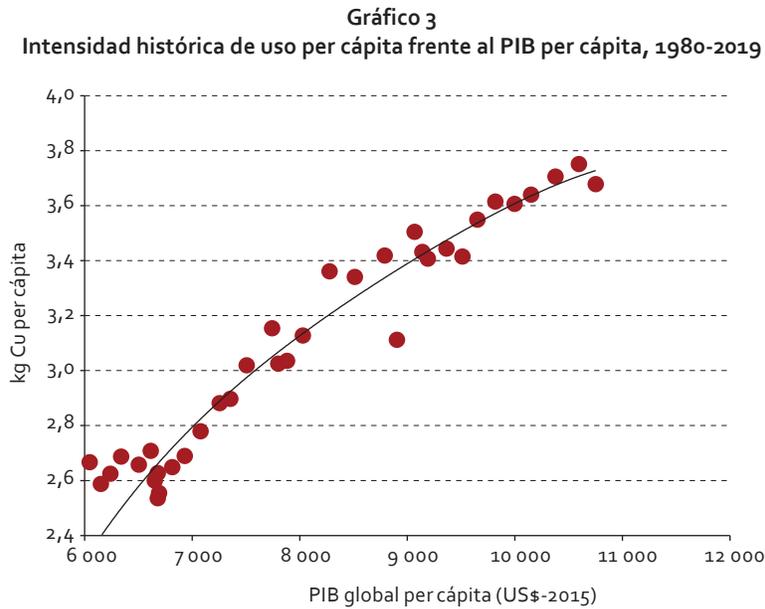
Fuente: Elaboración propia.

2. Factores que influyen la demanda del cobre

La demanda del cobre está estrechamente ligada al crecimiento económico y cambios en la intensidad de uso en las regiones clave (unidades de cobre consumidas per cápita), determinadas por el estado de desarrollo económico en las diferentes regiones.

Para identificar cómo se relaciona la demanda de cobre con los ciclos de desarrollo económico, CRU examina la intensidad de uso expresada como PIB per cápita sobre la base de la paridad del poder adquisitivo (PPA), una medida del desarrollo relativo. Con base en las tendencias históricas, se puede ver que la demanda de cobre per cápita aumenta drásticamente a medida que las naciones se industrializan, pero la intensidad luego disminuye en tanto se convierten en economías postindustriales basadas en servicios que tienden a importar productos manufacturados de países con salarios relativamente bajos.

El siguiente gráfico muestra la demanda histórica de cobre per cápita en función del PIB per cápita global a nivel mundial:



Fuente: Oxford Economics.

Se considera que China, que representa aproximadamente el 50% del consumo mundial de cobre refinado, se encuentra en un punto de inflexión (aparte de las preocupaciones causadas por el COVID-19). La "política de un solo hijo" de China ha limitado el crecimiento de la fuerza laboral, incluso, teniendo en cuenta los continuos aumentos de la productividad, el futuro crecimiento económico de China será notablemente más lento en los próximos quince años que en las últimas dos décadas. Más importante aún, que el crecimiento económico está cambiando de ser impulsado por la inversión a tener como eje principal el consumidor, que es inevitablemente menos intensivo en cobre en términos de PIB, aunque seguirá creciendo per cápita debido a que el consumo de cobre superará el crecimiento de la población.

3. Cambios estructurales que afectan la demanda de cobre

Los factores estructurales y los ciclos macroeconómicos pueden cambiar la cantidad de cobre refinado que se utiliza para producir una combinación particular de bienes y servicios, así como modificar los bienes y servicios que se demandan para un nivel particular de ingresos. Estos factores pueden tener un impacto significativo en la demanda de uso final.

Esta sección se centra en los ciclos macroeconómicos, los cambios tecnológicos actuales y emergentes y otros cambios estructurales, y sus posibles efectos sobre la demanda de cobre.

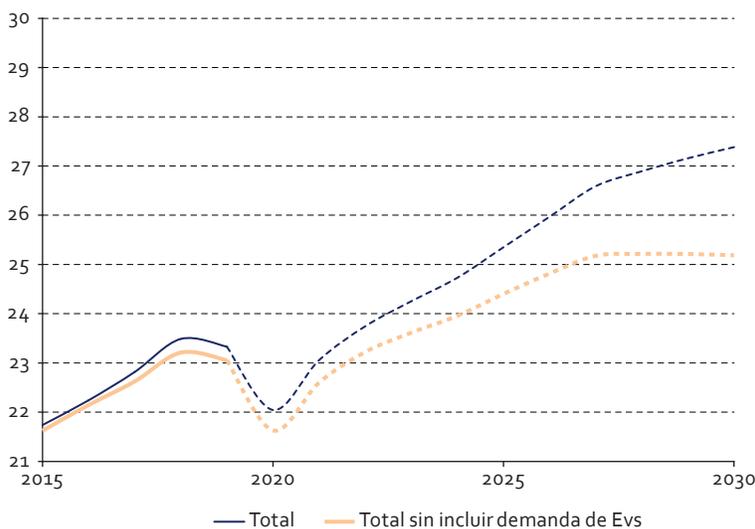
a) Sustentabilidad y economía "verde"

i) Vehículos eléctricos

CRU sostiene una visión positiva en el largo plazo sobre la adopción global de los vehículos eléctricos a pesar de los efectos del COVID-19. La proyección de CRU estima que la demanda de vehículos eléctricos de batería (BEV por sus siglas en inglés) se mantenga robusta a corto, mediano y largo plazo, apoyados en particular por una fuerte transición en China y la Unión Europea (UE). Más detalle sobre el mercado de vehículos eléctricos y baterías se pueden encontrar en las secciones II.A.1 y II.A.2 del presente reporte.

El papel que desempeñan los vehículos eléctricos en el crecimiento continuo de la demanda de cobre a largo plazo es fundamental, ya que, sin esto, el consumo en el mercado final esencialmente se mantendría sin cambios a partir de 2030. Actualmente, la participación de vehículos eléctricos (EV por sus siglas en inglés) en la producción mundial de vehículos ligeros (LDVs por sus siglas en inglés) representa menos del 10%, y solo alrededor del 3% de la producción si se excluyen los modelos híbridos convencionales. Los vehículos eléctricos siguen representando solo un pequeño porcentaje de metal refinado, y se espera que la demanda mundial de EVs, incluida la infraestructura asociada, se mantenga por debajo de las 500.000 toneladas en 2020. Sin embargo, a largo plazo, se espera que se convierta en un mercado pujante respaldado por subsidios e incentivos gubernamentales, que son un factor clave para la adopción de estas nuevas tecnologías ya que ayudan a alinear la asequibilidad con la de los vehículos tradicionales con motor de combustión interna (ICE por sus siglas en inglés).

Gráfico 4
Efecto de los EV en el consumo global de cobre refinado en el largo plazo, 2015-2030
(En millones de toneladas)



Fuente: Elaboración propia.

Los vehículos eléctricos y la infraestructura asociada empezarán a tener un impacto más significativo en la demanda de cobre a principios de la década de 2030. La demanda de cobre por parte del sector de vehículos eléctricos debería aumentar en el largo plazo, donde el segmento de infraestructura asociada

representa entre un 20% y un 25%, lo que refleja el aumento de la inversión en estaciones de carga, almacenamiento de baterías y redes eléctricas. El 70-75% restante de la demanda se debe a un mayor uso de cobre directamente en vehículos eléctricos, ya que la intensidad del uso de cobre aumenta cuanto más “electrificado” está el vehículo.

La cantidad de cobre que se utiliza en los vehículos varía de una unidad a otra, y no hay dos modelos que tengan el mismo contenido. Sin embargo, la cantidad promedio de cobre utilizada para un BEV es cuatro veces la cantidad en un vehículo ICE, que actualmente es de aproximadamente 20 kg por automóvil. Actualmente, en vehículos ICE el mayor consumo de cobre se encuentra asociado al cableado requerido para la transmisión de energía hacia los sistemas del vehículo, al cableado requerido para la transmisión de información desde los sistemas principales y los sistemas periféricos del vehículo (tales como sensores) hacia las unidades de control, entre otros. En el caso de los vehículos eléctricos, a estas aplicaciones se suma el consumo de cobre adicional requerido para la fabricación de los motores eléctricos (la intensidad de consumo de cobre se encontrará relacionada al tipo de motor utilizado por cada fabricante, siendo principalmente utilizado para la elaboración de los enrollados del motor, existiendo también aplicaciones para las cuales se emplean rotores elaborados en su totalidad de cobre sólido), además del material requerido en los sistemas de baterías y la infraestructura de carga necesaria para recargar las baterías del vehículo.

Cuadro 1
Cobre utilizado según tipo de vehículo
(En kilogramos)

	ICE	HEV	PHEV	BEV
Consumo de Cu	20	30	55	80

Fuente: Elaboración propia.

Nota: No se considera infraestructura de carga.

Se espera que la demanda de cobre asociada a los vehículos eléctricos represente alrededor del 10% de la demanda total de cobre en 2030, muy por encima del 2% de la demanda total que representa en la actualidad. Es importante tener en cuenta que los avances tecnológicos, como los sistemas de cableado más simples, podrían reducir el uso de metal por vehículo. Además, también podría haber una sustitución del aluminio en los sistemas de cableado de automóviles para ahorrar peso y costos. Aunque se espera que el aluminio gane algo de participación a través del pronóstico presentado en este informe, el cobre seguirá siendo el material más prevalente en los arneses eléctricos automotrices.

ii) **Energías renovables y eficiencia energética**

Desde la perspectiva de la demanda, la narrativa positiva a largo plazo para el cobre está dominada por la electrificación sustentable de las economías. Eso incluye, además de los vehículos eléctricos, las energías renovables y específicamente la energía solar fotovoltaica (PV por sus siglas en inglés), la energía eólica marina (*Off-shore*) y la eólica terrestre (*On-shore*).

La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) prevé que la capacidad de generación solar y eólica podría aumentar casi 10 veces durante los próximos treinta años, alcanzando 14.500 GW para 2050. El alambre y el cable de cobre en particular se utilizan ampliamente en estas tecnologías renovables, desde cables de voltaje entre módulos de paneles solares y matrices a cables de exportación de alto voltaje que conectan turbinas eólicas individuales a través de la red.

Como se indica en el cuadro 2, las intensidades de cobre por MW de capacidad instalada están significativamente por encima de las de la capacidad de generación de energía convencional (<1,0 t / MW).

Cuadro 2
Intensidad de uso del cobre en energías renovables, 2020
(En toneladas por MW)

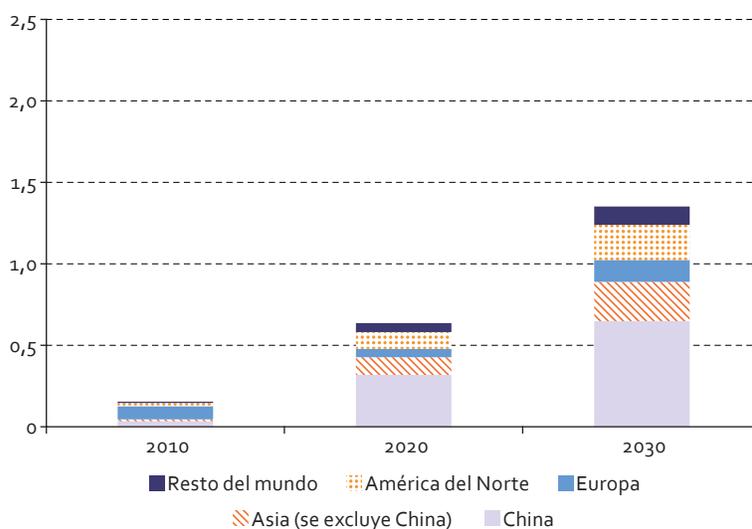
	Solar PV	Eólico <i>Off-shore</i>	Eólico <i>On-shore</i>
Intensidad Cu	3,6	8,2	2,4

Fuente: Elaboración propia.

Se estima que en 2020 se consumieron aproximadamente 640.000 t de cobre en tecnologías de energías renovables, lo que equivale al 2,4% de la demanda mundial. Esto ha aumentado desde las 153.000 t de hace tan solo 10 años. La energía solar fotovoltaica es el tipo de energía renovable que más cobre consume, lo que equivale al 64% de la demanda de energías renovables en 2020. Esto se debe principalmente a la gran escala de las instalaciones solares a nivel mundial. La energía eólica terrestre es la segunda tecnología más importante para la demanda de cobre con un 24,5%. La eólica marina es el segmento renovable menos importante en la actualidad, con un 11,6% de la demanda de cobre, debido al número limitado de instalaciones, a pesar de tener la mayor intensidad de uso de cobre.

En el mediano y largo plazo, se pronostica que la demanda mundial de cobre de uso final proveniente de energías renovables aumentará a una tasa anual de 7,7% TCAC (2020-20), alcanzando 1,35 millones de toneladas en 2030. Las instalaciones solares fotovoltaicas seguirán siendo clave para este crecimiento, aunque la eólica ganará terreno.

Gráfico 5
Consumo global de cobre en energías renovables
(En millones de toneladas)



Fuente: Elaboración propia.

Estas proyecciones no incluyen el cobre requerido para los sistemas asociados de transmisión y distribución eléctrica. Estos sistemas serán adiciones clave a las redes nacionales de todo el mundo para transmitir la electricidad generada a partir de la energía renovable hasta el punto de demanda. Esto es particularmente importante para las tecnologías de energía renovable, ya que sólo se pueden construir en ciertos lugares, a menudo a grandes distancias desde el punto de consumo.

Recuadro 1
Transición energética baja en carbono

Se espera que la transición energética hacia fuentes reducidas en carbono sea un proceso intensivo en el uso de minerales, y el cobre es uno de los elementos críticos para las distintas tecnologías de generación, almacenamiento o de captura de emisiones. Dentro de estas tecnologías, es posible mencionar la participación del cobre en los sistemas fotovoltaicos no solo como conductor en el cableado de los parques PV, sino que también se espera la integración de este material en las celdas de los paneles, lo cual ofrecería alternativas dentro del mercado donde actualmente las celdas en base a silicio alcanzan el 85% de la participación del mercado. Por otro lado, en el caso de la generación eólica, la cual ha mantenido un crecimiento sostenido de su capacidad instalada a nivel global, se observa una fuerte demanda de cobre dentro de esta aplicación, debido al extendido uso de generadores de inducción dentro de los aerogeneradores, ya que, si bien requieren de un uso intensivo de cobre en su manufactura, estos pueden ser operados por sistemas reducidos, e inyectar energía directamente a la red.

Debido a la relevancia del cobre en diversas tecnologías estratégicas para la reducción de emisiones, el Banco Mundial ha estimado que en ciertos escenarios la demanda del cobre pueda crecer hasta en un 213% por sobre el escenario actual proyectado al 2050.

Diagrama
Cobre y litio: aplicaciones en tecnologías para una transición energética baja en carbono

	Cobre	Litio
 Solar PV	✓	
 Eólica	✓	
 CSP	✓	
 ESS	✓	✓
 Hidroeléctrica	✓	
 Geotérmica	✓	

Fuente: Banco Mundial.
Nota: PV = Fotovoltaica, CSP = Concentración energía solar, ESS = Sistemas de Almacenamiento Energético. Las abreviaturas utilizadas se derivan de las respectivas siglas en inglés.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Banco Mundial.

b) Sustitución

La demanda de cobre se ha estancado en las últimas dos décadas debido a la sustitución, principalmente de aluminio, plásticos y cables de fibra óptica. El cobre ha perdido terreno en los mercados de automóviles, aires acondicionados, plomería, construcción, telecomunicaciones y transmisión de energía. El factor clave de la sustitución es la diferencia de costos entre el cobre y otros materiales. Sin embargo, el peso comparativo, la conformabilidad y la conductividad también juegan un papel importante a la hora de escoger entre los diferentes materiales.

En términos de vulnerabilidad a la sustitución, los cables eléctricos, que siguen siendo uno de los principales mercados de uso final del cobre, es donde los riesgos para el cobre son posiblemente los mayores, al menos en términos de tonelaje. En el segmento de energía de las empresas de servicios públicos, el cable se utiliza principalmente para la transmisión y distribución de energía. La sustitución

depende de pocos tomadores de decisión (generalmente entidades gubernamentales). Aunque el cobre seguirá siendo el material dominante para los cables subterráneos y submarinos, las redes eléctricas regulares en ciertas regiones podrían depender más del aluminio que del cobre en el futuro, principalmente debido a la diferencia de precio entre ambos materiales.

Para 2021, CRU estima que la relación entre el precio del cobre y el aluminio alcanzará un *ratio* de 3,8, con expectativas a la baja a partir de 2022, promediando un valor de 3,5 al considerar el período comprendido entre 2020 y 2025, lo cual corresponde a un alza respecto al período 2015-2019, donde esta relación tuvo un *ratio* promedio de 3,2. Como se ha mencionado, la diferencia de precios entre el cobre y los materiales sustitutos—en este caso, aluminio— corresponde al punto clave que impulsa la sustitución del cobre, y se espera que este aumento en la relación de precios incremente el reemplazo de cobre por aluminio en el mediano plazo. Un ejemplo de esto corresponde a la aplicación de cableado automotriz, donde CRU estima que, para 2023, en un 7,5% del total se hará uso de aluminio en vez de cobre. Esto correspondería a un incremento de 2,5 puntos porcentuales respecto a 2018, donde solo el 5% del total se realizó en base a este material.

c) Disponibilidad y uso de la chatarra

En términos absolutos, los avances en la tecnología de recuperación y los altos precios sostenidos del cobre aumentarán el interés en recuperar la chatarra del cobre y, por lo tanto, mejorarán la disponibilidad de material chatarra. Normalmente, se pasa del uso directo de chatarra en la producción de semis a la chatarra que se utiliza como materia prima en el proceso de producción refinada. Esto sucede cuando la producción industrial de un país asciende en la cadena de valor y la producción de semis avanza hacia aplicaciones intensivas refinadas de mayor calidad. Sin embargo, CRU cree que la mayor parte de esto se destinará a las fundiciones en lugar de utilizarse directamente en las plantas de cobre.

d) Miniaturización

La tendencia actual hacia dispositivos mecánicos, ópticos y electrónicos más pequeños y livianos seguirá siendo una característica del desarrollo tecnológico. Una reducción en el tamaño de los productos electrónicos podría resultar en un menor uso de cobre y, además, la sustitución del cobre por un material conductor más ligero. Un contrapeso a esto es que el contenido electrónico en los productos comerciales y de consumo seguirá aumentando, lo cual continuará aumentando la demanda de cobre.

4. Proyección global de la demanda del cobre a mediano y largo plazo

El impacto del COVID-19 ha obligado a realizar ajustes a las proyecciones anteriores para el mediano plazo, empezando por la demanda. Se prevé que la demanda total de cobre disminuya un 4,6% en 2020, lo que representa una de las recesiones más fuertes en las últimas décadas.

En el corto plazo se proyecta que la demanda total de cobre tenga una recuperación a mediados de 2021 y que supere los niveles de consumo de 2019 en el 2022. El crecimiento continuará a partir de ese momento, con un aumento de la demanda total de cobre de 6,6 millones de toneladas (de 26,9 a 33,5 millones entre 2020 y 2030). La mayor parte de este aumento de la demanda vendrá de países fuera de China en forma de cobre refinado. El consumo de chatarra de uso directo seguirá siendo relevante y cubrirá alrededor del 20% de la demanda en el 2030. Se prevé que el consumo de chatarra de uso directo será cada vez más relevante en el corto y mediano plazo, especialmente en China, ya que este tendrá mayor cantidad de chatarra a nivel nacional. Un importe cada vez mayor de productos intensivos en cobre llegará al final de su vida útil durante la próxima década y, dadas las grandes cantidades de material que podrían volver al mercado del reciclaje, la cantidad de desechos representará un número importante para el mercado. Aunque el sector del reciclaje doméstico está muy fragmentado y poco desarrollado, la visión de CRU es que las tasas de recuperación y recolección podrían aumentar debido a dos factores claves: la creciente mecanización y los conocimientos técnicos.

Cuadro 3
Proyección de la demanda de cobre, 2020-2030
(En miles de toneladas)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Cobre refinado	22 550	23 586	24 183	24 650	25 082	25 494
China	12 084	12 356	12 548	12 701	12 823	12 940
Global (se excluye China)	10 466	11 230	11 635	11 950	12 259	12 554
Uso de Chatarra	4 352	4 580	4 737	4 958	5 176	5 306
China	1 122	1 187	1 264	1 396	1 527	1 589
Global (se excluye China)	3 230	3 393	3 472	3 562	3 649	3 717
Demanda total de cobre	26 902	28 166	28 919	29 608	30 258	30 800
China	13 206	13 542	13 812	14 097	14 350	14 529
Global (se excluye China)	13 696	14 623	15 107	15 512	15 908	16 271
	2026	2027	2028	2029	2030	
Cobre refinado	25 960	26 426	26 892	27 156	27 382	
China	12 916	12 892	12 868	12 783	12 653	
Global (se excluye China)	13 044	13 534	14 025	14 372	14 729	
Uso de Chatarra	5 482	5 658	5 833	5 978	6 121	
China	1 655	1 721	1 787	1 857	1 925	
Global (se excluye China)	3 827	3 936	4 046	4 120	4 196	
Demanda total de cobre	31 442	32 084	32 725	33 133	33 502	
China	14 571	14 613	14 655	14 641	14 578	
Global (se excluye China)	16 871	17 471	18 070	18 492	18 924	

Fuente: Elaboración propia.

Para el cobre refinado específicamente, CRU estima que el consumo crecerá en 4,8 millones de toneladas, pasando de 22,5 a 27,3 millones entre 2020 y 2030, impulsado por el crecimiento económico. La mayor parte de este aumento provendrá de regiones distintas de China, particularmente de las economías emergentes. Las siguientes tablas muestran la proyección de CRU sobre la demanda mundial de cobre refinado por regiones y el consumo de cobre por productos semielaborados y los principales sectores de uso final.

El consumo de cobre refinado de China seguirá expandiéndose en los próximos años, aunque a una tasa significativamente menor a la de los 2000s, alcanzando un máximo de 12,9 millones de toneladas en 2026. En este punto, el consumo comenzará a disminuir, cayendo hasta 12,6 millones en 2030. Los cambios demográficos junto con un cambio de la infraestructura física y la industria pesada hacia una manufactura y servicios más livianos son la razón principal detrás de este cambio en la demanda de cobre a largo plazo en China. El crecimiento del PIB se reducirá a la mitad (~3,5%) en 2030 y el consumo de cobre refinado en áreas tradicionales como la construcción y el sector de servicios públicos disminuirá. La producción y el transporte de maquinaria serán los nuevos motores de la demanda en la región.

En los países desarrollados (América del Norte, Europa, el noreste de Asia y Australia), se esperan disminuciones en la intensidad del uso del cobre debido a una mayor desindustrialización y la caída de los requisitos de metal por dólar de producción manufacturada. Aunque esto tendrá un impacto negativo en el crecimiento, será compensado por un mayor uso de energías renovables y vehículos eléctricos. Esto resultará en la adición de ~1 millón de toneladas en los próximos 10 años.

En contraste, en las regiones en vía de desarrollo fuera de China (América Latina, África, Medio Oriente, India y los demás países emergentes de Asia), se espera que el consumo aumente ~3,0 millones de toneladas entre 2020 y 2030, impulsado por un crecimiento económico más amplio y una creciente urbanización que promueva la inversión en infraestructura y vivienda. La energía renovable jugará un papel menor en estas regiones debido a que los recursos naturales de países

menos desarrollados están ligados a una capacidad de generación eléctrica basada principalmente en combustibles fósiles. Del mismo modo, se espera que la adopción de vehículos eléctricos sea mucho menor que en otras regiones.

Cuadro 4
Proyección de la demanda de cobre refinado, 2020-2030
(En miles de toneladas)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025
China	12 084	12 356	12 548	12 701	12 823	12 940
Asia (se excluye China)	4 826	5 224	5 459	5 651	5 848	6 042
Europa	3 024	3 202	3 282	3 338	3 387	3 430
América del Norte	2 058	2 200	2 263	2 305	2 346	2 382
América del Sur y Central (se incluye México)	391	425	447	465	482	497
África	153	165	170	176	182	188
Oceanía	14	14	14	14	14	14
Total	22 550	23 586	24 183	24 650	25 082	25 494
Global (se excluye China)	10 466	11 230	11 635	11 950	12 259	12 554
	2026	2027	2028	2029	2030	
China	12 916	12 892	12 868	12 783	12 653	
Asia (se excluye China)	6 369	6 696	7 023	7 277	7 541	
Europa	3 501	3 572	3 643	3 667	3 690	
América del Norte	2 448	2 514	2 580	2 631	2 683	
América del Sur y Central (se incluye México)	506	514	522	526	528	
África	206	225	243	260	278	
Oceanía	14	13	13	11	9	
Total	25 960	26 426	26 892	27 156	27 382	
Global (se excluye China)	13 044	13 534	14 025	14 372	14 729	

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los sectores de productos semielaborados y de uso final, el alambroón seguirá siendo el producto de cobre semielaborado más grande y con el mayor crecimiento del 1,4% entre 2020 y 2030. Se proyecta que el consumo mundial de alambroón de cobre aumentará de 16,3 a 20,3 millones de toneladas durante este período. El consumo de cobre de tubos, aleaciones y otros productos presentarán una tasa de crecimiento promedio de 0,9% en el largo plazo, a 2030.

El sector de la construcción civil y de edificios seguirá siendo el sector de uso final de mayor consumo de cobre, y su participación en la demanda total de cobre se mantendrá en torno al 29%. El mayor crecimiento provendrá del sector del transporte, impulsado por el desarrollo del sector de vehículos eléctricos. Se prevé que el consumo de cobre para el transporte aumente de 2,6 a 4,3 millones de toneladas entre 2020 y 2030.

B. Oferta de cobre

1. Contexto de la oferta de cobre refinado y proyección de la oferta de cobre mina

Entre 2010 y 2019, la producción de cobre refinado creció de 18,7 a 23,3 millones de toneladas. Más del 85% de la producción provino de fuentes primarias o de producción minera, y el restante provino principalmente de chatarra utilizada en fundiciones durante la producción de blíster o en el proceso de producción de ánodos.

Aunque sí existe capacidad instalada de fundición y refinería tanto en Chile como Perú, la mayor producción viene de cobre mina, con concentrado de cobre y cátodos de SXEW como principales productos. En perspectiva, en el año 2020 CRU estima que la producción total de mina en Chile fue de 5.754 mil toneladas de cobre (4.280 mil toneladas en concentrado y 1.477 mil toneladas en cátodos de SXEW). A partir de esta producción, el volumen de refinado de cobre a nivel nacional fue de 2.336 mil toneladas (equivalentes a las 1.477 mil toneladas obtenidas de EW, además de 859 mil toneladas obtenidas a partir del concentrado de cobre, mediante proceso de electro refinación). En el caso de Perú, la producción de concentrado de cobre fue de 2.103 mil toneladas (2.053 mil toneladas en concentrado y 50 mil toneladas en cátodos de SXEW), mientras que el volumen de refinado de cobre fue de 334 mil toneladas (lo cual considera las 50 mil toneladas obtenidas por EW, junto a 284 mil toneladas producidas a partir de concentrado).

En este contexto, en esta sección se revisa en detalle las proyecciones de producción de cobre mina, ya que representa el mercado más relevante para Chile y Perú.

a) Producción mina – consideraciones metodológicas, proyectos y capacidad estimada

CRU ha adoptado una metodología de *Project Gateway* para evaluar la probabilidad de que los proyectos entren en operación. Para aplicar la metodología *Gateway*, se ha construido una base de datos de todas las operaciones y proyectos potenciales a nivel global. *Gateway* es un proceso sistemático para revisar los proyectos mineros a medida que avanzan a través de las etapas tradicionales de exploración, desarrollo y construcción. Estas entradas están vinculadas a un conjunto de criterios que evalúan el logro de los criterios clave de desarrollo de proyectos, que incluyen, entre otros, la aprobación y autorización del gobierno, la aprobación ambiental, los estudios de ingeniería, el financiamiento, la madurez técnica y acuerdos de *off-take*, entre otros. Se clasifican los activos de acuerdo con las siguientes cinco categorías:

- **Operaciones:** se ha logrado una producción regular y sostenible de productos comercializables, se han realizado los primeros envíos de producto.
- **Comprometido:** la construcción está en marcha. Excepto por imprevistos, estos proyectos deberían estar operando en un futuro muy cercano. No obstante, factores imprevistos, como la inestabilidad política o las fuertes caídas en el precio del cobre, aún podrían retrasar la puesta en marcha del proyecto. Por lo tanto, de la producción total esperada de los proyectos comprometidos, la proyección de oferta de CRU supone que el 80% de la producción total esperada de todos los proyectos comprometidos llega al mercado en un año dado.
- **Probable:** se completan los estudios de factibilidad definitivos (DFS); aprobaciones gubernamentales y ambientales obtenidas. La proyección de oferta de CRU supone que el 15% de la producción esperada de todos los proyectos probables llega al mercado en un solo año determinado.
- **Posible:** los estudios de prefactibilidad (PFS) han sido completados y el DFS está en curso al igual que las aprobaciones ambientales. Algunas expansiones planificadas en las operaciones existentes también se han clasificado como posibles, ya que dependen de la capacidad de producción actual que se alcance o de las fases de expansión anteriores que se realizarán. No obstante, proyectos *brownfield* en operaciones existentes generalmente enfrentan menos obstáculos para ingresar a la producción en comparación con los proyectos en áreas nuevas, principalmente debido a la experiencia de los propietarios y operadores en el desarrollo de proyectos, operación y experiencia en el mercado del cobre. La proyección de oferta de CRU supone que el 5% de la producción total esperada de todos los proyectos posibles llega al mercado en un año determinado.
- **Especulativo:** la actividad de exploración está en progreso; sólo se completaron estudios preliminares de alcance o el PFS está en curso. Estos proyectos se encuentran en una etapa relativamente temprana y es probable que el desarrollo se haya detenido para algunos de estos, pero se mantiene los proyectos en la base de datos porque podrían reactivarse con condiciones adecuadas del mercado. CRU no incluye ningún proyecto especulativo en sus proyecciones de oferta; lo cual no quiere decir que eventualmente lleguen al mercado.

b) Producción minera de cobre en el largo plazo

Se espera que la producción minera de cobre crezca ~3,5 millones de toneladas entre 2020 y 2030 y de este modo respaldar la proyección de producción de cobre refinado anterior. Al analizar la producción de mina, CRU separa la producción comprometida de la producción no comprometida. La producción comprometida incluye todas las operaciones y proyectos existentes que definitivamente están avanzando (proyectos en firme), restando cierres planificados. La producción no comprometida incluye proyectos dentro de la cartera que se clasifican en 3 categorías: probable, posible y especulativo.

Si bien la producción comprometida se considera parte de la proyección de producción base, no toda la producción no comprometida se pondrá en marcha ya que no se necesitarán todos los proyectos en trámite para satisfacer la demanda a largo plazo. El siguiente cuadro resume la producción minera por región que incluye la producción comprometida y la producción potencial no comprometida; mientras que el siguiente gráfico muestra el total ponderado por región de acuerdo a la categoría de los proyectos por región.

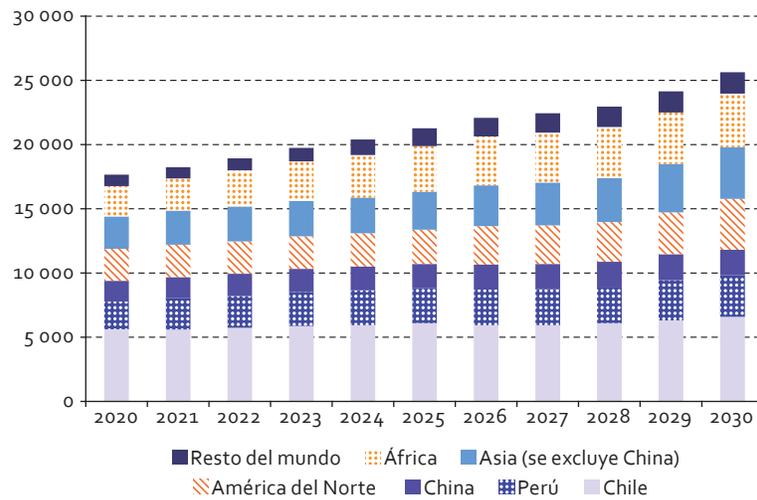
Cuadro 5
Producción potencial de minería de cobre por región, 2020-2030
(En miles de toneladas)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025
China	1 597	1 624	1 718	1 781	1 857	1 880
Asia (se excluye China)	2 525	2 650	2 724	2 768	2 796	2 967
Europa	1 817	1 806	1 899	2 025	2 241	2 400
América del Norte	2 503	2 549	2 520	2 528	2 584	2 669
América del Sur y Central (se incluye México)	8 415	8 825	9 062	9 441	9 557	9 788
Chile	5 630	5 604	5 747	5 873	5 936	6 097
Perú	2 163	2 436	2 483	2 674	2 715	2 723
África	2 362	2 504	2 814	3 076	3 304	3 550
Oceanía	988	1 008	1 021	1 097	1 152	1 301
Total	20 207	20 966	21 757	22 716	23 493	24 557
Producción comprometida	20 207	20 928	21 501	21 988	21 827	21 333
Producción potencial no comprometida	0	38	256	727	1 666	3 223
	2026	2027	2028	2029	2030	
China	1 941	1 972	1 988	2 000	1 987	
Asia (se excluye China)	3 188	3 329	3 417	3 774	4 027	
Europa	2 577	2 694	2 836	2 933	2 976	
América del Norte	2 992	3 014	3 097	3 279	3 961	
América del Sur y Central (se incluye México)	9 975	10 279	10 629	11 264	11 711	
Chile	5 941	5 942	6 094	6 320	6 599	
Perú	2 775	2 788	2 791	3 134	3 229	
África	3 805	3 888	3 996	4 003	4 164	
Oceanía	1 380	1 376	1 505	1 511	1 657	
Total	25 859	26 551	27 467	28 764	30 483	
Producción comprometida	20 978	20 217	19 433	18 972	18 377	
Producción potencial no comprometida	4 881	6 334	8 035	9 792	12 105	

Fuente: Elaboración propia.

En general, se espera que la producción de las minas salientes disminuya a largo plazo a medida que las minas más antiguas continúen agotándose. Sin embargo, la mayoría de las regiones tienen un potencial de crecimiento relevante en forma de proyectos probables, posibles y especulativos. Dada la cartera actual, todas las regiones tienen el potencial de aumentar la producción en más de 1 millón de toneladas entre 2020 y 2030, con la excepción de Europa y China.

Gráfico 6
Producción minera de cobre ponderada por región, 2020-2030
(En miles de toneladas)

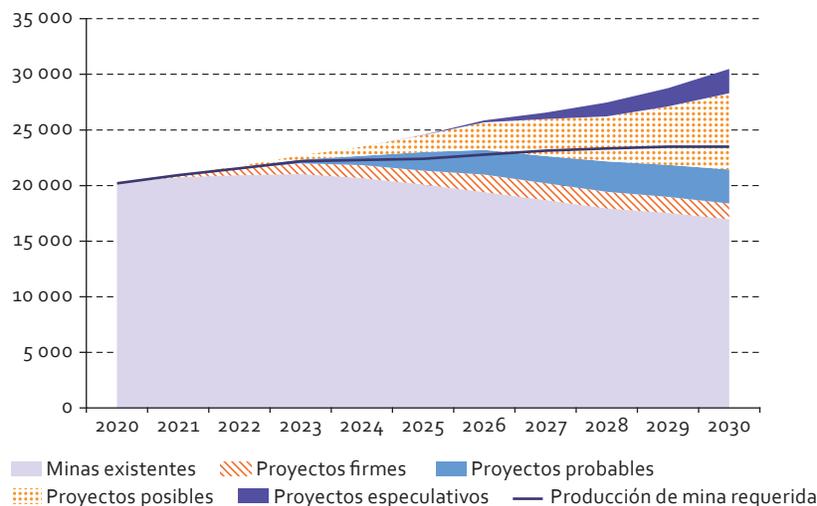


Fuente: Elaboración propia.

América del Norte se destaca con un gran pool de más de 1,5 millones de toneladas de producción en posibles proyectos, donde se destacan yacimientos históricos como Resolution Casino y Pebble, seguido por África con proyectos como Tenke Fungurume y expansiones de sulfuros de Mutanda. Sin embargo, estos números reflejan la producción potencial y, como se señaló anteriormente, no todos los proyectos en la cartera se pondrán en marcha a largo plazo.

El gráfico de abajo resume la brecha que los nuevos proyectos deberían cubrir para satisfacer la demanda esperada. Para 2030, CRU estima que la brecha de producción entre el suministro comprometido y el requisito de producción de la mina será de 5,1 millones de toneladas. Dado el volumen de producción potencial catalogado como probable, en el largo plazo (posterior al 2030) se estima que existirá una necesidad de más de 2,1 millones de toneladas de producción de proyectos que ahora se consideran posibles. Estos proyectos se encuentran actualmente, en el mejor de los casos, en las primeras etapas de estudios de viabilidad.

Gráfico 7
Análisis de la brecha de producción, 2020-2030
(En miles de toneladas)

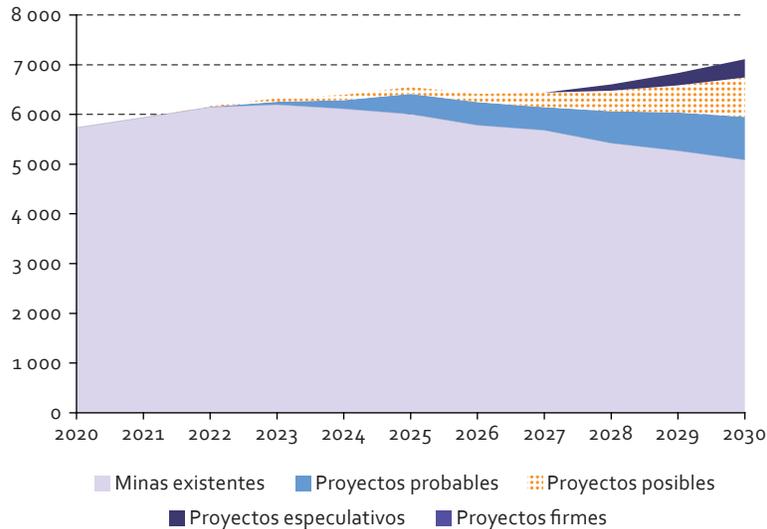


Fuente: Elaboración propia.

c) Proyección de producción minera de cobre en Chile y Perú

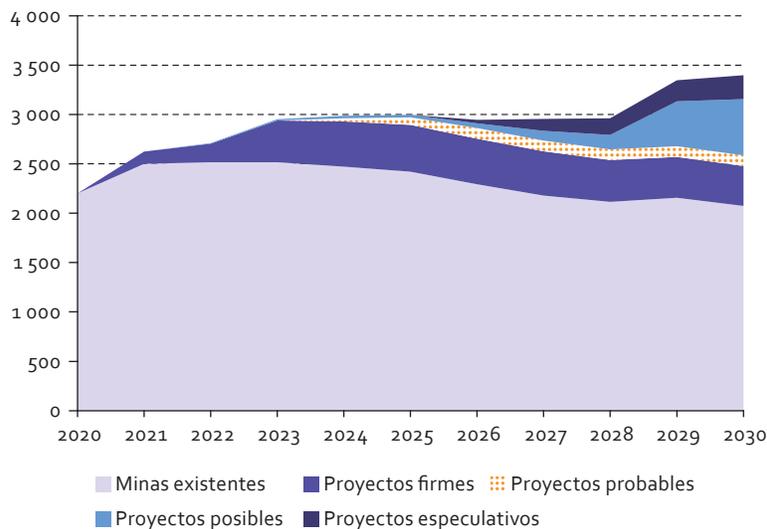
Los siguientes gráficos muestran la producción proyectada a 2030 en Chile y Perú, teniendo en cuenta la producción de las minas existentes y los proyectos firmes, posibles, probables y especulativos:

Gráfico 8
Proyección de la producción de cobre en Chile, 2020-2030
 (En miles de toneladas)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 9
Proyección de la producción de cobre en Perú, 2020-2030
 (En miles de toneladas)



Fuente: Elaboración propia.

CRU proyecta una TCAC en el largo plazo (2020-2030) para la producción de las minas existentes en Chile de -1,2% y -0,6% para Perú, equivalente a una disminución de 646 y 129 mil toneladas de cobre respectivamente entre 2020 y 2030 en ambos países. Esto se debe en gran medida a que las operaciones actuales decaen sus leyes de mineral y la operación se hace más compleja y eleva los costos de producción.

La producción esperada de proyectos en firme será mayor en Perú que en Chile, país que tendrá una producción anual de 440 mil toneladas en promedio a partir de 2023 hasta 2030, proveniente de estos nuevos proyectos. En Chile no se ha confirmado ningún proyecto en firme en el corto plazo. Sin embargo, si se concretan todos los proyectos probables, posibles y especulativos en Chile, se sumarían 2.082 mil toneladas de cobre para el 2030. En el caso de Perú, si se agrupan los proyectos probables, posibles y especulativos se añadirían 921 mil toneladas de cobre a la producción total peruana. El detalle de las operaciones y proyectos en Chile y Perú se encuentra en el anexo 1 de este reporte.

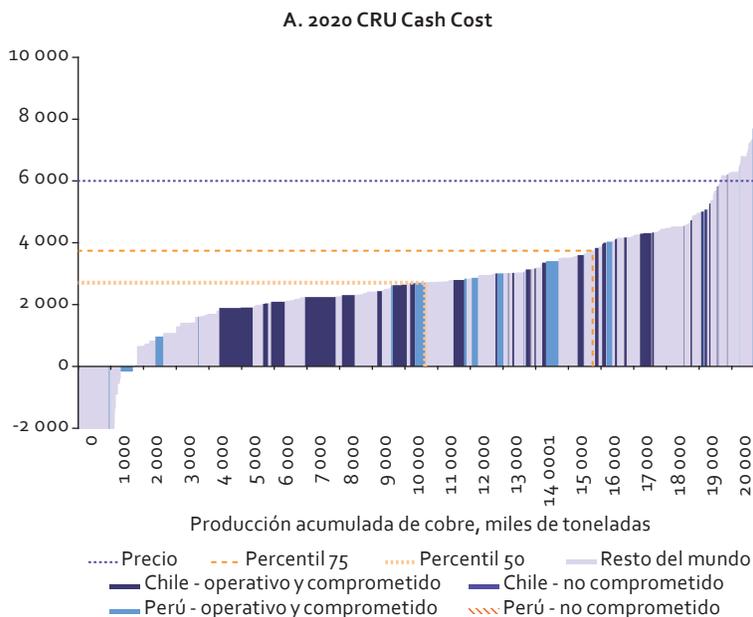
2. Análisis de competitividad de costos de los productores de cobre en la región

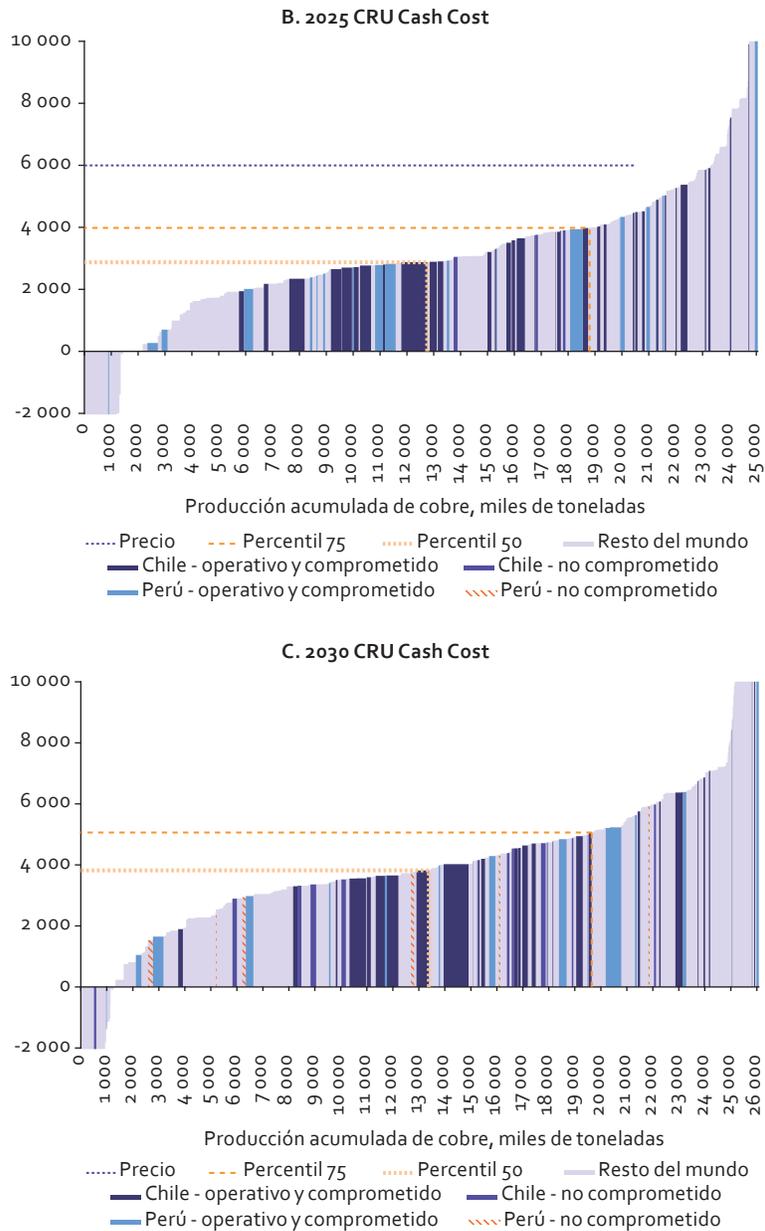
El *CRU Cash Cost*[®] incluye los costos en efectivo tradicionales como el costo de la mina, los costos de procesamiento y gastos generales y administrativos, así como los costos de realización, costos de flete y costos de marketing. Además, si la operación tiene subproductos, estos productos se agregan al costo total en efectivo para obtener el costo en efectivo final (véase el anexo 3 para detalle de la metodología).

El precio promedio LME Cash de cobre anual en 2020 fue de 6.181 US\$/t, lo que significa que en promedio sólo el 6% de la producción mundial de cobre tuvo márgenes de costos directos operativos negativos. Este año, el percentil 50 de *CRU Cash Cost*[®] fue 2.706 US\$/t, lo que implica márgenes de ~3.475 US\$/t. Por su parte, el promedio ponderado del *CRU Cash Cost*[®] de las operaciones en Chile fue 2.874 US\$/t y, en Perú 2.516 US\$/t. Esto demuestra la competitividad de las operaciones regionales, que tienen costos de producción significativamente menores al precio promedio del cobre.

A continuación, se presentan las curvas del *CRU Cash Cost*[®] sin restricción para los años 2020, 2025 y 2030. En estas curvas se destacan las operaciones de Chile y Perú.

Gráfico 10
Curvas de *CRU Cash Cost*[®] sin restricción para 2020, 2025 y 2030
(En dólares/toneladas, Cu neto de subproductos)





Fuente: Elaboración propia.

A modo de entender cómo podría variar la competitividad de las operaciones mineras de Chile y Perú en los próximos 10 años, en el cuadro a continuación se presenta la distribución del total de la producción de cobre que cada país tendría en los diferentes cuartiles de la curva de costo global en diferentes años. Esto considera que la totalidad de proyectos mineros entra en producción en el año esperado, indistinto que actualmente estén catalogados como probable, posible o especulativo.

Se puede ver que Chile mantendrá la gran cantidad de su producción en el segundo y tercer cuartil de la curva de costos de la industria que típicamente no tienen riesgos de ver afectada su producción por temas económicos. Las operaciones que se encuentra en el último cuartil (por lo que son más susceptible a riesgos por volatilidad de precios bajos de cobre) representarían sólo un 12% de la producción en 2030, comparado con el 20% en 2020.

En el caso de Perú, una tercera parte de su producción total, la cual considera la producción estimada de la totalidad de los proyectos mineros, se ubicaría en el primer cuartil de la curva en 2030, o sea dentro del grupo más competitivo del mundo. A su vez, tendría un aumento de 13% a 30% el volumen de producción perteneciente al cuarto cuartil de la industria —por lo tanto, con un riesgo potencial ante escenarios de precios bajos del cobre. El cambio más significativo de Perú al cuarto cuartil se atribuye a que el modelo tiene relativamente pocos nuevos proyectos en Perú respecto a Chile u otras regiones; y las operaciones existentes suman la mayor fracción de la producción futura e irán aumentando sus costos debido al envejecimientos de sus faenas.

Cuadro 6
Análisis de distribución de producción en Chile y Perú por cuartil de costos
(En porcentajes)

País	Año	Cuartil I	Cuartil II	Cuartil III	Cuartil IV
Chile	2020	11	52	17	20
	2025	3	34	46	16
	2030	7	35	46	12
Perú	2020	31	3	53	13
	2025	21	42	20	16
	2030	32	17	21	30

Fuente: Elaboración propia.

II. Perspectivas del mercado de litio y baterías

Puntos clave:

- La demanda de productos de litio (expresada en carbonato de litio equivalente, o LCE) fue de 312.000 toneladas en 2019, habiendo crecido a una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) del 13,6% desde 2015. China es el país con mayor consumo del mundo, representando 55% de la demanda global de litio en 2019. CRU estima que su participación aumentará en la próxima década hasta el 66%.
- De 2019 a 2030, la demanda de productos de litio crecerá en más de 1,3 millones de toneladas con un TCAC extraordinario del 18,5% impulsado por el crecimiento de las ventas de vehículos eléctricos.
- A diferencia de otras baterías de metales como el níquel y el cobalto, el contenido de litio no varía ampliamente entre las diferentes composiciones químicas de los distintos tipos de baterías. Esto significa que las proyecciones de demanda de litio no cambian significativamente ante diferentes escenarios de tipos de baterías.
- En 2019, la oferta total de litio extraído (de roca y salmuera) alcanzó las 358.500 t LCE (+239% versus 2015). En 2017, Australia superó a Chile como el mayor productor de litio del mundo y hoy representa alrededor del 48% de la oferta mundial. Argentina fue desplazada por China como el tercer productor más grande en el 2019.
- La capacidad existente no es capaz de satisfacer la demanda de las proyecciones del mercado a medio y largo plazo. Debido a esto, para 2024 se espera que el 58% de la oferta provenga de operaciones existentes (12% de proyectos comprometidos), y sólo 1/3 de la oferta global corresponderá a operaciones existentes hacia 2030.
- Chile posee una cartera relativamente pequeña de proyectos. CRU proyecta que la oferta total sin restricciones (es decir, sin ponderación por categoría de proyectos) podría alcanzar 234.000 t LCE para 2030, liderado por la expansión de las operaciones existentes de SQM y Albemarle en Atacama. Esto incluye la expansión de la Fase 3 de SQM, que se espera llegará a la producción a finales de 2025 y un eventual aumento de la capacidad total en los años siguientes hasta 2030.

- CRU tiene identificados 10 proyectos de litio en Argentina con una capacidad combinada sin restricciones de 350.000 t LCE / para el 2030. Siete de ellos están calificados como posibles o especulativos, lo que tiene un peso significativamente menor en las proyecciones de oferta. CRU ha considerado un proyecto especulativo en el Estado Plurinacional de Bolivia (Salar de Uyuni).

A. Análisis de la demanda de litio

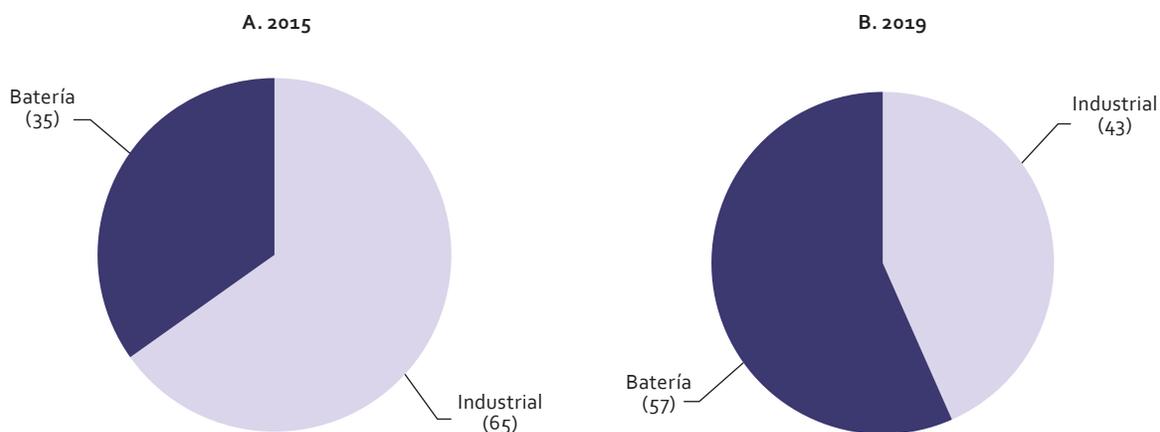
1. Evolución del mercado del litio y baterías

El modelo de demanda de litio de CRU analiza y proyecta el consumo de litio para más de 25 usos finales diferentes. Las proyecciones de producción de cada productor, los datos comerciales, la investigación independiente y los modelos de baterías y automóviles internos se utilizan para derivar las tasas de crecimiento para cada sector. También, se investiga el impacto de la dinámica del sector y las tendencias socioeconómicas para evaluar el consumo a nivel regional. Las tendencias clave son obtenidas de las proyecciones económicas internas de CRU.

En términos generales, CRU divide la demanda de litio en “Aplicaciones industriales” y “Aplicaciones de batería”. Para los fines de este análisis, no se ha evaluado la demanda de cada forma de litio de grado industrial de manera individual. En el sector de las baterías, el litio se consume como carbonato de grado batería o como hidróxido de grado batería, según la química de la batería. Se ha dividido la demanda de litio en el sector de baterías entre estas dos formas en el análisis, como será revisado en detalle en este reporte.

En 2015, los usos industriales del litio, que se analizarán brevemente más adelante en esta sección, representaron el 65% de la demanda total. Sin embargo, debido al aumento en las ventas de xEV, los usos industriales del litio han disminuido al 43% del total.

Gráfico 11
Demanda de litio por aplicación, 2015 y 2019
(En porcentajes de la demanda total)



Fuente: Elaboración propia.

La demanda de productos de litio (expresada en carbonato de litio equivalente, o LCE) ha crecido en más de 124 mil toneladas de 2015 a 2019, con una TCAC del 13,6%. China ha mantenido su posición de liderazgo, representando el 55% del consumo mundial en 2019. La segunda región más grande, Asia (predominantemente Japón y la República de Corea) experimentó un aumento en su relevancia general, pasando del 24% al 31 % en este periodo.

Cuadro 7
Demanda de litio por región y por producto, 2015-2019
(En toneladas LCE)

Región	Categoría		2015	2016	2017	2018	2019
Asia (se excluye China)	Baterías (carbonato)	LCE	16 032	19 294	24 687	25 006	25 609
	Baterías (hidróxido)	LiOH	10 248	14 654	27 341	35 180	50 217
	Industrial		18 855	19 371	19 750	20 894	22 003
China	Baterías (carbonato)	LCE	36 712	45 224	57 800	59 357	65 339
	Baterías (hidróxido)	LiOH	1 207	2 643	7 298	15 000	30 448
	Industrial		66 561	69 878	73 747	75 312	75 373
Europa	Baterías (carbonato)	LCE	199	287	439	450	464
	Baterías (hidróxido)	LiOH	272	374	513	638	984
	Industrial		17 295	17 411	17 374	17 869	18 276
América del Norte	Baterías (carbonato)	LCE	281	411	718	851	1 014
	Baterías (hidróxido)	LiOH	231	336	683	1 145	2 189
	Industrial		11 386	11 260	11 201	11 598	11 769
Resto del mundo	Baterías (carbonato)	LCE	33	40	53	41	31
	Baterías (hidróxido)	LiOH	195	256	316	325	411
	Industrial		8 301	8 086	8 028	8 136	8 122
Total			187 808	209 524	249 948	271 801	312 247

Fuente: Elaboración propia.

a) La demanda de baterías ha despegado durante el inicio de la revolución de los Vehículos Eléctricos (EVs)

El litio se consume típicamente en dos formas diferentes en el mercado de baterías: hidróxido de litio y carbonato de litio. Algunos tipos de baterías (como las baterías de estado sólido) también requieren metal de litio; sin embargo, estas tecnologías se encuentran en una etapa incipiente y CRU no espera que se comercialicen ampliamente durante el período de estudio de este reporte. Para obtener una descripción más detallada de las baterías, consultar la sección II.A.1.b).

El carbonato de litio apto para baterías (33,4% de la demanda de litio en 2020) se utiliza para la fabricación de baterías tradicionales de iones de litio, como LCO, LMO, LFP y NMC con bajo contenido de níquel.

- El hidróxido de litio de grado batería (26,1% de la demanda de litio, 2020) generalmente tiene un costo más alto y se utiliza para la fabricación de baterías químicas más especializadas con densidades de energía más altas como NMC 622, NMC 811 y NCA. En los últimos años, CRU también ha observado que empresas chinas también podrían haber aumentado el consumo de hidróxido de litio para la fabricación de celdas de batería LFP utilizadas en la industria EV, aunque aún no se ha confirmado la magnitud de este impacto.

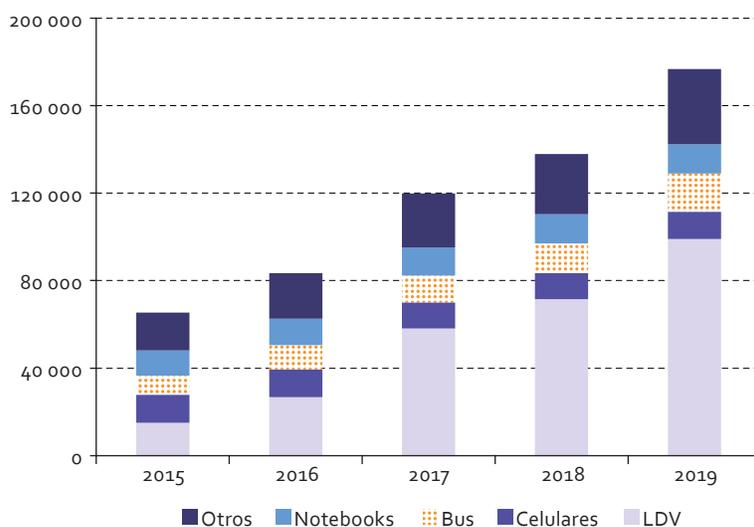
El aumento de la electromovilidad en el sector del transporte (vehículos de pasajeros, autobuses, vehículos pesados, bicicletas eléctricas, micro movilidad, etc.) sigue siendo la historia fundamental para la demanda de litio. Hace apenas 10 años, la electromovilidad ocupaba una pequeña cuota de

mercado de la demanda total de litio: en 2010, la demanda de litio asociada esta industria fue de solo 5.101 toneladas LCE (4,5% del total), y la mayor parte se utilizó en bicicletas y vehículos eléctricos híbridos (HEV). Entre 2010 y 2016, la demanda por la electromovilidad creció a 42.593 toneladas LCE, impulsada principalmente por una transición a baterías de iones de litio en híbridos y el desarrollo del sector de autobuses eléctricos en China.

Desde entonces, el principal impulsor de la demanda de litio ha sido (y seguirá siendo) el sector de los vehículos de pasajeros. Una disminución en los costos de las baterías, combinada con una mayor escala de fabricación, especialmente de las automotrices (OEM) chinas y Tesla, ha resultado en un fuerte aumento de los BEV en los últimos años. Las perspectivas a medio plazo para el mercado del litio dependen completamente de las suposiciones sobre la demanda de vehículos eléctricos.

En 2015, la demanda total de litio para baterías ascendió a 65.410 t LCE, y la mayor aplicación de batería provino de LDV, teléfonos móviles y computadoras portátiles. La rápida expansión de vehículos eléctricos vino de la mano del éxito de ventas en China y el Tesla Modelo 3 en el resto de los mercados. En 2019, la demanda total de baterías alcanzó las 176.705 t LCE, una tasa de crecimiento asombrosa del 28,2% TCAC entre 2015 y 2019.

Gráfico 12
Demanda de litio por aplicación de batería, 2015-2019
(En toneladas LCE)



Fuente: Elaboración propia.

b) Descripción general de los tipos de cátodos de baterías utilizados actualmente

La demanda de baterías de iones de litio ha experimentado un aumento espectacular del volumen en los últimos 25 años, impulsado por equipos electrónicos portátiles y, más recientemente, por el desarrollo de vehículos eléctricos (EV). El cuadro a continuación muestra las principales tecnologías de baterías que existen en la actualidad.

Cuadro 8
Resumen de las tecnologías de baterías utilizadas actualmente

Tipo de batería	Contenido litio (kg/kWh LCE)	Densidad energética	Precio	Seguridad	Aplicaciones
LCO	0,86	★★★★★	★☆☆☆☆	★★★★☆	Celulares, tablets, notebooks
LFP	0,66	★☆☆☆☆	★★★★★	★★★★★	Herramientas, E-bikes, E-bus, industriales, BEVs chinos (mayoritariamente pre-2017)
LMO	0,69	★☆☆☆☆	★★★★★	★★★★★	xEV, herramientas, E-bikes, industriales, BEVs de baja autonomía(pre-2017)
NCA (80:15:5)	0,80	★★★★☆	★☆☆☆☆	★★★★☆	xEV, celulares, tablets, notebooks, herramientas, E-bikes, industriales, Tesla (Modelo X / S)
NCA (84:12:4)	0,76	★★★★★	★☆☆☆☆	★★★★☆	xEV, celulares, tablets, notebooks, herramientas, E-bikes, industriales, Tesla (Modelo 3, Y, y futuros modelos)
NMC111	0,98	★☆☆☆☆	★☆☆☆☆	★★★★★	Celulares, tablets, notebooks, herramientas, E-bikes, E-bus, industriales
NMC532	0,91	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆	Celulares, tablets, notebooks, herramientas, E-bikes, E-bus, industriales, BEVs
NMC622	0,86	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆	Celulares, tablets, notebooks, herramientas, E-bikes, E-bus, industriales, BEVs
NMC811	0,75	★★★★★	★☆☆☆☆	★★★★☆	Celulares, tablets, notebooks, herramientas, E-bikes, E-bus, industriales, BEVs (siguiente generación)
Lead-Acid	-	★☆☆☆☆	★★★★★	★★★★★	e-bikes, baterías de encendido en ICE
NiCd	-	★☆☆☆☆	★★★★★	★★★★★	herramientas, luces de emergencia, juguetes a control remoto
NiMH	-	★☆☆☆☆	★★★★★	★★★★★	HEVs, E-bikes, herramientas

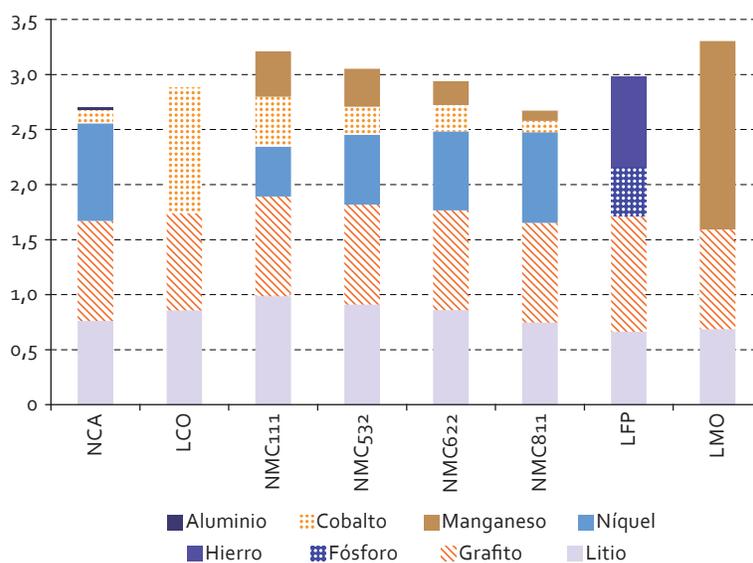
Fuente: Elaboración propia.

- LCO (Lithium Cobalt Oxide)** es la batería de iones de litio original y se utiliza principalmente en computadoras portátiles y dispositivos móviles. La química es muy estable y proporciona una alta densidad de energía, haciendo que las baterías LCO sean adecuadas para la miniaturización (ahora reemplazadas por NMC y NCA). El alto contenido de cobalto también proporciona una mayor seguridad, lo que reduce el riesgo de fuga térmica. Hay inconvenientes relacionados a la gran proporción de cobalto, incluyendo el alto costo de la materia prima de estas baterías. Las baterías LCO también tienen una vida útil relativamente corta.
- El tipo **LMO (Lithium Manganese Oxide)** se utiliza en herramientas eléctricas y aplicaciones médicas y fue ampliamente utilizado en baterías HEV más antiguas. BMW, así como varios fabricantes japoneses de vehículos eléctricos, todavía utilizan baterías LMO en conjunto con las NMC en sus vehículos híbridos. La estructura tridimensional Li-Mn del cátodo permite mejorar el flujo iónico y el manejo de corriente. Esto permite una carga comparativamente rápida y una descarga de alta corriente. Sin embargo, las baterías LMO sufren de una densidad de energía muy baja y son comparativamente más caras que otras configuraciones como LFP. Esto ha llevado a LMO en gran medida a ser reemplazadas en la mayoría de las aplicaciones.
- Comúnmente utilizadas en China tanto para vehículos y buses eléctricos, las baterías **LFP (Lithium Iron Phosphate)** son una de las alternativas más baratas disponibles. El tipo LFP también tiene una larga vida útil, ya que pueden tolerar condiciones de carga completas durante períodos prolongados, y una buena estabilidad térmica. También es una de las baterías de iones de litio más seguras en el mercado. Un inconveniente importante es que estas baterías tienen una alta tasa de auto descarga cuando no están en uso. La densidad energética de estas baterías tampoco es competitiva con los diseños de níquel-cobalto y las temperaturas frías pueden afectar gravemente el rendimiento. En general, las LFP se consideran menos duraderas en el uso de EV.

- Las baterías **NMC (Lithium Nickel Manganese Cobalt)** se han convertido en el pilar de los paquetes de baterías EV modernos en los últimos años. La configuración química de tipo NMC puede tener relaciones variables de níquel, manganeso y cobalto para una amplia gama de aplicaciones. La combinación de cátodo más utilizada es una división igual de un tercio de níquel, cobalto y manganeso, también conocida como NMC 111. Esto reduce los costos de materia prima debido a la reducción del contenido de cobalto, en comparación con la LCO. Otras combinaciones cada vez más exitosas son los cátodos con una relación NMC 532 y 622. Actualmente, la industria está tratando de optimizar el rendimiento, la potencia, el precio y la seguridad, avanzando hacia combinaciones más intensivas en níquel como NMC 811. La química de la batería NMC es popular ya que logra un buen rendimiento y su fabricación es relativamente económica.
- La batería **NCA (Lithium Nickel Cobalt Aluminium)** comparte similitudes con el NMC, pero difiere en que el manganeso es sustituido por aluminio. La batería ofrece una alta densidad de energía, una potencia específica razonablemente buena y una larga duración. La densidad de energía de la química NCA permite una aceleración mejorada en los vehículos eléctricos y también, proporciona un buen rango. Sin embargo, es un poco más cara que la batería de iones de litio NCM. Además, aunque sigue siendo muy seguro, no es tan confiable como las baterías NMC. La NCA sólo es producida en gran volumen por Panasonic y fue diseñada originalmente para baterías de computadoras portátiles, pero actualmente también es utilizada por Tesla para baterías EV.

A diferencia de otros metales de batería como el níquel y el cobalto, el contenido de litio no varía ampliamente entre las diferentes configuraciones químicas de baterías. LFP y LMO suelen tener contenidos de litio mucho más bajos (3,8 - 4,4%) que las químicas de baterías basadas en cobalto como LCO, NCA y NMC (7,5%); sin embargo, esta diferencia se equilibra por el hecho de que LFP y LMO tienen densidades de carga mucho más bajas. Esto significa que, a diferencia del níquel y el cobalto, las proyecciones de demanda de litio no varían significativamente entre los diferentes tipos de baterías, como se muestra en la siguiente figura.

Gráfico 13
El contenido de litio es estable en alrededor de 0,7–0,8
(En kg/kWh LCE)



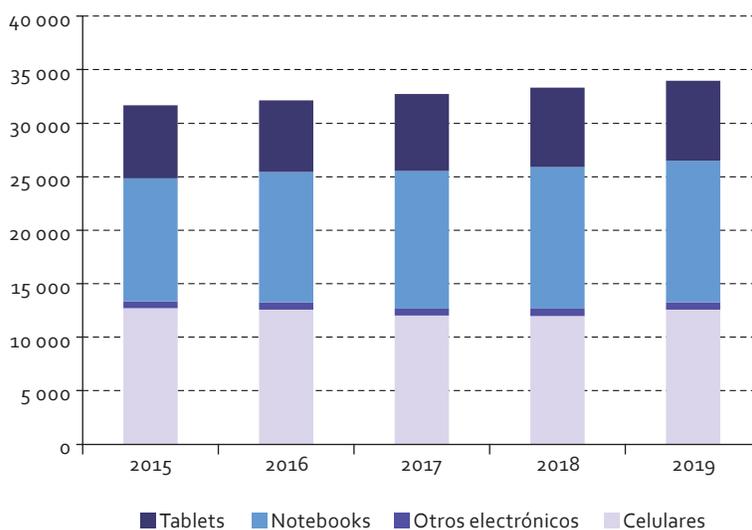
Fuente: Elaboración propia.

c) La demanda de litio de aparatos electrónicos personales se ha estancado en comparación con el resto del mercado del litio

CRU estima que la industria de aparatos electrónicos portátiles representó el 10,9% de la demanda mundial de litio en 2019. La industria de los electrónicos portátiles (teléfonos móviles, tablets y computadoras portátiles) ha sido mediocre en los últimos años: después de alcanzar un máximo en 2017 con 1.900 millones de unidades, las ventas de teléfonos móviles han decrecido de manera constante en los últimos años hasta ~ 1,8 mil millones de unidades en 2019. En el sector de tablets, la tendencia es aún más marcada: CRU estima que las ventas de tablets alcanzaron su punto máximo en 2014 con 230 millones de unidades y desde entonces han caído a alrededor de 170 millones de unidades en 2019.

En su conjunto, la demanda de litio para dispositivos electrónicos portátiles ha experimentado un crecimiento relativamente modesto en los últimos cinco años, aumentando de 31.667 t LCE en 2015 a 33.987 t LCE en 2019.

Gráfico 14
Demanda de litio en aparatos electrónicos portátiles, 2015-2019
(En toneladas LCE)



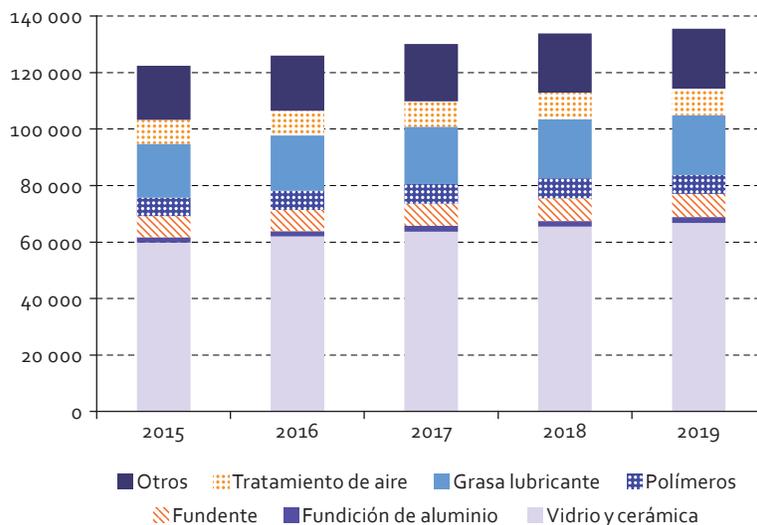
Fuente: Elaboración Propia.

d) Demanda industrial de litio

El mercado del litio ha estado históricamente dominado por la demanda en aplicaciones industriales, como la fabricación de vidrio, cerámica, lubricantes, polímeros, etc. La demanda de estas aplicaciones está estrechamente relacionada con los impulsores económicos como la construcción, producción industrial y fabricación de aluminio y acero.

Como se discutió, la demanda de litio para aplicaciones industriales ha estado perdiendo participación de mercado en los últimos cinco años debido al aumento significativo en los xEV y otras aplicaciones de litio para baterías. Sin embargo, esto no significa que la demanda industrial total haya disminuido. CRU estima que la demanda de litio industrial ha crecido a una TCAC de 2010-2019 de 4,3% a 135.365 toneladas LCE en 2019. Sin embargo, no se espera que esta tendencia continúe en el futuro. Si bien no es tan rápido como en el uso de baterías, la demanda industrial de litio ha aumentado un 2,5% anual durante los últimos cinco años, con el mayor crecimiento proveniente de China, que ha experimentado aumentos modestos de alrededor de 10.000 t LCE desde 2015.

Gráfico 15
Demanda de litio industrial por uso final, 2015-2019
 (En toneladas LCE)



Fuente: Elaboración propia.

Las aplicaciones industriales incluyen (en base a la demanda mundial en 2019):

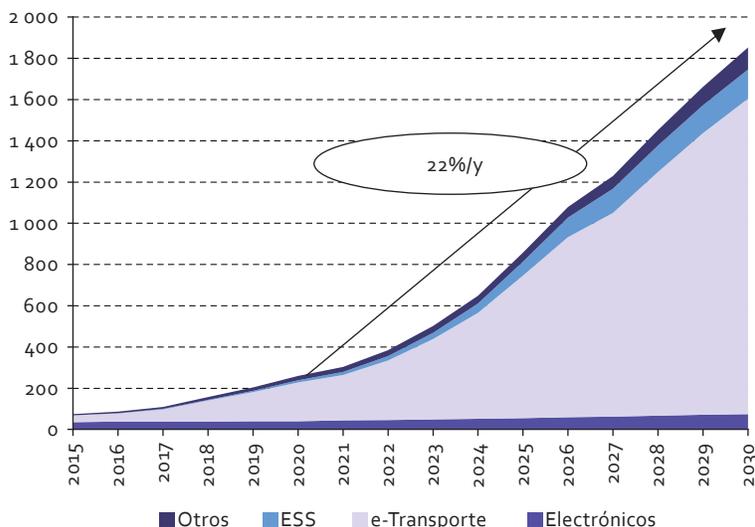
- Vidrio y cerámica (21,4% de la demanda)
- Lubricantes (6,8% de la demanda)
- Tratamiento de aire (3,0% de la demanda)
- Fundición continua (2,6% de la demanda)
- Fabricación de polímeros (2,1% de la demanda)
- Fundición de aluminio (0,6% de la demanda)
- Otros usos (6,8% de la demanda)

2. Tendencias de la demanda de baterías de litio

En los próximos 10 años, CRU proyecta que la demanda total de baterías de iones de litio (expresada en GWh) crezca a una tasa anual del 22%. Aunque el transporte seguirá siendo el principal impulsor, con una tasa media de crecimiento anual del 30% en los próximos 10 años y una demanda prevista de 1.529 GWh (equivalente al 83% de la demanda total de baterías de iones de litio) para 2030, se espera que las aplicaciones de almacenamiento de energía tengan la tasa de crecimiento más alta en el período proyectado (tasa media anual de crecimiento del 46%).

Los dos segmentos de batería más grandes, fuera de los vehículos eléctricos, son los equipos electrónicos portátiles y el almacenamiento estacionario (residencial y de red). Se espera que ambas tengan trayectorias de crecimiento diferentes, como se muestra en la demanda prevista para el período 2020-2030 examinado en este informe. A continuación, se enumeran algunas consideraciones clave para el desarrollo de estos segmentos.

Gráfico 16
Demanda global de baterías de iones de litio por tipo de uso final, 2015-2030
 (En GWh)



Fuente: Elaboración propia.

Tendencias de los equipos electrónicos portátiles

Antes de la llegada de la electromovilidad, las baterías de iones de litio se consumían predominantemente en (por orden de importancia) teléfonos móviles, computadoras portátiles, tabletas y herramientas eléctricas.

La propagación de potentes dispositivos de telefonía móvil ha tenido un efecto supresor en los mercados de tablets y computadoras portátiles, aunque ambos continúan creciendo (a un ritmo lento) principalmente debido al aumento de tamaño de las baterías.

Un área de gran interés, aunque menos conocido, se encuentra en el mercado de baterías para drones: diversos analistas² prevén una demanda creciente en el sector comercial para aplicaciones como la topografía (para la construcción), fumigación (agricultura) y la extinción de incendios; de un LCE bajo de 1,9 mil toneladas en 2019, CRU cree que el mercado de drones puede tener el TCAC más rápido de cualquier segmento de batería (33,8%), alcanzando 46 mil toneladas LCE al final de la década.

Tendencias de almacenamiento estacionario

A veces denominado "la nueva ola más allá de la electromovilidad", el almacenamiento estacionario tanto a nivel de la red como del nivel residencial es un requisito cada vez mayor a medida que las energías renovables ganan participación en el mercado de la energía.

A medida que la instalación de energía solar en las azoteas se vuelva más asequible y las generaciones más jóvenes y más ambientalmente activas aumenten en capital, se espera que la demanda de litio para almacenamiento residencial aumente desde una base baja (4,8 mil toneladas/año) a un impresionante 74,8 mil toneladas en 2030 (28,3% TCAC) dado que las baterías de iones de litio son adecuadas para esta aplicación.

Mientras tanto, el almacenamiento a escala de red fue casi inexistente en 2019 y se enfrenta a una competencia más fuerte, las baterías de flujo, en la mayoría de las aplicaciones. Aun así, la gran escala de crecimiento a medida que el mercado se mueve hacia las energías renovables da espacio para que este mercado suba rápidamente para las baterías de iones de litio, pudiendo alcanzar 20 mil toneladas LCE en las proyecciones de CRU a 2030.

² Por ejemplo, Goldman Sachs Research.

Dicho lo anterior, CRU considera que la mayoría de las instalaciones de baterías de iones de litio a nivel de red optarían por reutilizar baterías de EVs que alcanzaran el fin de vida útil en lugar de nuevas baterías; esto significaría que no tienen ningún impacto en el equilibrio del mercado. La razón de esto es que satisface una necesidad empresarial (eliminación de baterías al final de su vida útil), además de ser una fuente abundante (y posiblemente barata); sin embargo, el signo de interrogación sigue estando sobre quién tendría la responsabilidad por un fallo, o posibles daños causados por cualquier batería de iones de litio defectuosa: los vendedores de baterías EV o los compradores de almacenamiento estacionario.

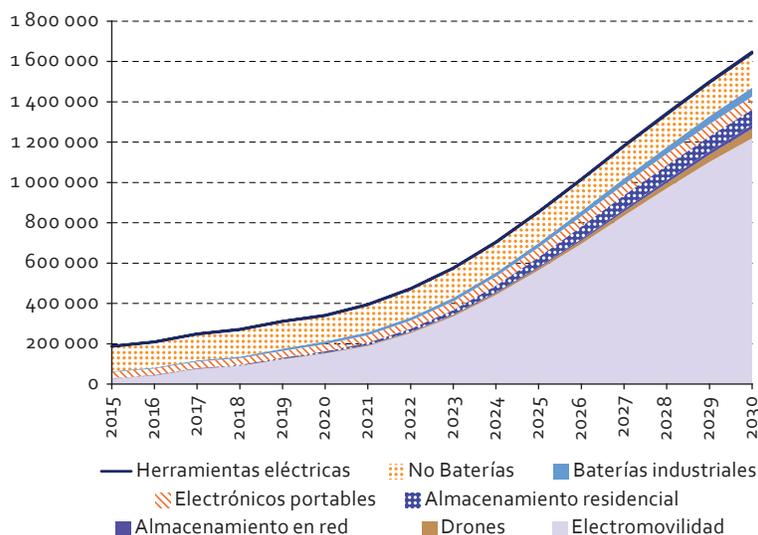
Como se ha comentado a través de la sección o, el tipo de baterías utilizados para estas aplicaciones varía en cada caso, y depende de factores como la energía específica requerida, los estándares de seguridad que se deben satisfacer, la vida útil de la batería, además de los costos. Dentro de las tendencias u objetivos de investigación, es posible mencionar, entre otras, el desarrollo de nuevos diseños catódicos que eliminen la necesidad de utilizar cobalto, o incluso níquel. También, existen casos de investigación sobre los ánodos de las baterías, donde se espera que ánodos de alto contenido de silicio desplacen la demanda actual de grafito, la cual podría verse reducida aún en mayor grado con el desarrollo de tecnologías como las baterías de estado sólido, las cuales emplean ánodos de litio en estado sólido. Entre las diversas investigaciones en el campo de las baterías, la sustitución de los materiales es una opción posible y viable en todos los casos, a excepción del litio, el cual ha mantenido su posición dominante como *charge carrier*, y en la actualidad no existe algún sustituto viable que pueda afectar la demanda del litio dentro de las aplicaciones de baterías.

3. Proyección de demanda de litio a 2030

CRU proyecta que la demanda de productos de litio (expresada en equivalente de carbonato de litio, o LCE) crezca más de 1,3 millones de toneladas entre 2019 y 2030, con una TCAC del 18,5%. China fue el principal consumidor de litio en 2019 (55% del total mundial) y se espera que aumente su participación en la próxima década hasta el 66%. La segunda región más grande, Asia excluido China (predominantemente Japón y República de Corea), experimentará un crecimiento más lento y decreciendo su participación en la demanda mundial de ~ 31% en 2019 a ~ 25% en 2030.

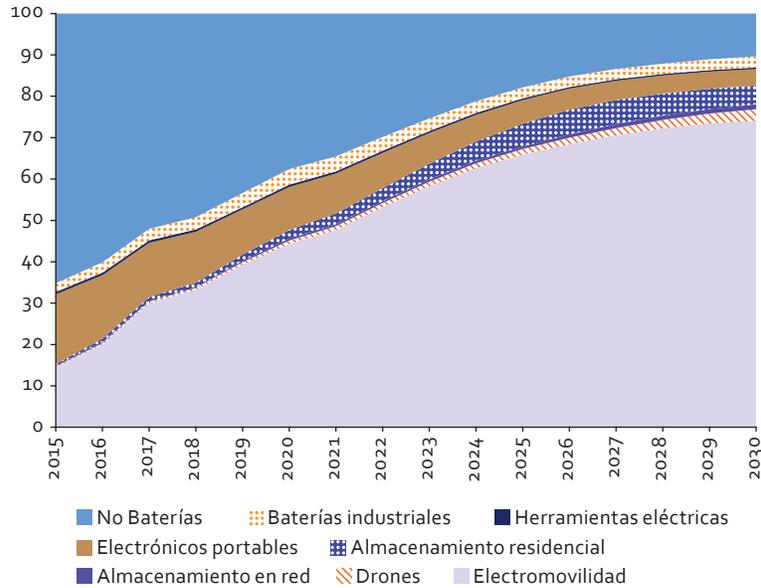
Separando la demanda por sector de uso final, se concluye que la electromovilidad es, como era de esperar, el principal motor del crecimiento de la demanda durante el período evaluado.

Gráfico 17
Proyección total de la demanda de litio, 2015-2030, LCE



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 18
Participación de mercado total del uso final de la demanda de litio, 2015-2030
(En porcentajes)



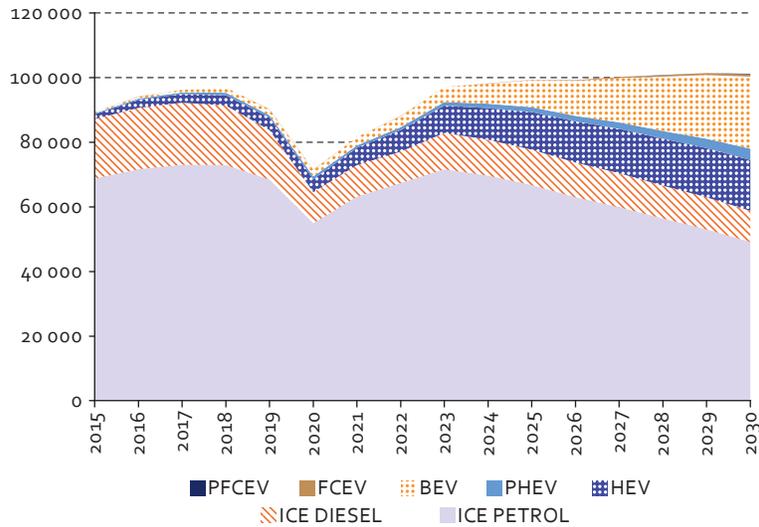
Fuente: Elaboración propia.

El modelo automotriz desarrollado por CRU, que considera el costo total de compra en todas las regiones para diferentes tecnologías, pronostica un crecimiento modesto en las ventas globales de vehículos ligeros ("LDV"), vehículos pesados ("HDV") y autobuses, en gran parte en línea con tendencias macroeconómicas como la población, el aumento de los ingresos y el crecimiento de la productividad después de la importante disminución en 2020 debido a la pandemia COVID-19. El resultado es una demanda total de 92,9 millones de vehículos totales en 2019 que aumentará a 106,0 millones en 2028.

Sin embargo, dentro de esto, se espera que las ventas de automóviles tradicionales de gasolina y diésel ("ICE") hayan alcanzado su tope máximo en 2017 (92,3 millones), y su resurgimiento posterior al COVID-19, resultará en un *peak* más bajo en 2023 (82,9 millones) antes de comenzar un descenso sostenido. Mientras tanto, los híbridos ("HEV") y los híbridos enchufables o *plug-in* ("PHEV") continúan creciendo rápidamente hasta 2033-2034 y luego, se estabilizan. Los vehículos eléctricos de batería ("BEV") continúan creciendo (25,2% anual) y ganan participación de mercado a lo largo de las proyecciones de largo plazo de CRU. Se espera que las ventas anuales de todos los tipos de vehículos eléctricos, incluidos los BEV totalmente eléctricos, híbridos simples y enchufables, alcancen más de 42 millones de unidades en 2030, lo que es casi 35 millones más que en 2019.

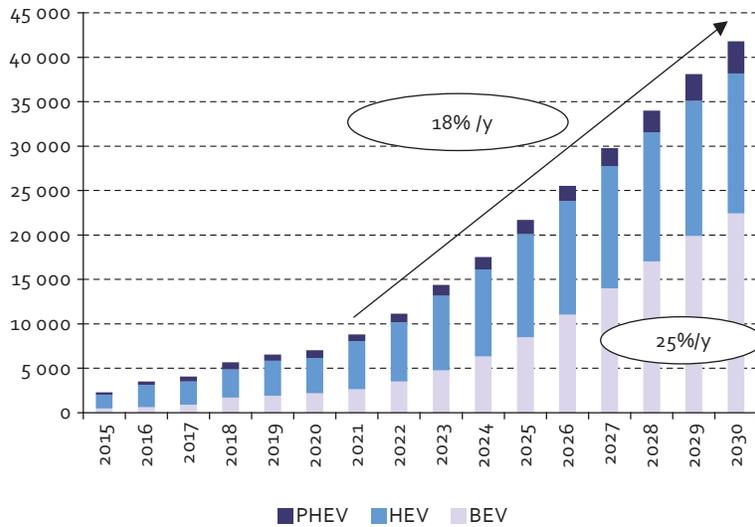
Desde una perspectiva puramente de aceptación por parte del consumidor (teniendo en cuenta que los OEM son actualmente el principal cuello de botella), los principales factores que retrasan una transición generalizada a los BEV están interrelacionados: alcance de recorrido por carga y la velocidad de carga, además del costo total de propiedad y la infraestructura disponible para cargar. Por lo tanto, todos los fabricantes de BEV están trabajando para aumentar la distancia que sus vehículos pueden conducir entre cargas, y la clave aquí es la "densidad de energía", la cantidad de energía que una batería puede almacenar dividida por su peso (unidad = Wh/kg). La compra de BEV también está limitada por el número de coches y modelos de automóviles disponibles; basados en anuncios OEM, estos aumentaron significativamente en 2020, lo que debería ayudar a acelerar la adopción en los próximos años.

Gráfico 19
Demanda mundial de vehículos ligeros por transmisión, 2015-2030
 (En millones de unidades)



Fuente: Elaboración propia.

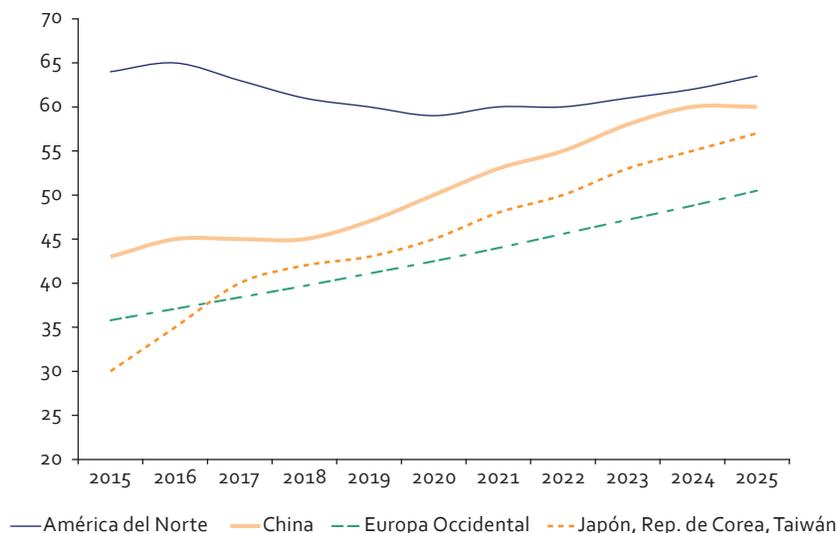
Gráfico 20
Ventas de vehículos eléctricos por transmisión, 2015-2030
 (En miles de unidades)



Fuente: Elaboración propia.

Si bien las ventas unitarias de xEV son notables en sí mismas, el crecimiento general de la demanda de almacenamiento de energía (medido en MWh o GWh) de los xEV en realidad las supera (24,6% TCAC 2019-30) debido a una preferencia cada vez mayor por vehículos totalmente eléctricos de batería, así como tamaños de batería promedio más grandes por vehículo (como se muestra en los cuadros a continuación).

Gráfico 21
Capacidad media de la batería BEV
 (En kWh)



Fuente: Elaboración propia.

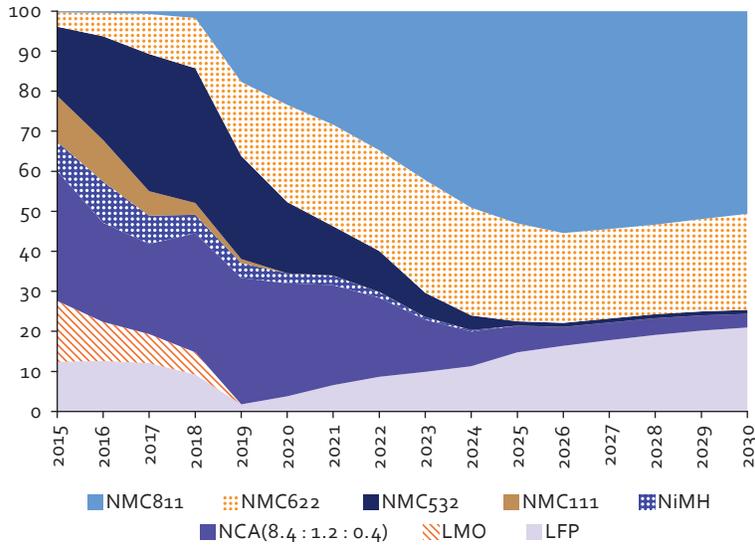
En este sentido, se destaca el impulso agresivo de China por tamaños de batería más grandes que los observados en años anteriores en dicho país. El desglose entre las diferentes categorías de xEV es crucial debido a las diferencias en la capacidad de la batería, que corresponde a la demanda de materiales. Un BEV generalmente tiene una batería que puede ser de 40-50 kWh o más (el Modelo Tesla S o X de gama más alta tiene una batería de 100 kWh), mientras que un PHEV puede tener 14-18 kWh y un HEV solo 1-2 kWh.

a) La demanda de batería cambia del carbonato al hidróxido

Como se comentó anteriormente, los fabricantes de BEV se esfuerzan constantemente por aumentar la densidad de energía, ya que esto mejora el alcance del vehículo; o bien, manteniendo el rango constante, lo que reduce el número de baterías requeridas en el vehículo, y con esto el costo de fabricación del BEV. Esto lleva a proyectar a 2 claros ganadores en el futuro: NMC y NCA (de los cuales, este último está más controlado bajo las patentes de Panasonic). NCA y NMC 622 (algunas variantes) y 811 (obligatorio) utilizan hidróxido de litio como precursor, lo que aumenta la demanda significativamente de este producto químico de litio. Sobre la base de la evaluación histórica y de proyección de tipos de baterías (abajo) por parte de CRU, estas 3 químicas (NCA, NMC 622 y NMC 811) consolidarán su posición dominante del mercado al pasar del 68% del mercado en 2019 al 80% en el largo plazo.

CRU opina que cualquier avance significativo en el desarrollo de una nueva composición química de batería necesita aproximadamente 10 años para madurar y ser producido comercialmente a nivel xEV, teniendo en cuenta los años de pruebas a escala de laboratorio, seguido de la producción escalable, la calificación OEM & adquisición y, finalmente, el diseño y fabricación de nuevos vehículos. Por lo tanto, CRU supone que las sustancias químicas mostradas en el gráfico anterior tienen poco riesgo de ser desplazadas fundamentalmente en la próxima década, aunque las mejoras incrementales, como los electrolitos de polímeros o los ánodos a base de silicio, pueden impulsar cambios en la proporción de cada elección.

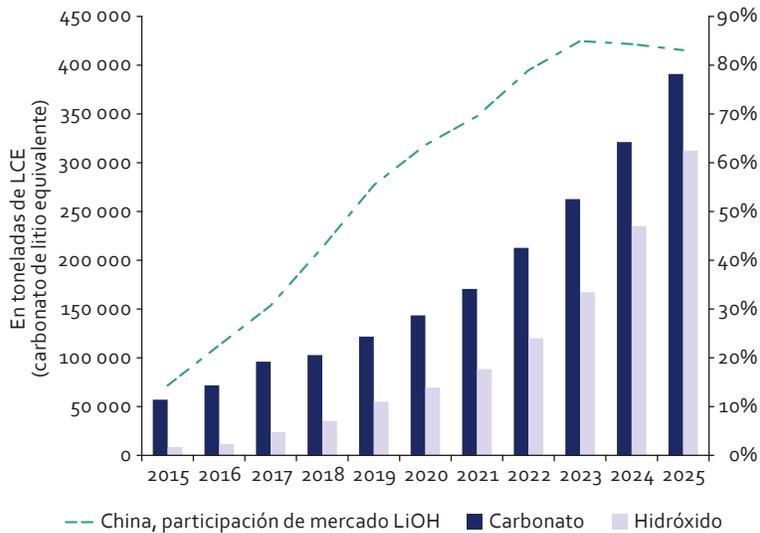
Gráfico 22
Proyección de demanda de baterías para xEVs, por tipo de química
(En porcentajes de MWh)



Fuente: Elaboración propia.

Dado que el hidróxido de litio se consume generalmente en la fabricación de baterías BEV de alto níquel, la proyección de la demanda de hidróxido de litio depende en gran medida de: 1) la tasa de adopción esperada de los BEV, y 2) la participación de mercado esperada de baterías NMC (811) de alto níquel y NCA elevadas en el sector de los BEV. CRU estima que la demanda de hidróxido de litio de grado batería (BG) y carbonato BG en 2019 fue de 54.950 y 121.756 toneladas de LCE, respectivamente.

Gráfico 23
Proyección de demanda de hidróxido y carbonato de litio
en el mediano plazo para vehículos eléctricos



Fuente: Elaboración propia.

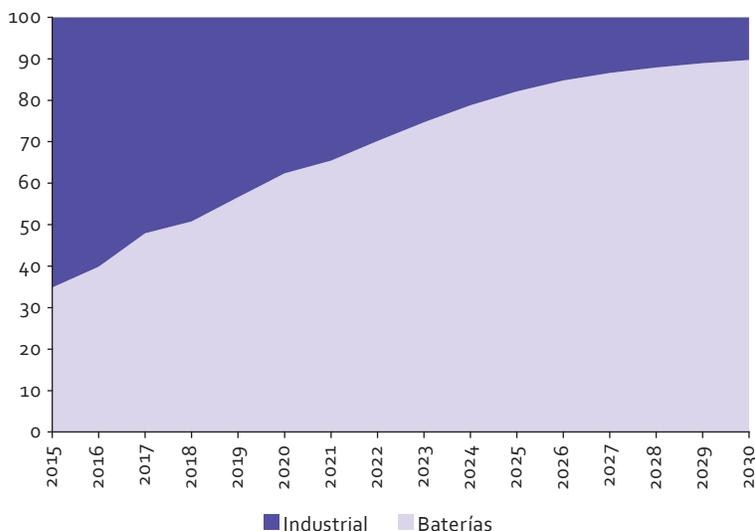
Se prevé que la demanda de hidróxido de litio se acelere a largo plazo, impulsada por las preferencias de tipos de baterías con alta capacidad de almacenamiento de energía (explicación adicional en la sección de demanda de este informe). La demanda total de LiOH aumentará más de 15 veces para 2030, en comparación con sólo alrededor de 3 veces para la demanda de carbonato (tanto en aplicaciones industriales como de baterías).

Las distintas tendencias en las proyecciones de la demanda se reflejan en las expectativas de CRU sobre el suministro de productos químicos de litio: la participación de carbonatos caerá de ~ 75% en 2019 a ~ 50% para 2030. El hidróxido ganará una participación sustancial a medida que la demanda aumente rápidamente a mediados y finales de la década de 2020 y se requerirá desarrollar una gran cantidad de proyectos no comprometidos para satisfacer las expectativas de la demanda.

b) La demanda industrial de litio se desacelera durante el período previsto

Las aplicaciones industriales de litio representaron el 43% de la demanda total de litio en 2019, una disminución significativa con respecto a 2015, donde en ese año las aplicaciones industriales de litio representaron el 65% de la demanda. Sin embargo, esto no se debe a la disminución general de la demanda en aplicaciones industriales, sino al hecho de que la electromovilidad es el principal impulsor de la demanda de litio en los próximos años y en el largo plazo. Para 2030, la demanda de litio para aplicaciones industriales alcanzará las 170.134 t de LCE, un modesto TCAC 2019-2030 del 2,1%. Debido a la rápida expansión de las aplicaciones de baterías, la demanda industrial se espera que represente sólo el 10% del mercado total para 2030.

Gráfico 24
Demanda de litio dependiendo de su utilización
(En porcentajes de la demanda)



Fuente: Elaboración propia.

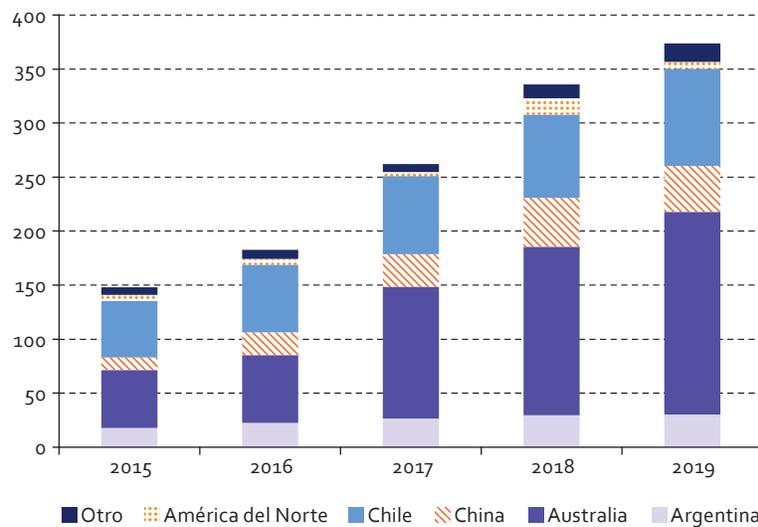
B. Análisis de la oferta de litio

En 2015, la oferta total de litio extraído (de roca y salmuera) fue de poco menos de 150.000 t de LCE y los mayores productores a nivel mundial en ese momento fueron Chile, que representaba alrededor del 39% de la oferta mundial y Australia, con un poco más del 29%. La producción restante en 2015 provino de Argentina (13%), China (9%) y América del Norte (4%).

La oferta de litio extraído aumentó más del 239% en sólo 5 años, llegando a 358.500 t LCE. En este período, Australia superó a Chile como el país de mayor producción de litio del mundo en 2017 y hoy representa alrededor del 48% del suministro global. El otro jugador importante de América Latina, Argentina, fue desplazado por China como el tercer productor más grande en 2019.

La velocidad con la que se ha desarrollado la oferta de litio es más evidente en Australia Occidental. En sólo 3 años, 6 minas de espodumeno (mineral de litio alojado en roca dura que se extrae mediante métodos mineros tradicionales) comenzaron su actividad. La producción de esta región de Australia ha aumentado a medida que las empresas mineras buscaban cerrar la brecha de suministro en China, que durante un tiempo incluso se decidió enviar mineral de baja ley directo a las refinерías (DSO).

Gráfico 25
Suministro mundial de minas de litio por país, 2015-2019
(En miles de toneladas LCE)

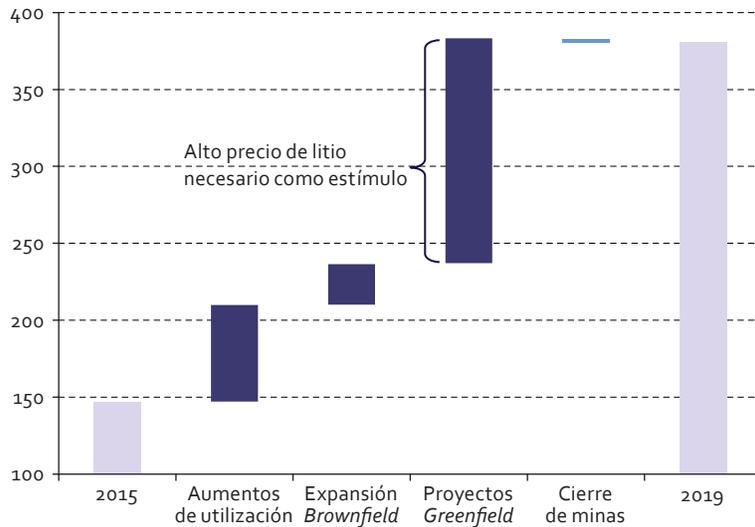


Fuente: Elaboración propia.

El mercado actual del litio ha cambiado radicalmente en comparación hace unos años. Entre 2015 y 2019, CRU estima que más de 2/3 de toda la oferta nueva provino del desarrollo de proyectos *greenfield*, como se muestra a continuación. Para poner en línea la gran cantidad de nueva capacidad requerida, fue necesario que hubiera evidencia y expectativa de precios altos de litio que atraigan inversiones en proyectos que son de alto riesgo y de alto costo de capital.

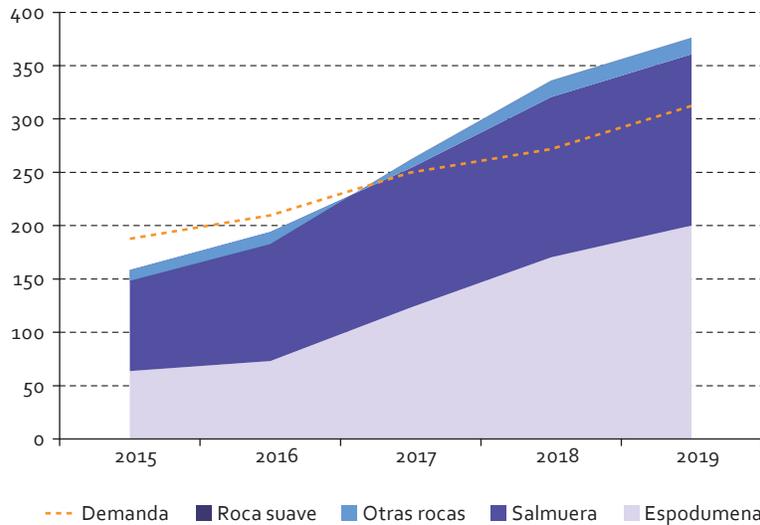
Tanto la producción a partir de espodumeno (principalmente en Australia) como de salmueras, vieron nueva capacidad de producción producto de la rápida expansión del mercado del litio. En 2015, las salmueras representaron alrededor del 63% del suministro total de litio, sin embargo, con la rápida puesta en marcha de operaciones en Australia, el litio extraído de roca se convirtió en el principal producto extraído a nivel mundial en 2018. En 2019, el litio de roca representó casi el 56% del suministro total, aumentando desde sólo 37% 5 años antes.

Gráfico 26
Proyectos *greenfield* lideraron el aumento del suministro de litio entre 2015 y 2019
 (En miles de toneladas LCE)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 27
Caso base de suministro de litio, por tipo de yacimiento
 (En miles de toneladas LCE)



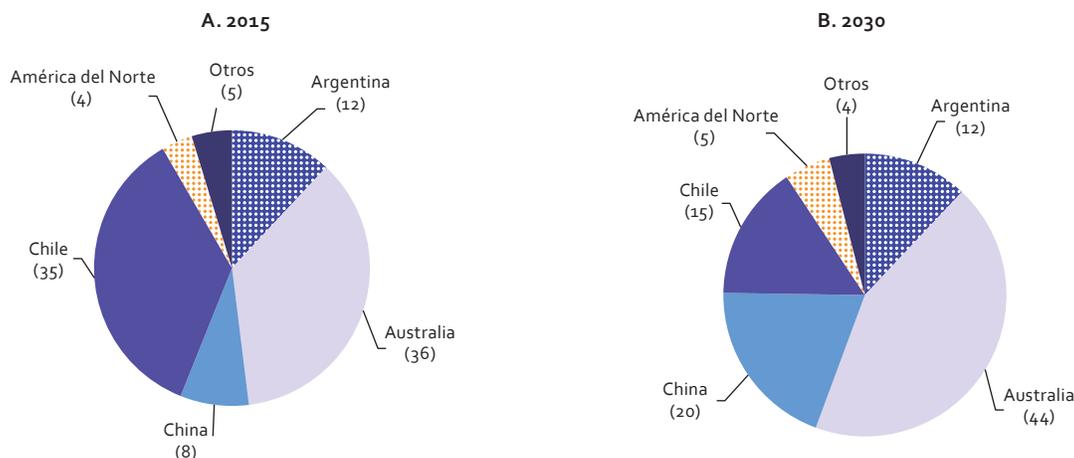
Fuente: Elaboración propia.

1. Proyectos y proyección de la oferta

Durante el período proyectado, la dinámica del mercado cambiará drásticamente. En el pronóstico de oferta ponderada, que representa la calificación de *CRU Project Gateway* (explicada en el capítulo I para el caso del cobre), Chile pierde una participación de mercado significativa sobre el resto de la base de oferta de litio. China supera a Chile y Argentina para convertirse en el segundo mayor productor de litio del mundo para 2030. La siguiente sección de este informe proporcionará un análisis de la oferta a nivel de país en Chile y Argentina para brindar mayor claridad.

Gráfico 28
Producción de litio

(En porcentajes de la producción total)



Fuente: Elaboración propia.

A 2030, habrá una dependencia mucho mayor de los proyectos para satisfacer el aumento de la demanda, particularmente de aquellos que están menos desarrollados en las categorías probable y posible.

En 2024, se espera que el 58% del suministro provenga de operaciones existentes.

Para 2030, sólo alrededor de 1/3 (35%) de suministro provendrá de las operaciones existentes.

Se espera que el espodumeno gane parte de la oferta mundial y represente el 55% de la producción total para 2030.

Actualmente, en América Latina solo existen 2 proyectos extractivos de litio operativos fuera de los países pertenecientes al Triángulo del Litio (Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de) y Chile). Ambos se encuentran en Brasil y, a diferencia de los otros proyectos en la región, la extracción se realiza a partir de roca en vez de salmuera. La capacidad combinada de estos proyectos alcanza las 14 mil toneladas LCE al año, y se estima que en los próximos años la capacidad productiva en la región (excluyendo los países del Triángulo del Litio) alcance las 110 mil toneladas/año LCE, como se muestra en el cuadro a continuación. Se espera también que, a partir de 2023, México se incorpore a la lista de productores de litio en América Latina.

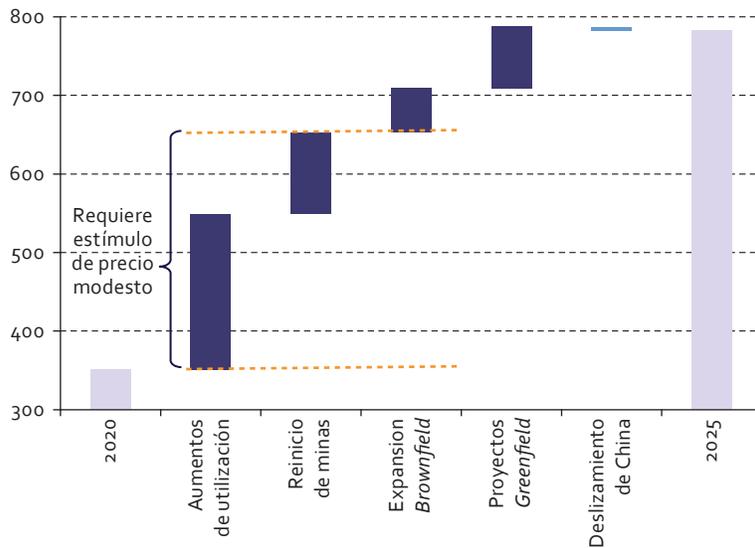
Cuadro 9
Operaciones y proyectos existentes en la región (se excluye Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de) y Chile)

Proyecto	Operador/dueño(s)	País	Estatus	Tipo de depósito	Capacidad (en miles de toneladas/año LCE)	Año de arranque
CBL	Companhia Brasileira de Litio (CBL)	Brasil	Operativo	Roca	2	-
Mibra Phase 1	AMG Lithium	Brasil	Operativo	Roca	12	-
Grota do Cirilo (Xuxa - Phase 1)	Sigma Lithium Resources	Brasil	Probable	Roca	33	2022
Grota do Cirilo (Barreiro - Phase 2)	Sigma Lithium Resources	Brasil	Especulativo	Roca	33	2023
Mibra Phase 2	AMG Lithium	Brasil	Especulativo	Roca	12	>2025
Sonora	Bacanora 77,5%, Ganfeng 22,5%	México	Probable	Roca	18	2023

Fuente: Elaboración propia.

CRU espera que solo el 18% de la nueva capacidad y oferta de litio durante los próximos 5 años provenga de proyectos de *greenfield*. Asimismo, un 46% del aumento en la oferta correspondería a una mayor utilización de la capacidad en los proyectos existentes. Expansiones *brownfield* y reinicio de minas completan las fuentes de oferta futura. Esto se aprecia en el cuadro a continuación.

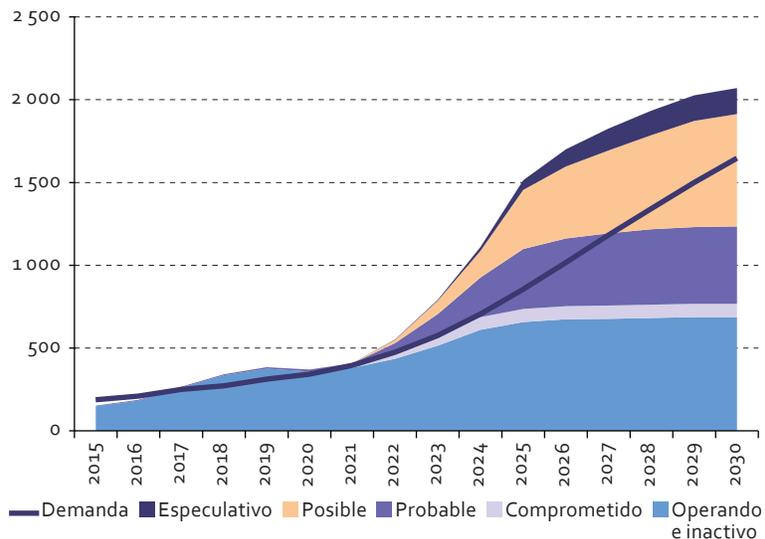
Gráfico 29
La nueva oferta estará dominada por una mayor producción *brownfield*
 (En miles de toneladas LCE)



Fuente: Elaboración propia.

A medida que el suministro se vuelva más fragmentado, tanto para los productores de salmuera como para los de roca dura, habrá nuevos participantes en el mercado, lo que agregará algún riesgo adicional a la oferta potencial.

Gráfico 30
Caso base de oferta total de litio de mina, considerando todos los proyectos sin restricción
 (En miles de toneladas LCE)

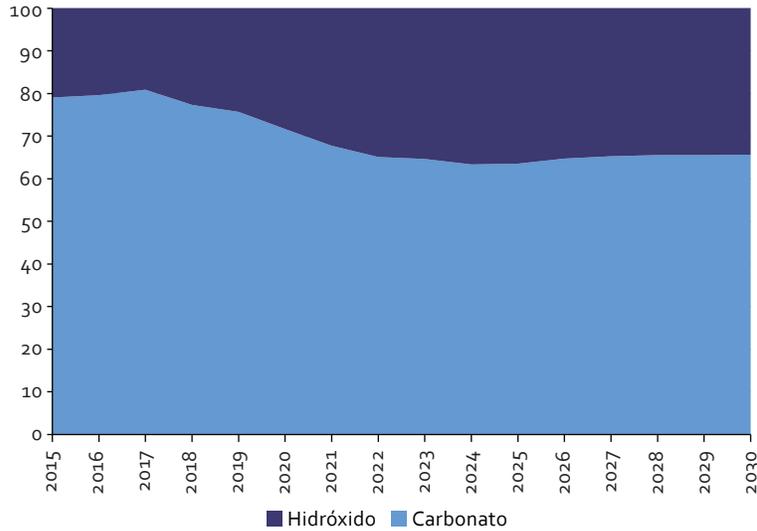


Fuente: Elaboración propia.

a) Capacidad de conversión química a 2030

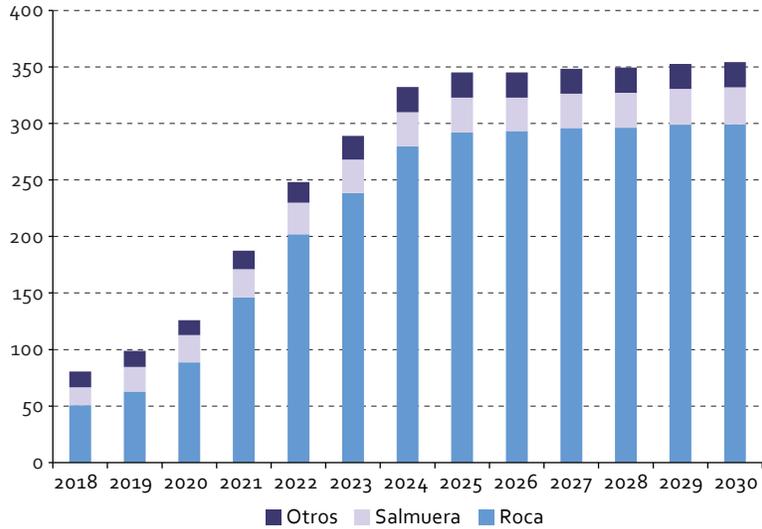
A medida que la capacidad de hidróxido se amplía a corto plazo, la gran mayoría de la producción adicional será a partir de espodumeno o roca, tanto de actores australianos integrados como de convertidores chinos. Como tal, se espera que la participación de mercado en la oferta de litio proveniente de roca aumente rápidamente. El crecimiento a más largo plazo en la participación de roca en la producción de LiOH es en parte debido a que existe un universo mucho más grande de proyectos de LiOH basados en roca dura, en comparación con la salmuera.

Gráfico 31
Proporción del suministro de productos químicos del caso base considerado
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 32
Suministro de hidróxido de litio considerado por fuente
(En miles de toneladas LCE)



Fuente: Elaboración propia.

2. Proyección de oferta y capacidad en los países andinos

CRU ha identificado 20 expansiones y nuevos proyectos en Argentina, Chile y Bolivia (Estado Plurinacional de). En conjunto, éstos representan un potencial total de aumento en la capacidad de producción de 530.000 ton LCE/año —asumiendo que todos los proyectos se materializaran en los próximos 10 años, lo cual es muy improbable que ocurra. Debido a que la implementación de los proyectos de expansión considerados resulta más esperable, estos caen en la categoría de “probables”.

Cuadro 10
Operaciones y proyectos existentes en los países del Triángulo del Litio

Proyecto	Operador/dueño(s)	País	Estatus	Tipo de depósito	Producto de Litio	Capacidad (en miles de toneladas/año LCE)	Año de arranque
Fenix (Hombre Muerto)	Livent	Argentina	Operativo	Salmuera	Carbonato	18	-
Olaroz Stage 1	Orocobre (66,5%), Toyota Tsusho (25,0%), JEMSE (8,5%)	Argentina	Operativo	Salmuera	Carbonato	18	-
Salar de Atacama (La Negra I / II) - ALB	Albemarle	Chile	Operativo	Salmuera	Carbonato	44	-
Salar de Atacama	SQM	Chile	Operativo	Salmuera	Carbonato, Hidróxido	60	-
Cauchari-Olaroz	Minera Exar (Lithium Americas 49%, Ganfeng Lithium 51%)	Argentina	Comprometido	Salmuera	Carbonato	40	2022
Olaroz Stage 2	Orocobre (66,5%), Toyota Tsusho (25,0%), JEMSE (8,5%)	Argentina	Comprometido	Salmuera	Carbonato	25	2022
Fenix Expansion (Hombre Muerto)	Livent	Argentina	Probable	Salmuera	Carbonato	40	2022
Maricunga	Lithium Power International (51%), Minera Salar Blanco (31%), Bearing Lithium (18%)	Chile	Probable	Salmuera	Carbonato	20	2023
Salar de Atacama (La Negra III / IV)	Albemarle	Chile	Probable	Salmuera	Carbonato	40	2021
Salar de Atacama Phase 2 expansion	SQM	Chile	Probable	Salmuera	Carbonato, Hidróxido	50	2021
Cauchari	Orocobre	Argentina	Posible	Salmuera	Carbonato	25	2022
Pastos Grandes	Millennial Lithium	Argentina	Posible	Salmuera	Carbonato	24	2023
POSCO	POSCO	Argentina	Posible	Salmuera	Carbonato	25	2023
Sal de Vida	Galaxy Resources	Argentina	Posible	Salmuera	Carbonato	25	2022
Salar del Rincon	Argosy Minerals	Argentina	Posible	Salmuera	Carbonato	2	2022
Salar del Rincon Phase 1	Rincon Lithium	Argentina	Posible	Salmuera	Carbonato	10	2023
Tres Quebrados	Neo Lithium	Argentina	Posible	Salmuera	Carbonato	20	2022
Salar de Atacama Phase 3 expansion	SQM	Chile	Posible	Salmuera	Carbonato, Hidróxido	40	2024
Centenario-Ratones	Eramet	Argentina	Especulativo	Salmuera	Carbonato	24	2025
Mariana (Salar de Llullaillaco)	Litio Minera Argentina S.A. (Ganfeng Lithium 84,6%, International Lithium 15,4%)	Argentina	Especulativo	Salmuera	Carbonato	10	>2025
Pozuelos-Pastos Grandes	LSC Lithium (Pluspetrol Resources)	Argentina	Especulativo	Salmuera	Carbonato	20	2024
Sal de los Angeles (formerly Salar de Diablillos)	Lithium-X	Argentina	Especulativo	Salmuera	Carbonato	20	>2025
Salar del Rincon Phase 2	Rincon Lithium	Argentina	Especulativo	Salmuera	Carbonato	15	2025
Salar de Uyuni	(YLB) 51%, ACI Systems 49%	Bolivia (Estado Plurinacional de)	Especulativo	Salmuera	Carbonato	35	2024

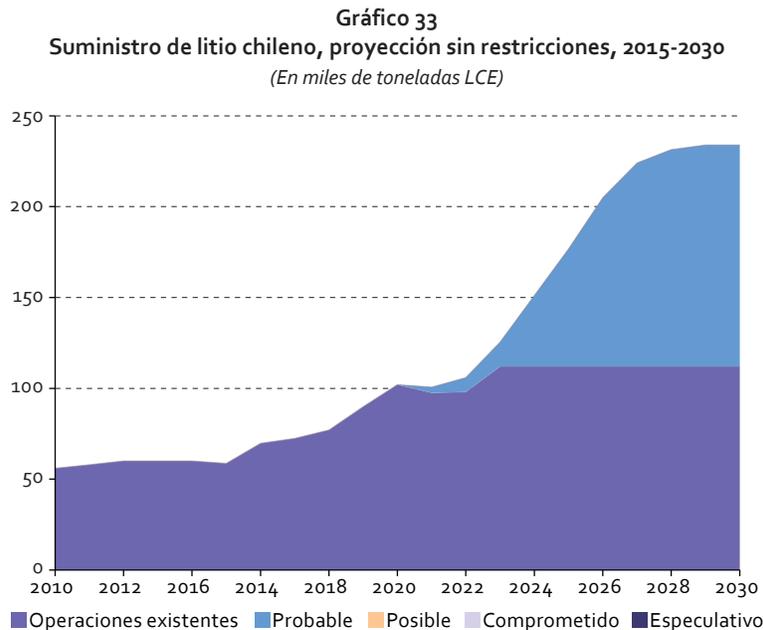
Fuente: Elaboración propia.

a) Chile

El país ha sido históricamente un actor clave en el mercado del litio, aunque la producción ha venido exclusivamente de una sola fuente (Salar de Atacama). El desarrollo de nuevos proyectos se ha desacelerado debido a la complejidad del ambiente regulatorio. Los obstáculos regulatorios incluyen el hecho de que el litio está excluido de una concesión de explotación minera de acuerdo con el Código de Minería de 1983. No existe un marco claro para la adjudicación de nuevas concesiones y existen además cuotas para la comercialización del litio. SQM y Albemarle tienen un contrato privado con una agencia estatal (CORFO), lo que les permite un acceso acelerado a los permisos y operar en el Salar de Atacama.

Por otro lado, cada vez hay más escrutinio en torno a los altos volúmenes de agua utilizados (o mejor dicho de agua que se evapora) en las operaciones de salmuera y la posibilidad de agotamiento de los acuíferos, particularmente en el desierto de Atacama. Muchos proyectos prospectivos de salmuera también se encuentran en áreas protegidas, lo que lleva a más preocupaciones ambientales. Es probable que esto limite el desarrollo de nuevas operaciones de salmuera en América del Sur.

Por ello, se espera que aumente la oferta a mediano plazo, pero más lenta que otros productores, contribuyendo a una disminución de la participación de Chile. Con una cartera relativamente pequeña de proyectos, CRU pronostica que la oferta total sin restricciones (sin ponderación por categoría de proyectos) podría alcanzar 233.911 t LCE para 2030, como se muestra en el gráfico siguiente, liderado por la expansión de las operaciones existentes de SQM y Albemarle en Atacama. Esto incluye la expansión de la Fase 3 de SQM, que CRU pronostica que llegará a la producción a finales de 2025 y un eventual aumento de la capacidad total en los años siguientes hasta 2030.



Fuente: Elaboración propia.

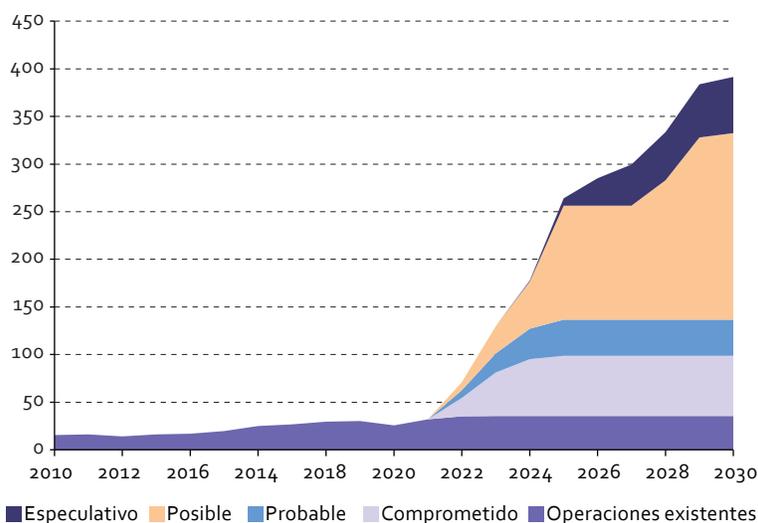
b) Argentina

En 2015, Argentina fue el tercer productor de litio a nivel global. Sin embargo, con los enormes aumentos de la oferta observados en China y Australia en los últimos años, Argentina ocupa ahora el cuarto lugar. Al igual que Chile, Argentina produce litio únicamente desde salmueras. Actualmente, hay 2 minas operativas en el país con una capacidad de operación combinada de 36.000 t LCE/año.

Un riesgo importante para la producción de litio en Argentina es la inestabilidad macroeconómica, que podría suponer riesgos a la baja en la proyección de la oferta. En total, CRU identifica 10 proyectos en Argentina con una capacidad combinada de 350.000 t LCE/a para 2030. Sin embargo, 7 de ellos se clasifican

como posibles o especulativos, que tienen significativamente menos peso en las proyecciones de oferta. CRU proyecta que la oferta total sin restricciones (sin ponderación por categoría de proyectos) en Argentina podría alcanzar los 391.500 t LCE en 2030. Sin embargo, es sensato suponer que la producción futura será mucho menor, teniendo en cuenta que el 70% de la cartera del proyecto es posible o especulativa.

Gráfico 34
Suministro de litio argentino, proyección sin restricciones, 2015-2030
(En miles de toneladas LCE)



Fuente: Elaboración propia.

c) Estado Plurinacional de Bolivia

En los últimos años, el Estado Plurinacional de Bolivia no ha sido un actor relevante en la producción mundial de litio a pesar de ser un país con grandes recursos de litio en salmuera y reconocido a nivel mundial, con un total estimado de 21 millones de toneladas de LCE. Considerando esto, la empresa nacional estratégica de los Yacimientos de Litio Bolivianos mantuvo conversaciones desde el 2016 con 15 empresas internacionales para la conformación estratégica de una sociedad con miras a la industrialización del recurso evaporítico del país, concluyendo con una sociedad mixta con la empresa alemana ACI Systems, en el año 2018.

Si bien CRU incorpora el proyecto Uyuni como especulativo, con una producción esperada de 45 mil toneladas/año de LCE y posible entrada en 2024, en el año 2019 las autoridades de Potosí anunciaron la abrogación de esta sociedad mixta entre el privado y la estatal, generando incertidumbre sobre el destino de la sociedad y sus proyectos respectivos. Dentro de estos, se destaca el proyecto Uyuni. Esta situación confirma la situación de incertidumbre respecto a si se verán concretados proyectos de extracción de litio en este país.

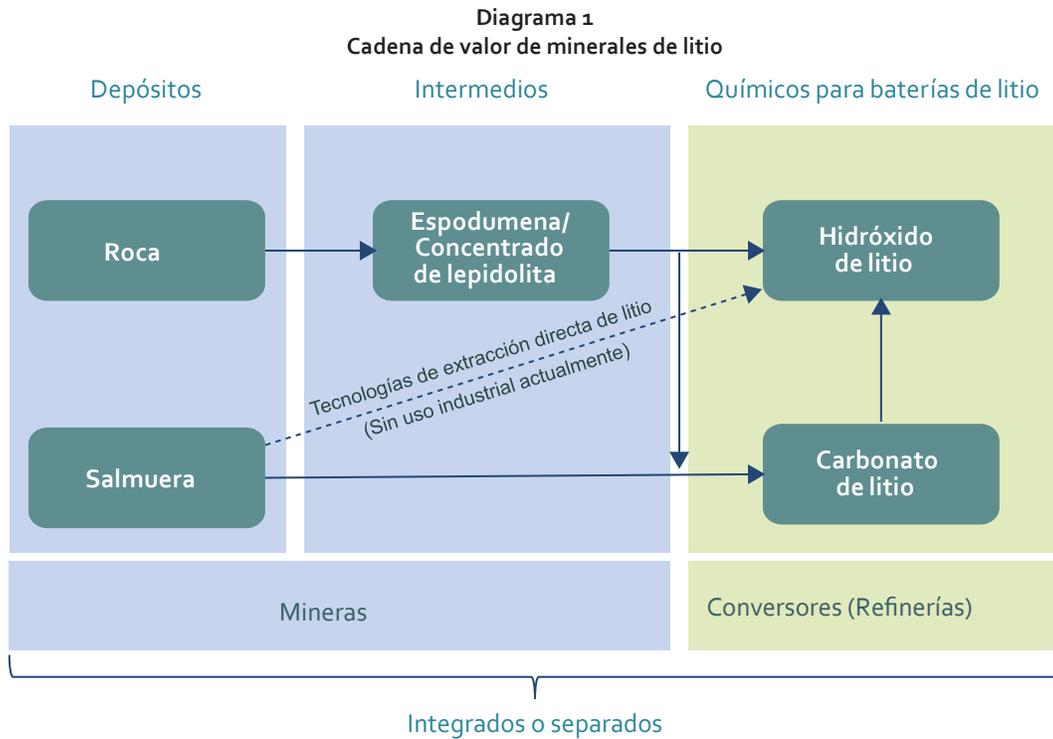
3. Análisis de competitividad de costos de los productores de litio en la región

a) Estructura de costos de proyectos de litio

i) Generalidades de los costos de producción de litio según tipo de operación

La estructura de costos de los productores de litio varía según su tipo de operación, producto final, materia prima y ubicación. Existen actualmente dos fuentes principales de litio con modalidades de extracción dominantes en cada uno de los casos. Una de ellas corresponde a la conversión de minerales de roca, principalmente espodumeno cuyo principal productor es Australia. La segunda tecnología dominante es la de evaporación solar, utilizada tradicionalmente en salares como en el caso de las operaciones de extracción de litio de Chile y Argentina.

Los costos de producción a partir de salmuera se centran en mano de obra, reactivos químicos y gastos de capital. El gasto principal de los convertidores de espodumeno son sus costos de materia prima (concentrado). Los convertidores de lepidolita se encuentran entre los productores de carbonato de litio con mayores costos, debido a que su baja ley, en comparación a la espodumeno, resulta en mayores costos de conversión. Para la mayoría de los productores de hidróxido de litio —que pueden encontrarse integrados o separados de la entidad minera (véase el diagrama 1)— su materia prima representa el mayor de sus costos por un amplio margen. Los altos costos de adquirir carbonato de litio a precio de mercado opacan los beneficios del bajo costo de convertir carbonato de grado industrial en hidróxido.



Fuente: Elaboración propia.

Las regalías o *royalties* representan una mayor fracción de los costos operativos en Chile que en Argentina.

En Chile, SQM y Albemarle acordaron junto a CORFO un pago incremental de regalías, el cual técnicamente corresponde a un pago de arriendo en base a una escala dependiente del precio del litio (ver abajo). Cabe destacar que, a pesar de que dicho acuerdo no representa una amenaza en un escenario de precios bajos, tiene un impacto significativo en el margen de ganancias en escenarios de precios altos.

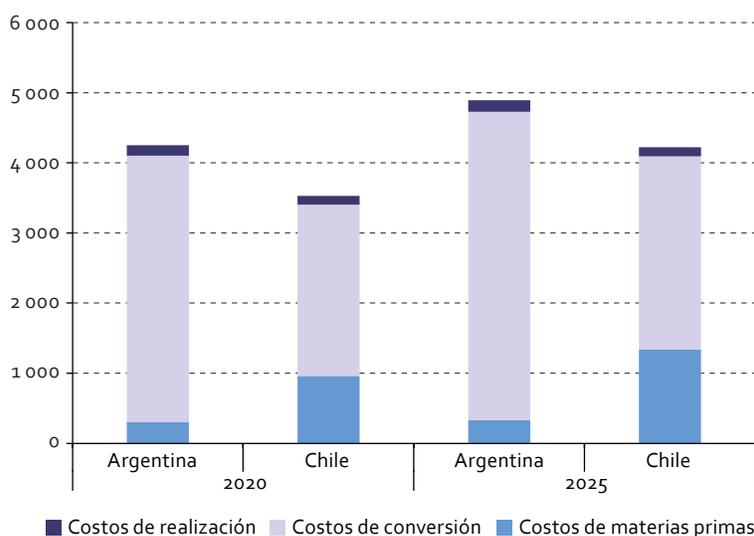
Cuadro 11
Tasas de pago de arriendo a CORFO por parte de productores de litio en Chile

Precio de litio (en dólares/millones de toneladas Li_2CO_3)	Tasa de pago de arriendo (en porcentajes)
0 - 4 000	6,80
4 000 - 5 000	8,00
5 000 - 6 000	10,00
6 000 - 7 000	17,00
7 000 - 10 000	25,00
> 10 000	40,00

Fuente: Elaboración propia.

Comparativamente hablando, los bajos costos de conversión de estas operaciones significan que los pagos de regalías, según los precios actuales, representan una fracción significativa de los costos totales de SQM y Albemarle en Chile —promediando en un 27% (considerado dentro de los costos de materia prima de acuerdo con la metodología de CRU, véase el gráfico 35). Esto es considerando un “precio depreciado” de US\$ 8.350/t LCE para el carbonato de litio. En adelante, CRU prevé que los precios de litio aumentarán hasta US\$ 10.190/t LCE (en términos reales de 2020) en 2025, lo que potencialmente aumentaría los pagos de regalías hasta por sobre un 30% de los costos totales.

Gráfico 35
Detalle de la estructura de costos de productores de litio en Argentina y Chile (en términos reales de 2020)
(En dólares/toneladas LCE)



Fuente: Elaboración propia.

La estructura de regalías vigente en Chile afecta únicamente a los contratos que tiene Corfo con SQM y Albemarle en el Salar de Atacama. Por tanto, esta regalía no sería vigente para otros proyectos que pudiesen desarrollarse en otros salares donde Corfo no tenga concesiones mineras que pueda arrendar a terceros para su operación. En este contexto, este esquema de regalías no tiene un impacto real sobre la competitividad de posibles nuevos proyectos y, dadas las condiciones particulares del Salar de Atacama, no significa tampoco una merma de competitividad para SQM y Albemarle en la actualidad. Esto ya que aun mantendrían costos muy competitivos respecto a los productores de roca en Australia, aun en escenario de precios alto de litio y, la característica progresiva de la regalía evita el riesgo de las operaciones en escenarios de precios bajos del litio. El principal problema de la competitividad en Chile radica en la poca claridad en la regulación para obtener los diferentes permisos requeridos para la ejecución de nuevos proyectos. En el caso de Argentina, al tener una mayor heterogeneidad de sus operaciones y proyectos de litio (ya que se ubican en diferentes salares) significa también una mayor heterogeneidad en los costos de sus operaciones. Por lo tanto, una estructura de regalías similar a la de Corfo debiese revisarse entiendo la realidad específica de la competitividad de costos de las diferentes operaciones de litio en Argentina, la cual se revisa en mayor detalle en la sección a continuación.

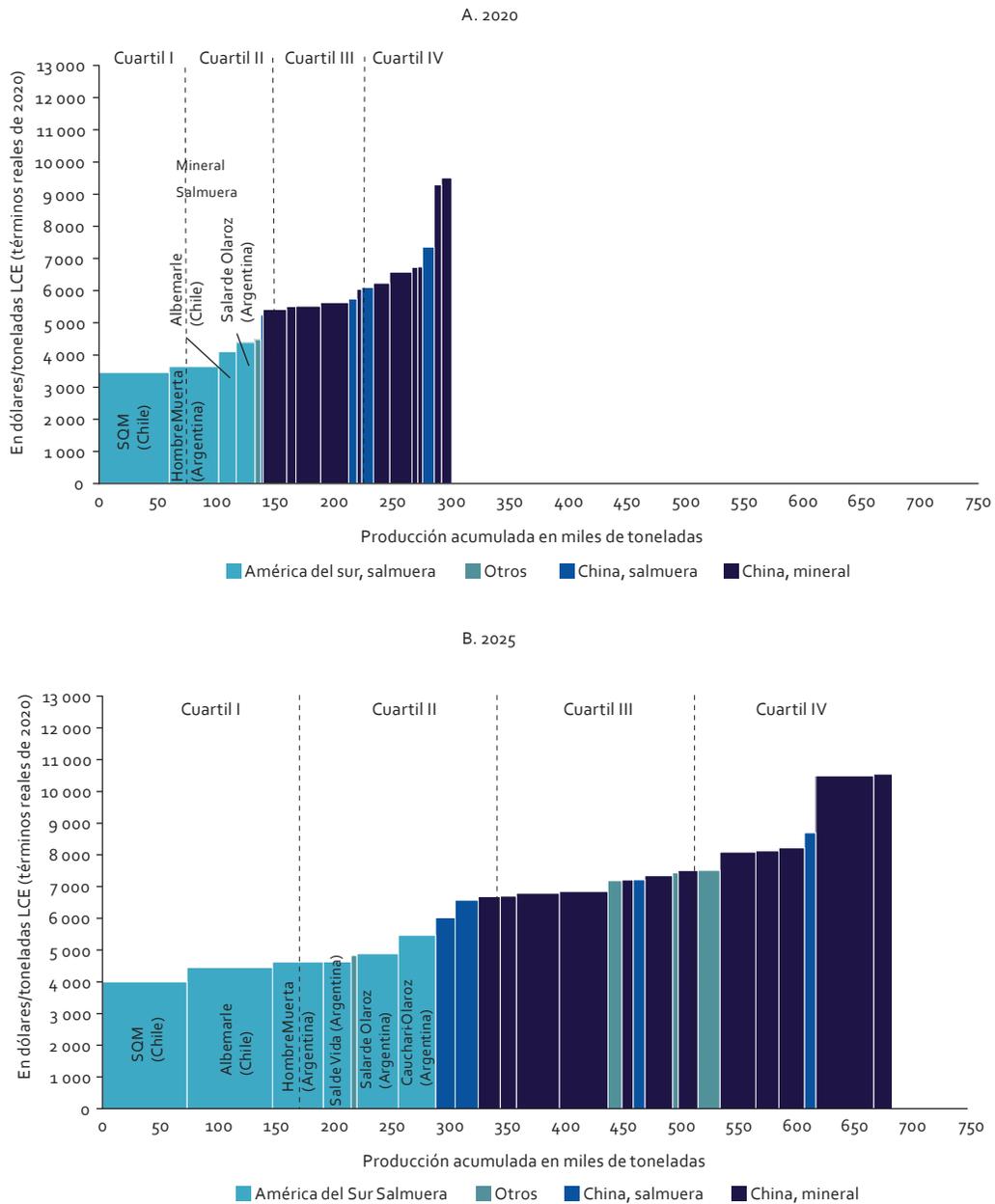
b) Análisis de competitividad de costos de productores en Chile y Argentina de carbonato e hidróxido de litio³

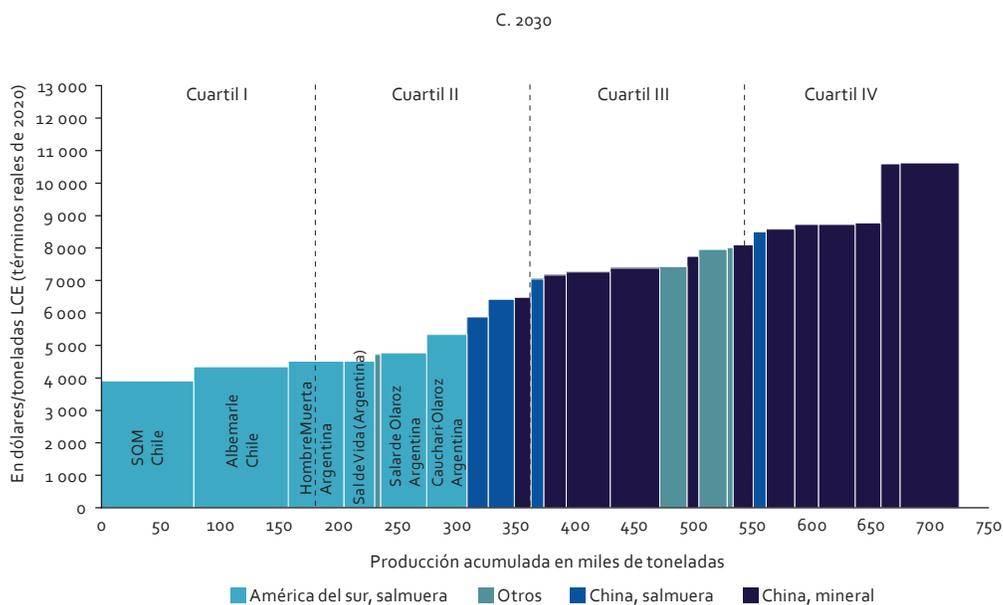
Las curvas de costos de carbonato de litio para los años 2020, 2025 y 2030 presentadas en el gráfico 36 mantienen su estructura de 2 niveles, donde los productores a base de salmuera en Chile y Argentina ocupan la mitad inferior de la curva por bajo los US\$ 5.500/t LCE, mientras que los convertidores de mineral

³ Referirse al anexo 2 para ver la definiciones y metodología de costos de litio de CRU.

en China ocupan la parte superior de la curva. A pesar de los altos costos de regalías versus costos totales de producción, Chile produce carbonato litio al menor costo en el mundo de forma sistemática. De esta forma, CRU espera que los productores ubicados en América del Sur mantengan su posición dominante en la producción de carbonato de litio por los próximos 10 años.

Gráfico 36
Curva de costos de negocio del carbonato de litio, 2020, 2025 y 2030





Fuente: Elaboración propia.

i) **La producción de hidróxido de litio implica costos adicionales**

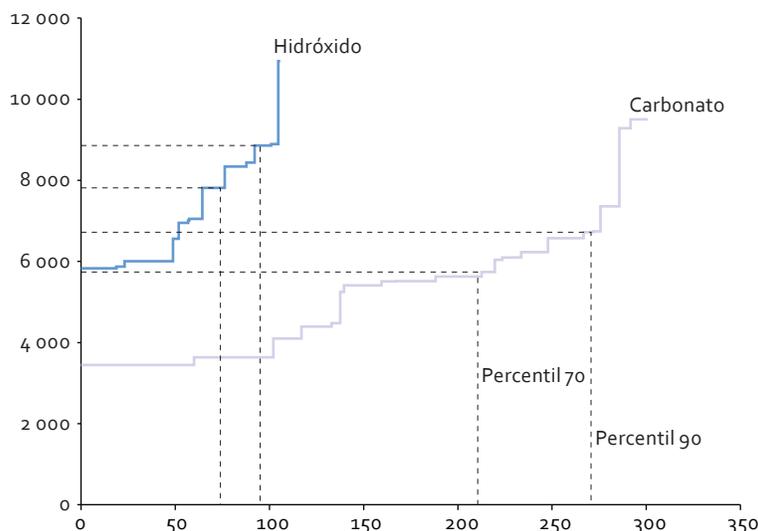
El gráfico 37 muestra los costos de negocio tanto para el carbonato como el hidróxido de litio en 2020 en términos de LCE. En un mercado balanceado, un supuesto adecuado es estimar que el costo marginal de la industria se sitúe en el percentil 90 de la curva de costos, esto quiere decir que el precio de incentivos debe ser tal que al menos 90% de la producción genere márgenes positivos (o *break even* en su límite). Se puede observar que el costo marginal de producción de hidróxido es aproximadamente US\$ 2.000/t LCE más alto que el del carbonato. Esto muestra por qué el hidróxido es típicamente vendido con un *premium* por sobre el carbonato.

Lo expresado en el párrafo anterior se debe a la caída en el precio del concentrado de espodumeno, lo que reduce de forma sustancial los costos en la mitad de la curva de carbonato en 2020, mientras que el costo del carbonato de grado industrial —materia prima de la mayor parte de la sección superior de la curva de costos del hidróxido— disminuyó en una menor proporción durante el mismo año. Hacia el futuro, el riesgo de que el valor *premium* disminuya dependerá principalmente de la velocidad en que nueva capacidad de hidróxido y carbonato entre en producción, así como también de la proporción entre las diferencias de precios del concentrado de espodumeno y el carbonato de grado industrial.

Es importante recalcar que, si el precio del carbonato cae, los costos de producción de los convertidores de carbonato de grado industrial también caerán, disminuyendo el impacto que pudiese tener en sus márgenes de ganancia una caída del valor *premium* del hidróxido.

En 2020, los grandes convertidores de mineral chinos llenaron la mitad inferior de la curva de costos del hidróxido de litio, quedando SQM, el único productor de hidróxido en América del Sur, ubicada en el tercer cuartil junto a los pequeños convertidores de mineral chinos. Sin embargo, CRU estima que para el año 2025, nuevos productores australianos serán competitivos con los procesadores chinos de espodumeno, desplazando a SQM al cuarto cuartil según muestra el gráfico 38. Los bajos costos de espodumeno y soda cáustica en Australia debiesen, de forma general, compensar los altos costos de conversión y costos de capital. Los productores de hidróxido a base de carbonato de litio proveniente de salmuera se mantendrán en la cima de la curva.

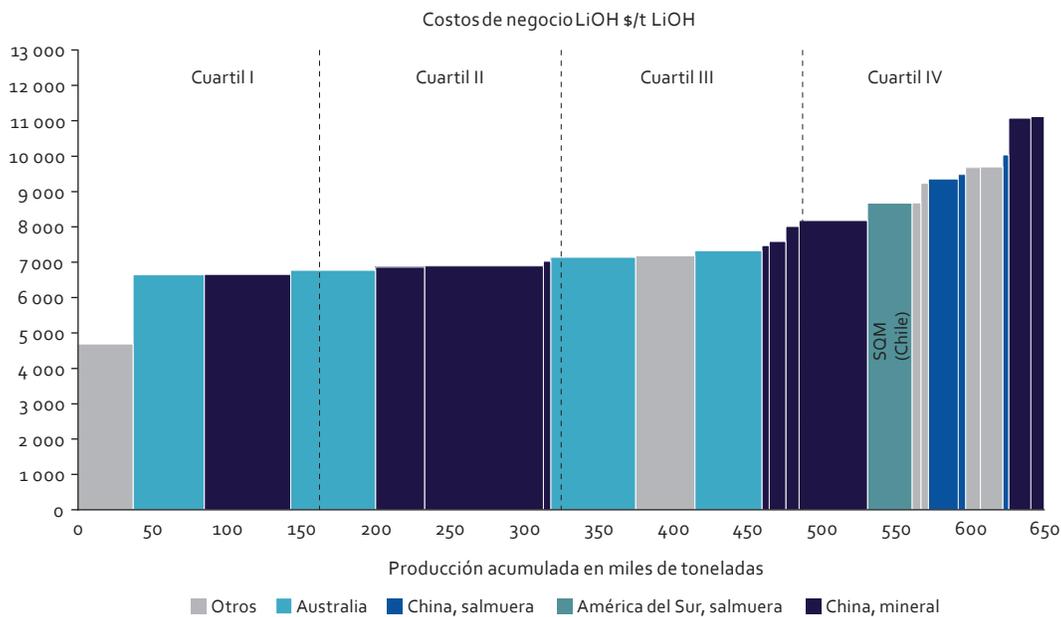
Gráfico 37
Curvas de costos del negocio para carbonato e hidróxido, 2020
 (En dólares/toneladas LCE)



Fuente: Elaboración propia.

Cabe recalcar que acorde a la metodología de cálculo de costos de CRU (presentada en el anexo 2), se asume que los costos de materia prima de SQM corresponden al costo de carbonato de litio a precios de plena competencia. Es teóricamente posible considerar que el precio de intercambio de carbonato es el correspondiente a su costo de producción, lo que reduciría los costos totales de producción de SQM de forma significativa y la ubicaría dentro del primer cuartil de la curva de costos del hidróxido. Sin embargo, se considera el primer supuesto, para poder comparar bajo la misma base con los otros convertidores.

Gráfico 38
Curva de costo de negocio del hidróxido de litio, 2025
 (En dólares/toneladas LiOH (términos reales 2020))



Fuente: Elaboración propia.

III. Impacto de escenarios y principales perspectivas de desarrollo sostenible para la industria de cobre y litio en la región

Puntos clave:

- Para este estudio, se evaluaron 2 escenarios alternativos de proyección de demanda a 2030 de cobre y litio: i) Escenario optimista y ii) Escenario pesimista. Las 2 variables principales que influenciarán la demanda de estos metales son la recuperación e impacto del COVID-19 y la penetración de los vehículos eléctricos a lo largo de la década.
- El escenario optimista está marcado por una adopción acelerada de los vehículos eléctricos, principalmente los vehículos eléctricos de batería (BEV) y una visión más positiva frente a la recuperación económica del COVID-19. En este escenario, se proyecta una reconstrucción de la economía impulsada por un programa de vacunación eficiente, la relajación de las medidas de distanciamiento social y un sistema de pruebas eficaz para evitar la propagación de nuevas cepas. En este escenario, las políticas públicas se enfocan en incentivos hacia la electromovilidad, inversión en infraestructura y un desincentivo al uso de vehículos de combustión interna (ICE).
- El escenario pesimista tiene como supuestos principales una recuperación más lenta del COVID-19 en el corto plazo, marcado por una desaceleración económica prolongada hacia 2021; y una disminución en la demanda total de vehículos eléctricos en el largo plazo. La misma podría provenir de una mayor penetración de los vehículos autónomos y las plataformas de uso compartido de automóviles, impactando así la demanda por vehículos eléctricos hacia fines de esta década.
- La demanda del cobre en el escenario optimista está guiada por la adopción acelerada de vehículos eléctricos y por el desempeño económico de India y China. Los factores anteriores ocasionarían un aumento en la demanda total de cobre refinado en 873 mil toneladas (+3,2% versus el caso base). Por su parte, en el escenario pesimista, la demanda de cobre refinado tendría una pérdida de 565 mil toneladas o -2,1% en comparación con el escenario base para 2030.

- A diferencia del cobre, el futuro de la demanda del litio está fuertemente ligado a la penetración de los vehículos eléctricos. Es muy bajo el riesgo de sustitución en las baterías en las que el uso del litio es fundamental en el período evaluado. Asimismo, en el corto plazo, CRU evalúa como muy reducido el riesgo a la baja en la demanda producto de las políticas de incentivos a la compra de vehículos eléctricos en China, Europa y, posiblemente en EE.UU. sumado a los buenos resultados de la industria en 2020. En el escenario optimista se estima que la demanda de litio alcance los 1,9 millones de toneladas LCE, un 12% superior al caso base. En el escenario pesimista se proyecta una caída en la demanda de ~120 mil toneladas (-7,2%) LCE a 2030 respecto del caso base.
- Desde el punto del cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, el reporte incorpora lineamientos generales desde un punto ambiental y socioeconómico. Entre estos, temas tales como energías renovables en las faenas mineras y el consumo y uso responsable de las fuentes hídricas.
- En el caso de la industria del cobre, Chile ha avanzado su transformación de manera más acelerada que Perú debido en parte a la mayor dependencia histórica en generación eléctrica a partir de carbón y escasez hídrica en las regiones donde se ubican las operaciones mineras. Así, en Chile, el uso de energías renovables respecto de la demanda total de electricidad de la minería del cobre era de ~10% en 2020. Sin embargo, las proyecciones apuntan a que llegará a 49% en 2023, principalmente impulsado por fuentes solares y eólicas. De manera similar, se han hecho avances significativos en reemplazar el uso de agua fresca por agua de mar. Para el año 2030, se proyecta que un 49% del agua consumida no recirculada sea agua de mar.
- Si bien en la región no existen normativas relacionadas a la reducción de gases de efecto invernadero a través de fijación de precio por tonelada emitida, de igual forma, la industria ha avanzado en disminuir sus emisiones de manera voluntaria y en búsqueda de mejorar en aspectos de responsabilidad ambiental. Aun así, queda espacio para implementar políticas públicas que permitan la aceleración de esta transición sustentable y en línea con metas de mitigación de gases de efecto invernadero.
- Las altas tasas de pérdida de agua por evaporación en el proceso de recuperación de litio desde salmuera son un eslabón débil en la producción de litio en la región. En esta línea, SQM anunció en 2020 que reducirá el uso de salmuera en un 50% para 2030 y el uso de agua en un 65% para 2040, y tiene como objetivo convertirse en carbono neutral para 2040. En búsqueda de operaciones cada vez más sustentables, proyectos como Kachi en Argentina de la empresa Lake Resources, planean utilizar una tecnología de extracción directa de litio que disminuye enormemente el impacto hídrico.
- Con respecto al aporte monetario proveniente de la industria del litio en términos de empleo, los montos alcanzaron cifras cercanas a los 60 millones de dólares en Chile y 20 millones en el caso de Argentina. En el mediano plazo, se espera que estas cifras sigan incrementándose, especialmente en el caso argentino con la entrada de dos nuevos proyectos de litio y el aumento en la producción de las operaciones actuales. En el caso de la industria del cobre, este aporte a la economía por concepto de empleo directo es ordenes de magnitud mayores, espera alcanzar 4.300 millones y 1.600 millones de dólares en Chile y Perú respectivamente a 2025.
- En términos de empleo, si se identifica como una brecha al desarrollo sostenible la equidad de género en la industria. Se estima que, en la actualidad, menos de 20% de los colaboradores de la industria corresponde al género femenino y este número se reduce aún más cuando se refiere a posiciones de liderazgo. Se han desarrollado un sinnúmero de iniciativas a través de distintas instituciones y gobiernos, que han impulsado el desarrollo de esta industria, pero aún no ha habido avances concretos respecto a políticas públicas en esta línea.
- Por su parte, el relacionamiento con las comunidades y actores involucrados en las zonas donde se realizan las operaciones se ha vuelto cada vez más prioritario para el buen funcionamiento de las operaciones mineras.

A. Análisis de escenarios de demanda de cobre y litio

1. Definición de los escenarios

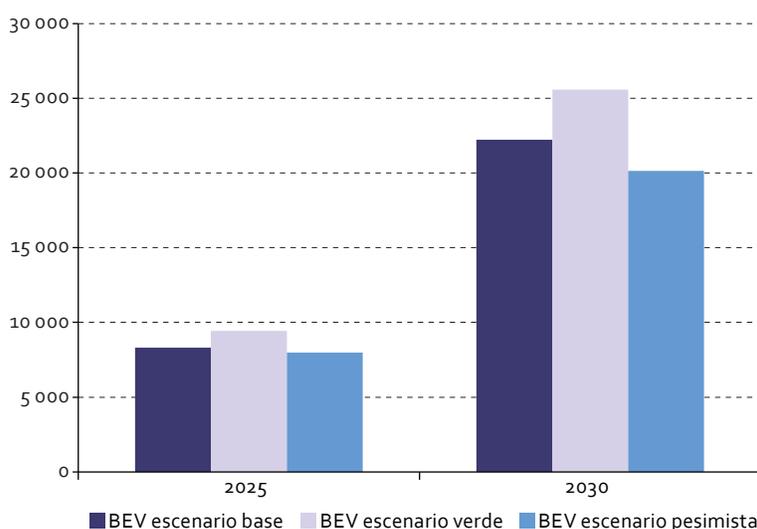
El escenario base de las proyecciones de CRU contempla que el distanciamiento social, junto con otras medidas como las pruebas y el rastreo asociadas al COVID-19, durarían al menos hasta finales de 2021. Un proceso de vacunación eficiente a partir de mediados de 2021 incrementa la posibilidad de que el escenario base ocurra. Las respuestas de políticas fiscales son claves a la hora de mitigar la recesión económica, que ha ocasionado una permanente pérdida en la producción en comparación con la proyección pre COVID-19. En este escenario el PIB mundial vuelve a los niveles de Q4 de 2019 en Q4 2021.

Esta sección presenta dos escenarios adicionales, cada uno de ellos construido como una combinación con respecto al escenario base que CRU ha determinado. Como es analizado en detalle en esta sección, ambos metales responden de distinta forma e intensidad a las narrativas de dichos escenarios. El cobre por su parte es un metal industrial cuyo consumo está directamente relacionado a la actividad industrial y a la economía. La electrificación es un factor relevante, pero hacia el mediano-largo plazo; en comparación con el caso del litio que ve prácticamente todo su crecimiento en la electromovilidad. De esta forma, si bien se mantienen narrativas transversales y factores comunes, su efecto será diferente en los siguientes escenarios.

A corto plazo el COVID-19 sigue siendo el mayor riesgo para los mercados, y particularmente para el mercado del cobre. Los escenarios se han desarrollado en torno a dos factores clave: en primer lugar, las respuestas de salud pública al COVID-19. Esto incluye los cierres de fronteras, cuarentenas y el distanciamiento social, y los posteriores efectos en la economía. El segundo factor para tener en cuenta es el éxito de las políticas económicas e industriales para mitigar los efectos económicos del COVID-19.

A largo plazo, los escenarios se han construido teniendo en cuenta la dinámica de la demanda y la oferta. La demanda se basa en los principales motores de desarrollo del mercado, como por ejemplo la adopción de vehículos eléctricos (ilustrado en el gráfico a continuación) y los efectos en la demanda de litio y cobre, y dinámicas esperadas en economías claves como China e India. La oferta se ajusta en función de los diferentes niveles de tasas de interrupción en las operaciones y en la cartera de proyectos.

Gráfico 39
Proyección de demanda de vehículos livianos eléctricos de batería para escenarios



Fuente: Elaboración propia.

a) Análisis de sensibilidad adopción de BEV y tecnologías

A modo de entender los órdenes de magnitud del impacto que podría provocar una variación en la penetración de BEV en la demanda de cobre y litio, se realizó un análisis de sensibilidad que considera un aumento del 5% de ventas de vehículos eléctricos a batería para 2020, 2025 y 2030. Como se muestra en los resultados presentados en el cuadro a continuación, dado el crecimiento del mercado, 5 puntos porcentuales de crecimiento son muy distintos en 2020 y 2030, y así este tipo de variabilidades tendrán impactos más relevantes en el largo plazo. Si bien existe un impacto positivo tanto para la demanda de cobre y litio, como era de esperar el impacto es bastante más significativo para el caso del litio, pudiendo tener hasta un 12.2% de aumento en la demanda por sobre el caso base en 2030. Incluso en el corto plazo el impacto de un 5% adicional de BEV podría generar una variabilidad de ~2-7% del mercado de litio. Por otro lado, en el caso del cobre este impacto es menos significativo, no superando el 0.31% del mercado; dado que se trata de un mercado de mucho mayor tamaño.

Cuadro 12
Análisis de sensibilidad para una variación de 5% en la venta de BEV sobre la demanda de cobre y litio

		2020	2025	2030
BEV (+5%)	Miles de unidades	103	416	1 112
Cobre	Miles de toneladas	8	33	86
	Porcentaje de demanda base	0,04%	0,13%	0,31%
Litio	Miles de toneladas de LCE	6 767	26 658	58 260
	Porcentaje de demanda base	1,9%	6,6%	12,2%

Fuente: Elaboración propia.

Otro aspecto para considerar en el caso del litio es la variabilidad en el tipo de tecnología, o tipo de batería, y principalmente el tamaño de ésta. Como se ha presentado anteriormente en este estudio, el desarrollo del mercado de vehículos eléctricos ha tenido matices en los diferentes países. China, impulsó su industria principalmente favoreciendo la adopción de vehículos eléctricos de menor costo, de menor alcance y baterías más pequeñas; y por otro lado en Europa y Estados Unidos principalmente se favorecieron vehículos de mayores prestaciones.

En este contexto, si China por ejemplo acelerara su transición a vehículos a baterías de mayor tamaño, alcanzando niveles de Europa Occidental o América del Norte hacia 2030 eso significaría un aumento aproximado de entre ~8% a ~17% de la demanda de litio en ese país destinado a baterías (excluyendo su uso industrial). En términos agregados esto significaría entre un ~5% y ~10% de aumento en la demanda global de litio. Este ejercicio de sensibilidad busca apuntar a entender el orden de magnitud del impacto de las principales variables a tener en consideración, sin embargo, estas son dinámicas y obedecen a una serie de interacciones que son más factibles de analizar de un punto de vista de escenarios basados en ciertas premisas alrededor de una narrativa específica.

Cuadro 13
Tamaño de batería promedio de BEV por región
(En kWh)

Región	2020	2025	2030
América de Norte	70	70	70
Europa Occidental	70	65	65
China	48	60	60

Fuente: Elaboración propia.

También vale la pena mencionar que en el análisis de escenarios que se presenta a continuación, se considera que cada región mantiene fija su proporción de demanda por tipo de baterías o tecnología entre los diferentes escenarios.

Cuadro 14
Distribución de tipo de batería por región
(En porcentajes)

Región	Tipo batería	2020	2025	2030
China	NCA	10	1	1
	NMC111	0	0	0
	NMC532	20	0	0
	NMC622	20	49	24
	NMC811	5	25	50
	LMO	0	0	0
	LFP	45	25	25
América del Norte	NCA	65	30	15
	NMC111	2	0	0
	NMC532	5	0	0
	NMC622	19	20	35
	NMC811	6	40	40
	LMO	0	0	0
	LFP	3	10	10
Europa Occidental	NCA	6	1	0
	NMC111	5	0	0
	NMC532	14	5	0
	NMC622	70	44	10
	NMC811	5	30	50
	LMO	0	0	0
	LFP	1	20	40

Fuente: Elaboración propia.

2. Proyecciones bajo escenario optimista



El escenario optimista se enmarca en un marco de adopción alta de los vehículos eléctricos y una recuperación económica acelerada del COVID-19. El distanciamiento social se va superando con un sistema de pruebas y rastreos para prevenir cualquier brote adicional del virus y no se prevé una siguiente ola. Las políticas públicas de los gobiernos están orientadas a lograr un fuerte repunte de la actividad económica con una rentabilidad similar a los niveles pre-COVID-19 proyectada a alcanzarse a finales de 2021 o principios de 2022.

En este escenario, se espera que los vehículos eléctricos y la infraestructura asociada se vean fuertemente incentivados por medio de políticas públicas y regulaciones⁴ agresivas en contra de los vehículos de combustión e incentivos económicos para la adquisición de vehículos eléctricos. China, la Unión Europea y América del Norte serán los mercados principales en la adopción de la electrificación y se espera que sus políticas de incentivos se repliquen en otras regiones.

Un impacto significativo en el escenario optimista se ve reflejado en los vehículos eléctricos de batería. La adopción de la electrificación en los vehículos ligeros se ve acelerada después de mediados de la década de 2020 y estará acompañado de una disminución de los vehículos de combustión interna, especialmente en los países más industrializados donde se espera que el proceso de cambio hacia los vehículos eléctricos sea más acelerado. CRU proyecta que, bajo el escenario optimista, la venta

⁴ Implementación de subsidios para vehículos eléctricos y la aplicación de gravámenes más altos a los automóviles de combustión interna, como también la mayor adopción en leyes más restrictivas con respecto a las emisiones promedio provenientes de vehículos de combustión interna.

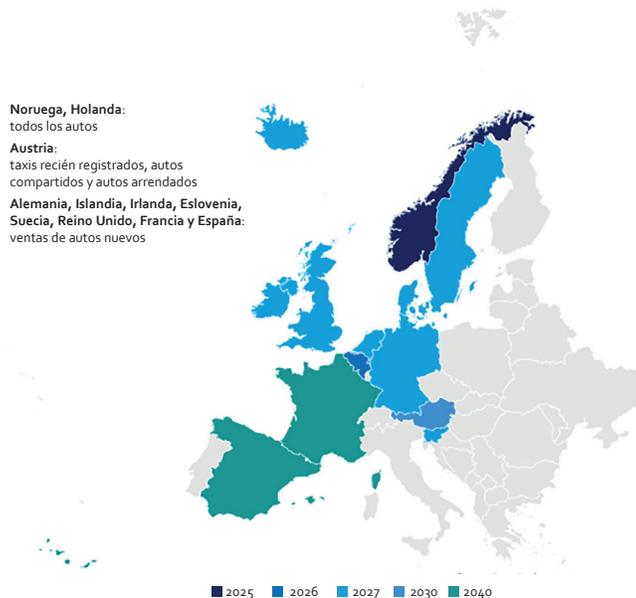
de vehículos eléctricos a batería (BEV) tendrán una tasa de crecimiento de 358% y 1.140% a 2025 y 2030 respecto a 2020, respectivamente. Esto es, aproximadamente, tasas de crecimiento 1,2 veces superiores a las del caso base.

Como parte del 14° plan quinquenal del país, China ha anunciado el objetivo de que el 20% de todas las ventas de vehículos sean *plug-in* para 2025. El caso base de CRU refleja un escenario más conservador, ya que, en paralelo a la introducción de estos objetivos, China simultáneamente planea eliminar todos los subsidios a los vehículos eléctricos en los próximos años. CRU cree que los subsidios siguen siendo un fuerte impulsor de las ventas de vehículos eléctricos en todas las regiones y, por lo tanto, al contabilizar esta disminución de los subsidios, se espera que en el escenario base las ventas de vehículos eléctricos en China alcancen el 17% de las ventas totales para 2025 y el 43% de las ventas para 2030, a medida que disminuyen los costos de las baterías y, el aumento de la capacidad de fabricación de vehículos de nueva energía (NEV), que incluye BEV, PHEV y otros, dan como resultado una explosión en las ventas de NEV a mediados o finales de esta década.

Para el escenario optimista, se asume que China alcanza con éxito los objetivos planteados y, posteriormente, anuncia en su decimoquinto plan quinquenal el objetivo de que los NEV representarán >50% del mercado para 2030. CRU cree que este aumento se verá en gran medida por una expansión de las ventas de PHEV, ya que los consumidores que todavía están interesados en los ICEs se convierten lentamente en BEV a través de PHEV.

En Europa Occidental, el caso base de CRU es que los vehículos eléctricos nuevos representan el 43% de las ventas para 2030, similar a China, pero, además, los HEV representan un 36% adicional de las ventas totales. El mercado europeo tiene una larga historia de fuertes ventas de híbridos en comparación con China, donde las ventas han sido limitadas (debido en parte a la falta de inversión en tecnología híbrida en el país). Si bien muchos países europeos se han comprometido ambiciosamente a prohibir las ventas de ICE en las próximas décadas, estas estrategias varían significativamente en la región en términos de alcance, cronograma y viabilidad.

Mapa 1
Mapa ilustrativo de políticas de prohibición de vehículos ICE en Europa



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los límites y los nombres que figuran en este mapa no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Para el escenario optimista, se asume que la mayoría de estos objetivos se cumplen. Las ventas de NEV se disparan a casi 2/3 (64%) de las ventas para 2030, y los HEV representan un 25% adicional. En este contexto, los vehículos ICE representarían sólo el 11% de las ventas totales.

a) **Proyección de consumo del cobre bajo el escenario optimista**



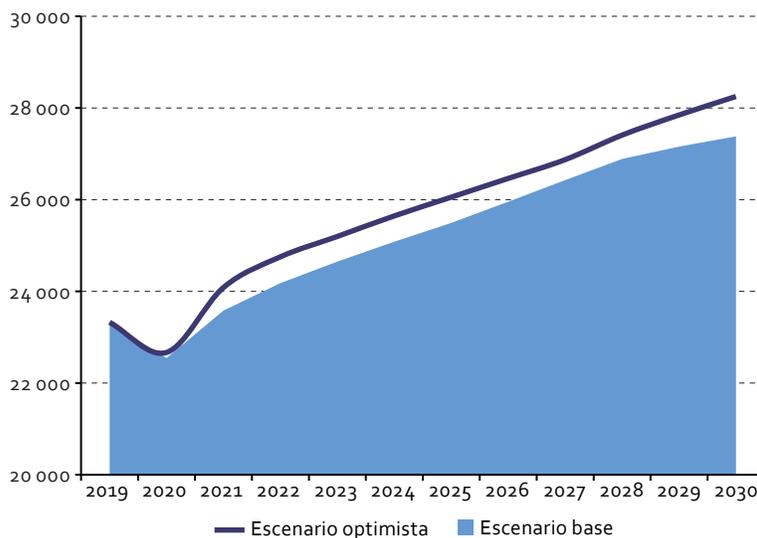
En un escenario optimista, la demanda de cobre se recuperaría a un ritmo más acelerado en el mediano plazo gracias a las políticas orientadas a lograr un repunte en las actividades económicas. De esta forma, en el corto plazo se logra recuperar niveles de consumo pre-COVID y no hay pérdida permanente de demanda, como en el caso del caso base. De cara al futuro, la demanda de cobre supera la demanda proyectada en el escenario base. Los supuestos para el escenario optimista están relacionados con 3 factores clave: i) el aumento de la cuota de mercado de los vehículos eléctricos (ya discutido en extenso), ii) el desempeño de India a un nivel muy superior frente al escenario base y, iii) una perspectiva más positiva del sector de la urbanización en China.

India se desempeña a un nivel muy superior frente al escenario base: aunque el crecimiento económico en India no ha sido el esperado a lo largo de los últimos años, el escenario optimista ubica a India a un nivel superior al actual y proyecta un crecimiento a un ritmo similar al de China, mercado principalmente a partir de 2025 en adelante. Sin embargo, cabe aclarar que, dada la baja base inicial para este crecimiento, los valores absolutos están lejos de los observados en China. Este escenario prevé una tasa de urbanización más rápida que en el escenario base, lo que en consecuencia supone un aumento de la intensidad de uso per cápita del cobre. Esto también va acompañado de un crecimiento más acelerado del PIB de ~8% al final del período (2030).

Tasa de urbanización más acelerada en el mediano plazo en China: en este escenario se estima un volumen de demanda adicional debido a una tasa de urbanización más rápida a mediano plazo en China. Esto tendrá un efecto positivo en el sector de construcción, aumentando ligeramente la intensidad de uso per cápita del cobre en esta industria.

Los factores anteriores ocasionarían un aumento en la demanda total de cobre refinado en 873 mil toneladas (3,2%), incrementando el consumo a 28,3 millones de toneladas en 2030.

Gráfico 40
Proyección de consumo global de cobre refinado bajo escenario optimista, 2019-2030
 (En miles de toneladas)



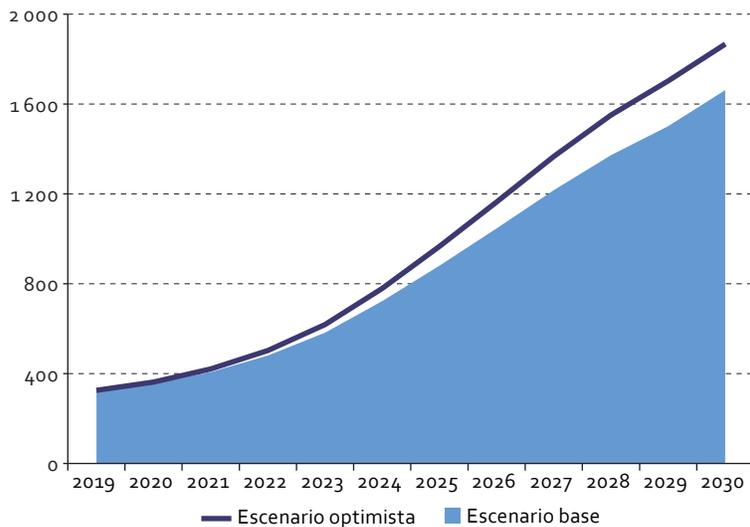
Fuente: Elaboración propia.

b) Proyecciones de demanda de litio bajo escenario optimista



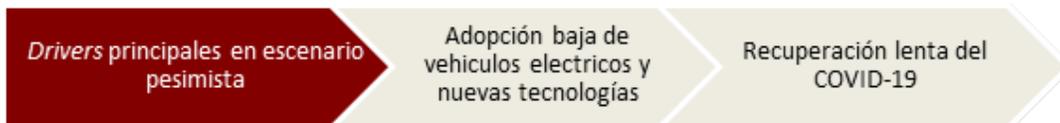
Para el caso del litio, la adopción más acelerada de la electromovilidad es el principal factor, particularmente evidente desde 2025 a 2030. Impulsado principalmente por la mayor demanda de vehículos eléctricos en la Unión Europea y China respecto al caso base, se proyecta una demanda total de litio de 967 mil toneladas LCE y 1.867 mil toneladas LCE para 2025 y 2030, respectivamente, comparado con 879 mil toneladas LCE y 1.661 mil toneladas LCE para los mismos años del caso base.

Gráfico 41
Proyección de demanda de litio bajo escenario optimista, 2019-2030
 (En miles de toneladas LCE)



Fuente: Elaboración propia.

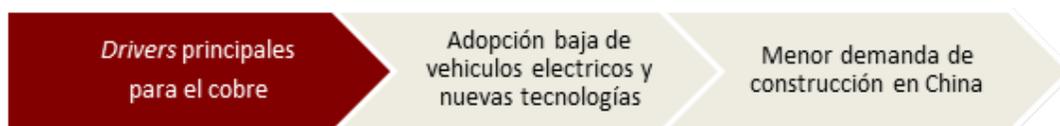
3. Proyecciones bajo escenario pesimista



En este escenario se proyecta que, a mediano plazo, a pesar de las medidas de contención, se requieren nuevas restricciones de movilidad (nuevas cuarentenas y otras medidas como los toque de queda, reducción de movilidad en algunas zonas, etc.). Además, el distanciamiento social se extendería al menos hasta finales de 2021 dependiendo de la región. En el escenario pesimista, la distribución de una vacuna a escala global se da masivamente sólo a finales de 2021. Las políticas públicas compensarían parcialmente la disminución de la actividad económica, con una pérdida permanente de producción mucho más aguda que en el escenario base. Como se revisa en detalle más adelante, esto tiene un particular impacto en el mercado del cobre.

Respecto a la electromovilidad, en el escenario pesimista la adopción de vehículos eléctricos es más lenta que en el escenario base en el mediano plazo, pero más importante aún, en el largo plazo también incorpora una disminución de la venta total de vehículos. En este escenario se supone una disminución del 10% en la demanda total de vehículos para 2030, lo que afecta no sólo a los vehículos de combustión interna, sino también a los vehículos eléctricos. Esta disminución de la demanda de vehículos podría provenir de una mayor penetración de los vehículos autónomos y las plataformas de uso compartido de automóviles (Uber, Didi, etc.). Además, la combinación de vehículos autónomos con plataformas de uso compartido de automóviles, o "robotaxis", podría llevar a una reducción aún mayor en la propiedad de automóviles de lo que CRU prevé en este escenario. Algunas condiciones que deben cumplirse para que este escenario se materialice incluyen, por ejemplo, un desarrollo de los vehículos autónomos más acelerado de productores líderes como Google y Tesla, entre otros.

a) Proyección del consumo del cobre bajo el escenario pesimista



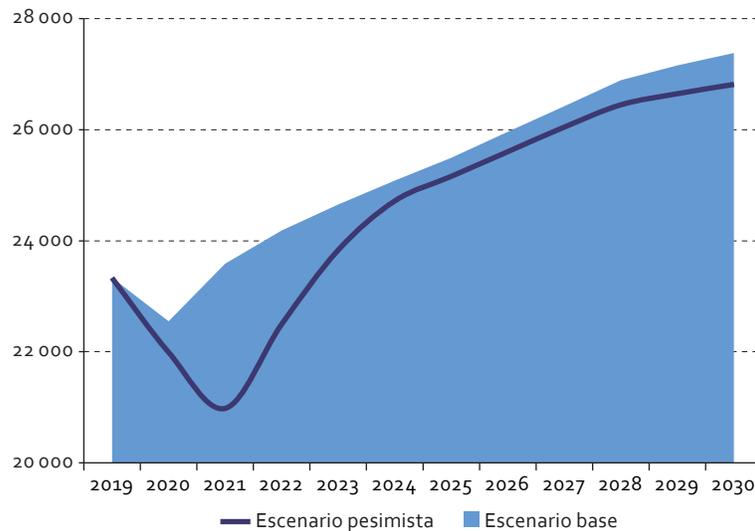
En el escenario pesimista, se espera que el mercado se recupere a un ritmo más lento en comparación con el escenario base a mediano plazo. En el futuro, la reducción del consumo de cobre se ajusta bajo 2 criterios principales: i) menor demanda de vehículos a nivel mundial y, ii) una menor demanda del sector de construcción en China. Ambos criterios se consideran parte de los principales riesgos estructurales para el consumo de cobre a mediano y largo plazo:

- **Menor demanda del sector construcción en China:** en el escenario base se intuye una reactivación de la construcción residencial urbana a mediados/ finales de la década de 2020 en China, ya que para entonces se anticipa un reemplazo de los edificios antiguos de los años ochenta y noventa. Los entes encargados de la planificación urbana en China han reconocido que estos edificios no estaban destinados a durar mucho más de 30 años, por lo que resulta necesario una modificación a la urbe en general. El impulso al consumo proveniente de China es una posibilidad alta si estos edificios son reemplazados después de una vida media de 30 años. En el escenario negativo la sustitución urbana se pospone unos años o quizás unas décadas. Retrasar la sustitución de todas las viviendas construidas desde la década de 1980 en una media de 10 años (extendiendo así la vida media de 30 a 40 años) da como resultado un perfil completamente plano de las terminaciones urbanas desde 2023 hasta principios de la década de 2040. Esto significa que la demanda de cobre para el sector de la construcción en China sigue estando cerca de donde está ahora en el largo plazo bajo estas condiciones.

El resultado del escenario pesimista llevaría a una reducción total de 565 mil toneladas (-2,1%) de la demanda de cobre refinado en comparación con el escenario base para 2030. Sin embargo, el *shock* más grande es en el corto plazo dada una recuperación más lenta en China y otras economías. Con esto, la caída de consumo de cobre continuaría en 2021, llegando a ~21 millones de toneladas, y comenzando su recuperación más acelerada que el caso base en 2022 y 2023, aunque manteniendo una pérdida permanente de ~230 mil toneladas de cobre refinado.

En el largo plazo, los cambios en la demanda de vehículos representan 400 mil toneladas de la disminución total de la demanda, mientras que los ajustes en el sector de la construcción residencial en China explican la caída restante de 165 mil toneladas frente al escenario base.

Gráfico 42
Consumo global de cobre refinado bajo los diferentes escenarios, 2019-2030
(En miles de toneladas)



Fuente: Elaboración propia.

b) Proyección del consumo de litio bajo el escenario pesimista

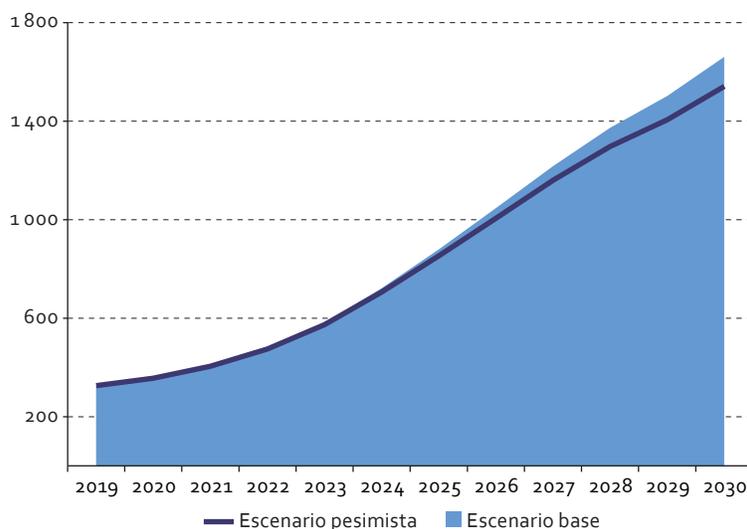


El escenario pesimista en el caso de litio lleva a variaciones de demanda más acotadas en el corto-mediano plazo que en el caso del cobre. Esto ya que se mantiene la visión de la adopción de vehículos eléctricos como el principal factor para determinar el crecimiento (o caída) de demanda de litio. Tomando en cuenta el desempeño positivo de venta de vehículos eléctricos en 2020 y las políticas agresivas de incentivos en las principales economías para impulsar esta industria, el riesgo a la baja, producto de una recuperación más lenta de la pandemia, es bajo. Esto considera los últimos planes del Gobierno de China (incluyendo los objetivos de ser carbono neutral en 2050), los paquetes de recuperación económica en la Unión Europea pos COVID-19 que están muy ligados a la electrificación y a las energías verdes, así como en Estados Unidos con la reciente elección de Joe Biden, el cual se espera igualmente materialice impulsos a la electromovilidad.

En el mediano plazo, el riesgo de sustitución en las baterías en las que el uso del litio es fundamental, es muy bajo. Por lo que el litio jugaría un papel fundamental en la transición energética en el sector de movilidad en el futuro cercano.

Dicho esto, el escenario pesimista es vulnerable a una menor demanda de vehículos en el largo plazo, con lo que se proyecta una caída de la demanda total de litio de ~120 mil toneladas LCE a 2030 en este escenario respecto del base.

Gráfico 43
Proyección de demanda de litio bajo escenario pesimista, 2019-2030
 (En miles de toneladas LCE)



Fuente: Elaboración propia.

B. Lineamientos de políticas para una mejor gestión en la minería de los países andinos en búsqueda de un desarrollo sostenible

La nueva agenda para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2030 impulsada por la Organización de las Naciones Unidas, considera 17 objetivos fundamentales en la esferas económica, social y ambiental. Entre los países suscritos al acuerdo, la realidad que enfrenta cada uno es diferente y, por lo tanto, se permite que cada país fije sus metas nacionales con el fin de cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En este contexto, el sector minero no está ajeno a la transformación de sus procesos de manera de ir en línea con estos objetivos, especialmente, dada la mayor demanda de cobre y litio (entre otros metales) impulsada por la descarbonización del mundo, a través de la transición energética hacia una economía baja en carbono y la electromovilidad.

Esta mayor demanda entrega importantes oportunidades a nivel de los países andinos, siendo estos, economías que cuentan con altas reservas y recursos naturales críticos para la descarbonización, como lo son el cobre y el litio. Sin embargo, estas oportunidades deben ser acompañadas por políticas y lineamientos que impulsen aspectos económicos, sociales y ambientales. Con base en lo anterior, si bien existen 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible en la Agenda a 2030, desde una perspectiva minera, estos pueden ser abordados principalmente desde aspectos tales como: igualdad de género, trabajo decente y crecimiento económico, energía asequible y no contaminante, acción por el clima, ciudades y comunidades sostenibles, y producción y consumo responsable.

Para dar cumplimiento a lo anterior, a nivel de la industria minera se han ido generando nuevos estándares para garantizar la minería responsable, los cuales se alinean con los ODS de la Agenda 2030. Sin embargo, y quizás el mayor problema que presentan estos nuevos estándares o lineamientos, corresponde a la heterogeneidad de estos mismos, generando la proliferación de diferentes iniciativas las cuales son adoptadas por un pequeño número de empresas o proyectos y/o enfocadas en ciertos minerales en particular.

Recuadro 2

Iniciativa para el aseguramiento de la minería responsable (The Initiative for Responsible Mining Assurance (IRMA))

Entre las iniciativas para definir estándares en la industria se encuentra IRMA (The initiative for responsible mining assurance, 2018), el único estándar de minería responsable que incluye una autoevaluación por parte de las mineras y también certificación independiente (terceras partes). IRMA busca establecer los principios y buenas prácticas para la minería responsable a gran escala, la cuales se basan en trabajo de años e incorpora la visión de empresas mineras, empresas que compran materias primas (joyería, productores de vehículos y empresas de tecnologías), organizaciones sin fines de lucro, comunidades y sindicatos de trabajadores. Entre los miembros más renombrados, se puede encontrar Anglo American (con presencia en minería de cobre en Chile y Perú), Daimler AG, BMW Group, Microsoft Corporation, IndustriALL Global Union, United SteelWorkers, entre otros; mientras que empresas de litio como SQM, Albemarle y Livent son miembros pendientes.

Si bien IRMA no reemplaza las leyes o regulaciones, sí recopila las mejores prácticas de la industria a nivel internacional en aspectos para un desarrollo sostenible en lo económico, social y ambiental.

Fuente: Elaboración propia.

En conjunto con la experiencia de CRU en esta materia y los estándares propuestos a nivel internacional en la industria minera, se recomienda impulsar lineamientos y regulación en materias de impacto ambiental y socioeconómico para ser aplicados por los gobiernos de la región con el fin de cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) Agenda 2030.

Impacto ambiental: el tema medio ambiental es quizás uno de lo más renombrados en el último tiempo debido al cambio climático y a la descarbonización que se está buscando a nivel mundial. Por lo tanto, en este aspecto se espera que la industria minera se comprometa a evitar o minimizar cualquier impacto al medio ambiente y las comunidades. Dentro de este punto, se pueden destacar lineamientos tales como la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) y el manejo de manera eficiente de los recursos hídricos y energéticos.

Impacto socioeconómico: una relación estrecha entre las empresas mineras, los trabajadores y las comunidades, con foco en la salud, la seguridad, valores culturales y calidad de vida, son hoy en día partes fundamentales del desarrollo exitoso de un proyecto minero con el fin de obtener una licencia social. También, se espera que las empresas mineras apunten a mejorar los niveles de equidad de género con el fin de apuntar a una industria más sostenible en todos los aspectos.

1. Impacto ambiental

Lineamientos para políticas y buenas prácticas en materia de sustentabilidad en la industria del cobre en Chile y Perú.

Si bien el ámbito de responsabilidad ambiental abarca una serie de medidas en distintos ámbitos, tales como el manejo hídrico, emisiones de GEI, calidad del aire, manejo de material y residuos, entre otros, el siguiente apartado del análisis se focaliza en las primeras 2 dada su mayor relevancia a nivel mundial.

a) El manejo de los recursos hídricos en la minería a gran escala

Dentro del manejo de recurso hídricos para la gran minería existen 2 temas de principal relevancia. El primero es el impacto que este tipo de operación puede tener en la calidad del agua y, en segundo lugar, los niveles de consumo de agua, dada la gran cantidad de este recurso natural utilizado en estas labores.

La minería pueda afectar la calidad del agua de varias maneras, ya sea a través de descarga de agua proveniente de la mina directamente al medio ambiente, filtraciones de ésta a napas subterráneas o superficiales, derrames químicos, entre otras alternativas. Es por esto, que a través de los estándares

IRMA, las mineras deben buscar minimizar los riesgos de contaminación y la contaminación a través de una serie de medidas preventivas, además de recolectar muestras de aguas que cumplan con las condiciones de calidad de aguas determinadas dentro de IRMA⁵, en el capítulo 4.2, sobre manejo del agua.

Dentro de este marco, si bien existen normativas a nivel de países andinos, siempre debe ser actualizado en base a las últimas tendencias dentro de la industria, tal como se indican en el documento en temas de recurso hídricos de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile publicado en 2018⁶, "*Al respecto, se puede seguir avanzando en la definición de la calidad objetivo de la norma de calidad de aguas, para lo cual se hacen necesario más y mejores datos cualitativos y cuantitativos de las distintas masas de agua del país*". Tal como se indica en este texto, la forma de mejorar e implementar nuevos estándares es a través del conocimiento de la situación actual, que es lo que impulsa IRMA.

La utilización de agua por parte de una operación o proyecto minero pueden generar un impacto importante en el ecosistema y en las comunidades locales. Si bien estos efectos son altamente localizados y dependientes de las condiciones climáticas y otros usos del agua en el sector, estos pueden afectar fuertemente áreas áridas con poco nivel de lluvia, provocando la escasez de este recurso.

A nivel de estándares, IRMA recomienda que una empresa responsable en el uso del agua debe utilizar estos recursos de manera eficiente, asegurándose que la extracción de agua mantenga los flujos en el caso de arroyos y otras aguas superficiales y minimizando la extracción en el caso de agua subterráneas. Así, también se impulsa a las empresas mineras a limpiar el agua para que pueda ser reutilizada, proporcionando un suministro de agua alternativa.

De esta manera, el lineamiento que debe ser propuesto por parte de los gobiernos debe apuntar a mayores tasas de reutilización con la tecnología disponible en la actualidad y apuntado a mejores prácticas operacionales más eficiente; y también impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías. Las tasas de recirculación/reutilización de agua en operaciones de cobre superan el 70% y pueden alcanzar niveles de hasta 95% en el caso de operaciones de SXEW. Alternativamente, también se puede favorecer el uso de nuevas fuentes de agua, tales como los son las plantas de desalinización que utilizan agua de mar. Sin embargo, se debe ser cuidadoso en este aspecto ya que, si bien se disminuye la utilización de agua continental, las plantas desalinizadoras en su gran mayoría funcionan en base a osmosis inversa, lo que implica un alto uso energético y que, de no utilizar fuentes energéticas renovables, podría tener un impacto a nivel de emisiones. Por último, a pesar de no existir una amplia literatura e investigación en el tema, los residuos y la gran cantidad de agua con alta concentración de sal devuelta al mar puede tener efectos negativos en el ecosistema marino, es por esto que se requiere mayor investigación y políticas asociadas a la regulación sobre esta fuente alternativa de agua, especialmente dado el gran aumento de uso de agua de mar en la minería de cobre.

A continuación, se explica en un nivel más detallado los avances en esta materia para Chile y Perú:

b) Manejo y uso del agua en la extracción de cobre en Chile y Perú

i) Los riesgos de las fuentes hídricas en Chile y el rol de la minería de cobre

Según el Water Resources Institute (WRI), Chile se encuentra entre los 30 países con mayor riesgo hídrico en el mundo al año 2025. A modo de referencia, en 2018 el 3,8% del consumo de agua del país se utilizó en actividades mineras. Sin embargo, en la Región de Antofagasta el consumo de agua en minería representa ~50% del consumo de agua total, convirtiéndose en el sector de mayor demanda en la región.

Las fuentes principales de agua para las operaciones mineras en Chile hace 2 décadas eran pozos adyacentes a las faenas, ríos y demás fuentes de agua dulce (equivalente al 95%) y un 5% restante correspondiente a contratos directos de las mineras con empresas suministradoras de agua, especialmente Aguas de Antofagasta (ADASA). Por otro lado, en los últimos reportes de Cochilco y reportes de

⁵ IRMA Standar June 2018.

⁶ Marco regulatorio en Chile y algunas experiencias internacionales en materia de descarga de residuos líquidos a distintos cuerpos receptores.

sustentabilidad de las propias mineras, se evidencia un cambio sustancial. El consumo de agua en 2019 aumentó hasta un total de 69,83 m³/s para la minería, en donde un 5,8% del total correspondió a consumo de agua de mar, mientras que el consumo de agua recirculada fue igual a 76,4%, desplazando en parte la cantidad de agua continental consumida, la cual disminuyó 3 puntos porcentuales respecto al 2018, hasta un 17,8% del total.

Al considerar las fuentes de abastecimiento del agua consumida en la minería del cobre, a partir del 2013 se observa una tendencia a la reducción del consumo de aguas superficiales, siendo en el 2019 un 16% menor que en el año 2018. Esta tendencia se debe a medidas de mejora continua en la gestión, monitoreo y manejo estratégico del agua, además de un mayor consumo de agua de mar, tanto de consumo directo como previamente desalinizada, reduciendo así el uso de agua fresca en el proceso operacional. Para el año 2030 se proyecta que un 49% del agua consumida no recirculada provenga de fuentes oceánicas.

El uso de desaladoras en el sector minero ha venido creciendo en la última década. Las plantas desalinizadoras han surgido como una alternativa ante la escasez hídrica a la que se ha visto expuesta Chile, y que se ha venido agudizando en los últimos años. Según el Ministerio de Obras Públicas, en 2020 operaban 23 plantas desaladoras en todo el país, con un aporte conjunto de 5.619 l/s, y cuyas aplicaciones corresponden tanto a la industria y minería (14), como a la potabilización del agua (9). En 2021, existen 15 proyectos de plantas desalinizadoras en diferentes etapas de desarrollo.

Ejemplos de inversiones en plantas desaladoras en el sector de cobre de Chile son los siguientes:

Minera Escondida obtiene la totalidad de sus necesidades hídricas a partir de agua desalinizada desde diciembre del 2019 con la puesta en marcha del proyecto Escondida Water Supply Extension (EWSE). Este objetivo requirió de una inversión total de US\$ 4 mil millones.

En el caso de Los Pelambres, la empresa planea extender la vida útil de la mina hasta 2050 mediante el uso de agua desalinizada y energía renovable. En el 2019, la empresa inició la construcción de una nueva planta desalinizadora con una capacidad de producción de 400 l/s, proyectados para abastecer la operación en tiempos de escasez hídrica. Su puesta en marcha se estima para fines del año 2021.

Durante el 2020, Codelco reactivó el proceso de licitación para la construcción de una planta desalinizadora para las divisiones Radomiro Tomic, Chuquicamata y Ministro Hales, previamente cancelado en el 2019, y cuya inversión estimada era equivalente a US\$ 1.000 millones.

En 2019, Minera Collahuasi presentó el proyecto "Desarrollo de Infraestructura y Mejoramiento de Capacidad Productiva de Collahuasi", dentro del cual se considera la instalación de una planta desaladora en el Terminal Marítimo de Collahuasi, y que abastecería la división con un caudal máximo de 525 l/s en el cuarto año del proyecto, duplicando este valor al finalizar el proyecto.

ii) Consideraciones en el caso de Perú

El caso de Perú es diferente al de Chile. De acuerdo con la Autoridad Nacional de Agua (ANA) del Perú, al año 2014 el país aún se encontraba dentro de los 20 países más ricos del mundo en cuanto a recursos hídricos. Sin embargo, la mayor intensidad hídrica se encuentra concentrada sobre los 3.000 msnm, en zonas cordilleranas y distribuido en más de un centenar de cuencas; mientras que el 70% de la población se encuentra asentada en la costa peruana, a la que solamente llega una fracción muy menor del agua producida en las alturas de los Andes.

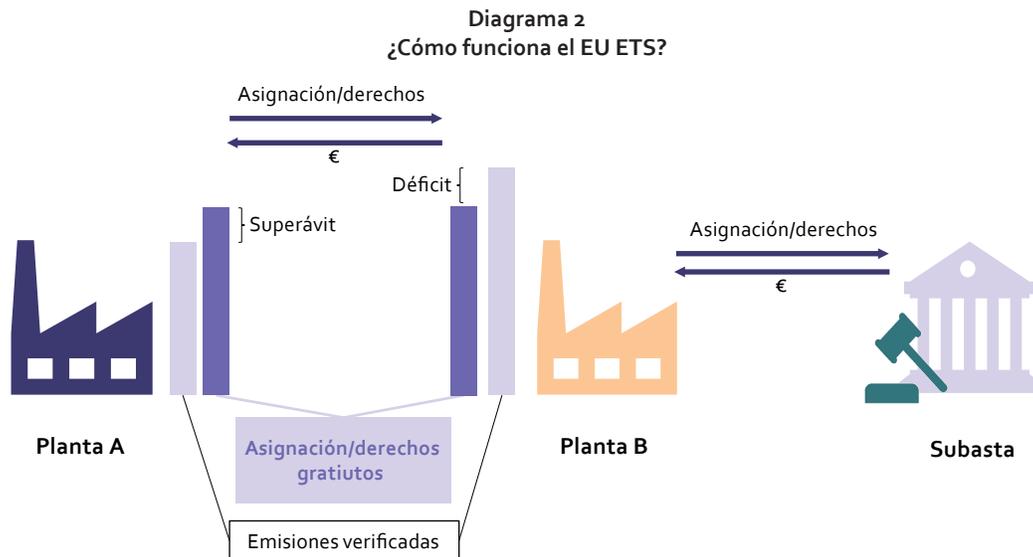
La industria minera peruana se encuentra concentrada mayoritariamente en zonas de alta densidad hídrica. La única faena minera que tiene capacidad instalada para extracción y uso de agua de mar en Perú es Cerro Lindo. De acuerdo con información publicada por la empresa, la planta se puso en marcha en el año 2016 con una capacidad de 36 l/s y significó una inversión de US\$ 120 millones. El 2% de dicha producción es potabilizada para posibles usos no industriales.

Si bien es posible que en el futuro se busque migrar hacia fuentes de agua más sustentables debido a presiones medioambientales y mayores exigencias por parte de las comunidades, por ahora solo se tiene visibilidad de un proyecto de desaladora asociada a minería en Perú. El proyecto Tía María considera la instalación de una planta desaladora de 0,23 m³/s.

c) Reducción de gases de efecto invernadero en la industria minera

La reducción de las emisiones es quizás el punto más relevante a nivel internacional en términos de responsabilidad ambiental dada su transversalidad a nivel industrial, donde las empresas mineras no quedan fuera, debido a la alta utilización energética para realizar la extracción de los recursos naturales. Bajo este escenario, gran parte de los gases de efecto invernadero (GEI) provienen de emisiones directas como resultado del uso de combustibles fósiles en la operación, transporte y/o generación de electricidad.

Bajo este apartado, los lineamientos y las políticas donde debiesen avanzar los países andinos corresponden a mercados de emisiones como lo es Emission Trading System (ETS) en Europa. Implementado en Europa en 2005, en la actualidad representa el mayor mercado de carbono, fijando un precio a las emisiones y transformándose en la piedra angular para la reducción de GEI provenientes de las distintas industrias que operan en la región, entre estas la industria minera.



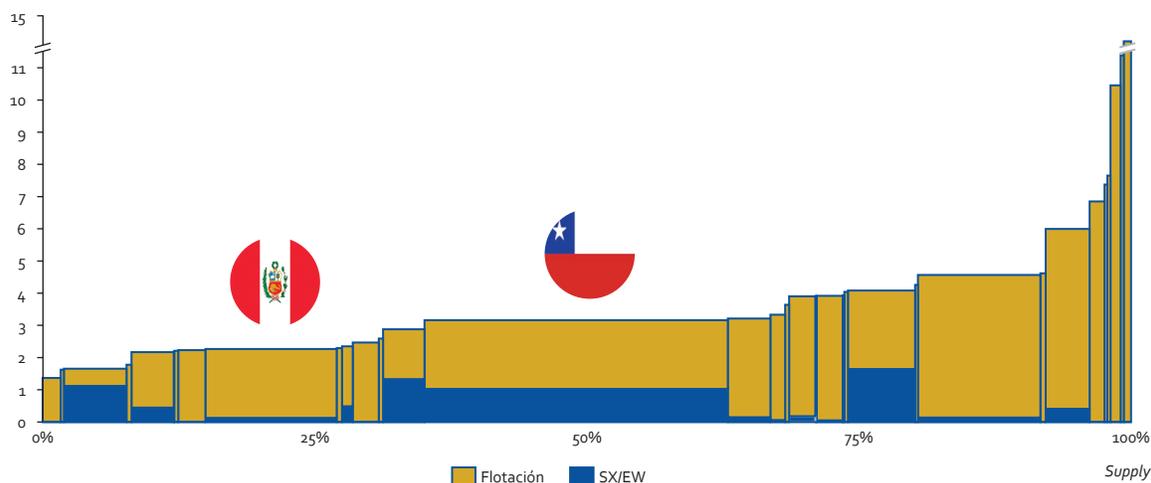
Fuente: Elaboración propia con base en EU ETS. (1) CO₂ equivalente (CO₂e) es un término para describir diferentes GEI en una unidad común para cualquier cantidad y tipo de GEI. Para cualquier cantidad y tipo de GEI, CO₂e significa la cantidad de CO₂ que tendría el impacto equivalente en el calentamiento global. Ejemplo: si se emite 1 kg de metano, esto se puede expresar como 25 kg de CO₂e.

La aplicación de normativas de este tipo es importante a la hora de impulsar una mayor reducción de emisiones. No obstante, también se debe tener en cuenta el impacto que esto podría tener sobre la competitividad de los países de la región. Esto ha sido uno de los principales cuestionamientos a la normativa europea, ya que, al generar un costo sobre las emisiones, la industria se vuelve menos competitiva comparado con otras regiones donde este tipo de iniciativas no son tan importantes y no están siendo aplicadas.

Como se puede observar en la figura anterior, Perú se ubica en lugar 9 en la curva de emisiones, mientras que Chile ocupa el lugar número 15. La principal diferencia entre estos países es la gran fuente de recursos hídricos para la generación de energía que se encuentra disponible en Perú.

Gráfico 44
Emisiones de carbón en la industria del cobre

Cobre: intensidad de emisiones 2020 – Alcance 1 & 2
CO₂e t/t de cobre refinado por país



Fuente: Elaboración propia.

Si bien en la región no existen normativas relacionadas a la reducción de gases de efecto invernadero a través de fijación de precio por tonelada emitida, de igual forma, la industria ha avanzado en disminuir sus emisiones de manera voluntaria y en búsqueda de mejorar en aspectos de responsabilidad ambiental. A continuación, se presenta los avances sobre esta materia en Chile y Perú.

d) El vuelco hacia las energías renovables de las mineras en Chile y Perú

El uso de cobre puede plantear algunas preocupaciones a largo plazo, dependiendo de las oportunidades de sustitución que aún no se comprenden completamente. En general, reemplazar los combustibles fósiles con energía renovable ofrece una clara oportunidad para reducir la contaminación ambiental de la generación de electricidad.

i) Las energías renovables en la minería de cobre en Chile

En su calidad de industria más importante del país, la minería es uno de los principales consumidores de energía en Chile. Según la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco), el sector minero es el responsable directo de 1/3 del consumo eléctrico del país, cifra que en general se ha mantenido estable en los últimos 20 años. Chile tiene la radiación solar más alta del mundo; vientos para desarrollar energía eólica; capacidad para desarrollar biogás y recursos geotérmicos, y es evidente como el país en general y el sector minero cada vez más está haciendo un esfuerzo por volcarse hacia el uso de estas tecnologías limpias en sus operaciones.

Hace 15 años, todos los contratos de suministro de las faenas mineras en Chile provenían de plantas a base de combustibles fósiles. Este fenómeno ha venido cambiando en los últimos años. En 2020, según Cochilco, el porcentaje de uso de energías renovables respecto de la demanda total de electricidad de la minería del cobre era de ~10%, principalmente de fuentes solares y eólicas. Sin embargo, las proyecciones apuntan a que llegará a 49% en 2023.

Cuadro 15
Potencial de uso de energías renovables respecto de la demanda total de electricidad de la minería de cobre en Chile, 2019-2023

	2019	2020	2021	2022	2023
TWh provenientes de energías renovables	0,8	2,48	8,73	12,03	13,13
TWh Consumo esperado de energía eléctrica	22,3	23,6	24,1	25,3	26,7
Porcentaje del consumo eléctrico esperado	3,6%	10,5%	36,2%	47,5%	49,2%

Fuente: Cochilco.

Algunos ejemplos del cambio hacia las energías renovables en el sector minero chileno son los siguientes:

El mecanismo más usado para incorporar las energías renovables en el proceso minero son los contratos de suministro a largo plazo (PPA por sus siglas en inglés). Ejemplos de esto son el caso de Collahuasi, que en junio de 2019 firmó un contrato de largo plazo con Enel, para suministrar 1 TWh anuales que comenzará a regir a partir de abril de 2020. Así mismo, las operaciones de Antofagasta Minerals han venido aumentando sus inversiones en fuentes limpias, siendo Zaldívar y Antucoya las más representativas, pues ambas han asegurado contratos de suministro para 2022-23 y ser así 100% operadas por fuentes renovables, con el objetivo de reducir sus emisiones en 300 mil toneladas hacia finales de 2022. Otras mineras, como Quebrada Blanca de Teck, firmó en febrero de 2020 un PPA por 20 años para asegurar que su operación funcione con más del 50% de fuentes renovables. Así mismo, BHP firmó contratos de largo plazo para sus minas Escondida y Spence que entrarán a regir en 2021 y que buscan suministrar el 100% de energía requerida a partir de fuentes renovables.

Otra forma de incorporar las energías limpias es mediante un proyecto de energías renovables no convencionales (ERNC) desarrollado por la propia minera para su abastecimiento. Por ejemplo, Los Pelambres en 2018 se operaba más del 50% a partir de fuentes renovables derivado de las plantas solares Javiera y Conejo Solar y del Parque eólico El Arrayán. Otros ejemplos son las inversiones en plantas solares propias de Codelco en su mina Gabriela Mistral y en Centinela de AMSA, con el objetivo de reducir las emisiones en sus procesos.

ii) Las energías renovables en la minería de cobre en Perú

El consumo anual de energía del Perú se ha duplicado en los últimos 15 años, mientras que en el sector minero la tendencia se ha triplicado en el mismo período, pasando de 5.737 GWh a 16.090 GWh entre 2005 y 2018. Este aumento se debe principalmente al ingreso de importantes proyectos de gran minería como Las Bambas, Antapaccay y Constanza, así como el aumento de producción de Cerro Verde, entre otros. De este modo, cabe destacar que el sector minero es el consumidor más grande de electricidad en el Perú, representando casi el 40% de la electricidad en el país.

En términos de importancia a nivel país y a lo largo de todas las industrias, las ERNC representaron un 7,2% de la generación del país. La energía eólica se destaca como la fuente con mayor crecimiento en los últimos años. La matriz energética de Perú es predominantemente hídrica (57%), lo que la hace por un lado relativamente limpia en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, pero vulnerable ante cambios en el clima, como por ejemplo épocas de sequía (fenómeno del niño). Es por esto, que Perú ha venido diversificando e incorporando fuentes alternativas a su matriz de generación a través de subastas de suministro de largo plazo. Recientemente, el mayor impulso ha estado enfocado en promover las energías eólica y solar, pasando de 0% a ~5% entre 2014 y 2019. Esto ha estado determinado en gran parte por la disminución en los precios de la energía generada a partir de estas 2 fuentes.

Las empresas de la gran minería en Perú se abastecen principalmente de energía hidroeléctrica y de combustibles fósiles. Es por esto, que el país ha adelantado esfuerzos para incorporar a los grandes consumidores en el camino de la adopción de energía renovable en sus instalaciones. Las mineras de oro han avanzado más en este camino, el ejemplo más reciente encontrado para este reporte fue el acuerdo alcanzado entre Southern Peaks Mining y Statkraft Perú, las cuales firmaron un contrato de suministro de energía 100% proveniente de fuentes renovables, con una potencia de 18 MW, hasta el 2033.

2. Impacto socioeconómico

a) Análisis comparativo del aporte de la industria minera a la economía local en términos de empleo

El bienestar económico y social proveniente de la industria minera puede ser abordado desde distintas perspectivas, ya sea considerando el aporte por *royalties*/regalías (o a través del impuesto específico a la minería en Chile), la generación de empleo directo, el apoyo al desarrollo regional, entre

otros. Respecto a los *royalties*/regalías, el análisis es más complejo y varía de país en país debido a las distintas legislaciones locales. No obstante, en el caso del empleo, este puede ser analizado desde la misma perspectiva a nivel de países andinos, tal como se presenta a continuación.

La minería ha sido un área con amplia generación de empleo en las últimas décadas. Sin embargo, en el mediano y largo plazo existen factores que se contraponen y que pueden afectar el empleo de manera positiva y negativa.



Efecto positivo

En general, los índices de productividad laboral se miden en hora-trabajador/tonelada de mineral procesado. Si bien la venta de minerales como cobre o litio se miden en toneladas de cobre contenido o bien de carbonato de litio equivalente, la cantidad de mineral procesado para producir una tonelada de estos commodities depende de la ley de estos minerales. Esto a su vez implica que, a menor ley, se requiere procesar mayor cantidad de mineral y por ende, mayor utilización de horas-trabajador.

Con base en lo anterior y en conjunto con el envejecimiento y agotamiento de los yacimientos, lo que implica menores leyes de mineral, se espera una mayor demanda de horas-trabajador por tonelada de mineral procesado, generando una mayor creación de empleo desde esta perspectiva.



Efecto negativo

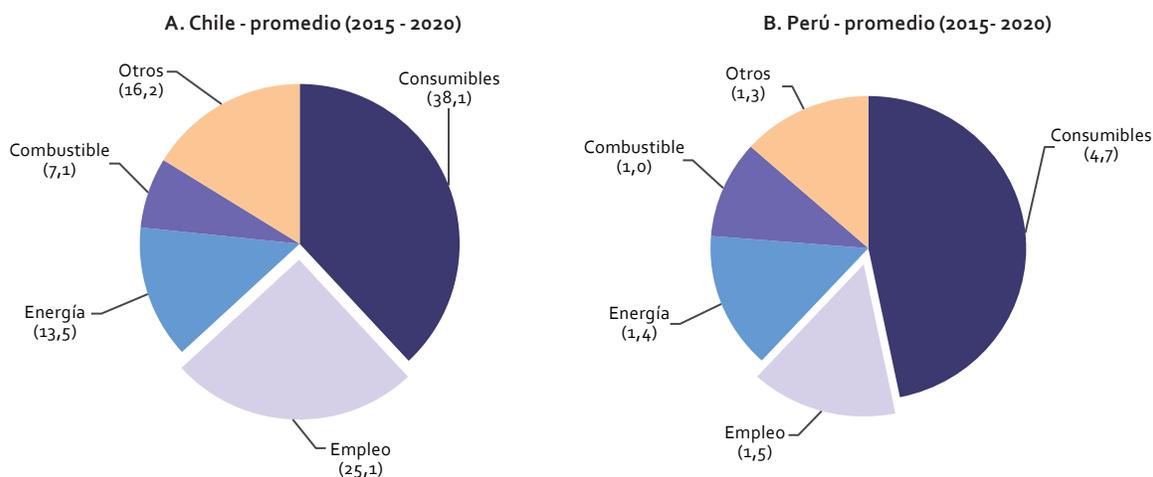
Por otro lado, la industria minera ha avanzado fuertemente en el área de automatización. Camiones autónomos controlados remotamente, entre otras tecnologías autónomas, son parte de los nuevos procesos productivos y estándares mineros. Como consecuencia de estas nuevas tecnologías, se espera tengan un impacto negativo en la cantidad de trabajadores, reduciendo su número en el futuro.

Además, el efecto del COVID-19 ha acelerado la búsqueda de tecnologías que permitan minimizar la cantidad de empleados en las faenas mineras, lo que, si bien no se ha traducido en la reducción significativa de empleos, sí puede adelantar el impacto en esta materia.

i) Industria del cobre en Chile y Perú

En términos numéricos y basados en la definición de CRU Site Cost[®], el empleo representa un porcentaje importante de los costos operacionales de las faenas mineras. Esto se traduce en beneficio directo a la economía nacional, ya que a diferencia de otros componentes dentro de los costos operacionales —los cuales dependen de importaciones—, este es un ingreso directo a los trabajadores y por ende, a la economía nacional.

Gráfico 45
Porcentaje de costos de empleo sobre CRU Site Cost[®] en la minería del cobre

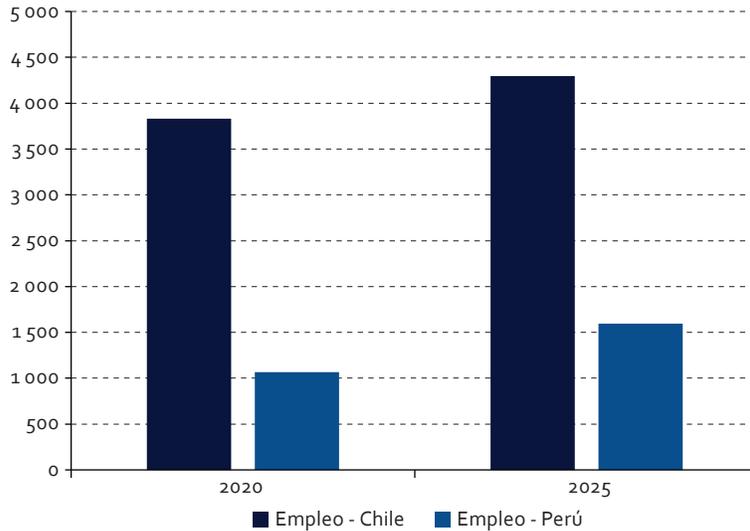


Fuente: CRU – mediana y gran minería.

Como se puede ver en la figura anterior, el porcentaje de desembolso en salarios de los últimos 5 años ha representado un 25% de los principales costos operacionales para la industria cuprífera en el caso chileno, y un 15% en el caso peruano. En términos monetarios, el desembolso en empleo alcanzó más 3.500 millones de dólares para Chile, y más de 3.000 millones para Perú durante 2020.

En los siguientes años, se espera que este concepto siga aumentando, aunque este vendrá dado principalmente por efecto de un mayor costo por hora-trabajador.

Gráfico 46
Aporte al empleo de la industria del cobre
(En millones de dólares)



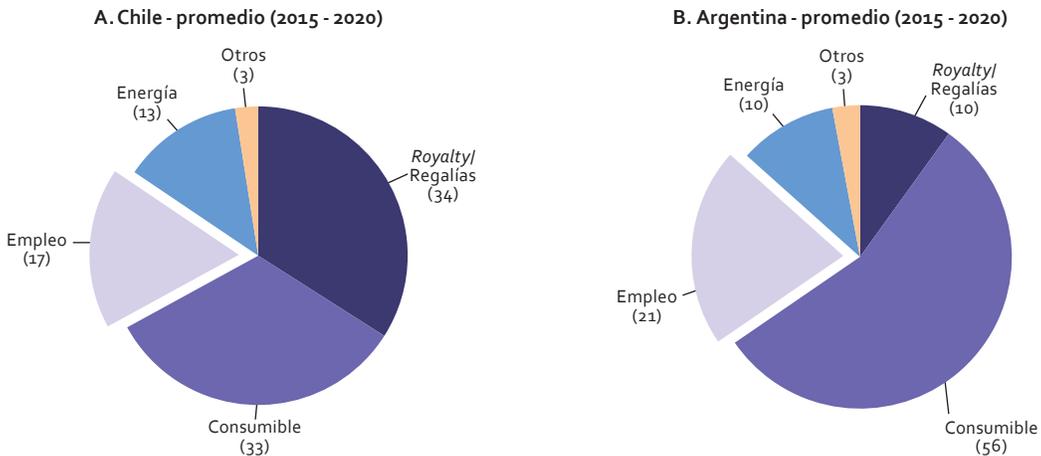
Fuente: CRU – mediana y gran minería.

Nota: en estas proyecciones se supone que todos los proyectos entraran en producción en las fechas esperadas, sin considerar una ponderación por su grado de certeza.

ii) Industria del litio en Chile y Argentina

En el caso de la industria del litio —a pesar de ser un mercado de menor tamaño con respecto al de cobre y por ende, de menor valor económico— el porcentaje de empleo sobre el CRU Site Cost®, representó en promedio un 17% en el caso de Chile y alcanzó un 21% en el caso de Argentina entre 2015 y 2020.

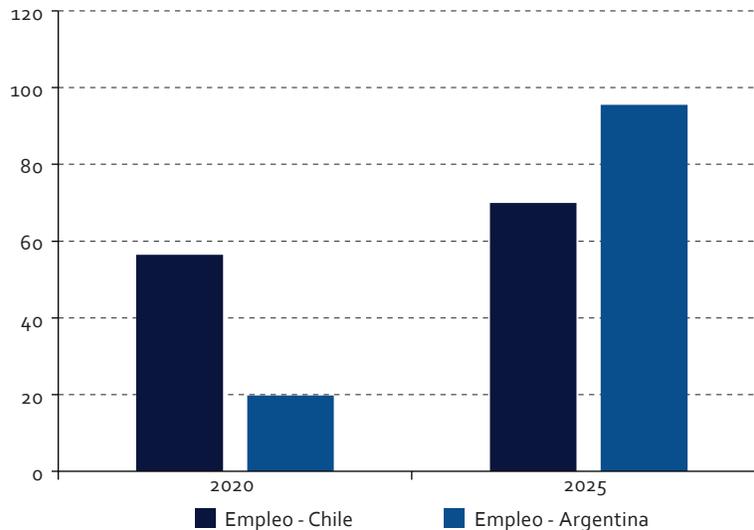
Gráfico 47
Porcentaje de costos de empleo sobre CRU Site Cost® en la minería del litio



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al aporte monetario proveniente de la industria del litio en términos de empleo, los montos alcanzaron cifras cercanas a los 70 millones de dólares en Chile y 20 millones en el caso de Argentina. En el mediano plazo, se espera que estas cifras sigan incrementándose, especialmente en el caso argentino con la entrada de dos nuevos proyectos de litio y el aumento en la producción de las operaciones actuales.

Gráfico 48
Aporte al empleo de la industria del litio
(En millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia.

Nota: en estas proyecciones se supone que todos los proyectos entraran en producción en las fechas esperadas, sin considerar una ponderación por su grado de certeza.

iii) Brechas en equidad de género y su impacto en el desarrollo de la industria minera

La igualdad de género es un derecho fundamental y necesario para un mundo pacífico, próspero y sostenible, tal como lo indica la Organización de las Naciones Unidas a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en la agenda 2030. Claramente, esto no deja exenta a la industria minera, donde gran parte de los colaboradores son hombres. Se estima que, en la actualidad, menos del 20% de los colaboradores de la industria corresponde al género femenino y este número se reduce aún más cuando se refiere a posiciones de liderazgo.

Es claro que la incorporación de las mujeres a la industria entrega innumerables beneficios, donde “no solo aportaría a las empresas mayor riqueza en términos de diversidad, equidad, y sostenibilidad, sino que tendría un importante impacto social al extender los beneficios socioeconómicos de la industria a un segmento que mayoritariamente no ha sido incorporado.” Tal como se indica en el informe de Mujer y Minería: Evolución en la última década y desafíos futuros publicado en colaboración entre el Consejo Minero de Chile y la Fundación Chile.

Si bien es necesario reconocer avances en esta materia, estos provienen de un grupo más específico de empresas, las cuales están promoviendo políticas de inclusión femenina en la que se tiene como objetivo lograr una participación femenina del 50%. No obstante, lo anterior no es la norma dentro de la industria y está muy lejos de serlo, lo que demuestra que existe una oportunidad de mejora importante en términos de inclusión femenina. Con base en lo anterior, se han desarrollado un sinnúmero de iniciativas a través de distintas instituciones y gobiernos que han impulsado el desarrollo de esta industria, entre estas, se pueden mencionar algunas propuestas por el *Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development*:

- Normas que eliminen toda forma de discriminación contra la mujer y sean de carácter inclusivo, generando igualdad de género.
- Elaboración de planes de acción abarcando de manera educativa la igualdad de género en el sector minero, con el fin de erradicar preceptos discriminatorios que puedan afectar o impedir la participación igualitaria del género femenino en el sector minero.
- Entrega de incentivos fiscales a empresas que estén dispuestas a participar en programas de igualdad de género.
- Empleo de mayor número de mujeres en ministerio de minería u organizaciones asociadas a la industria.

Estas son solo algunas de las múltiples medidas que pueden ser tomadas por los gobiernos de la región con el fin de impulsar y cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

iv) Aspectos sociales relevantes en la industria extractiva de cobre y litio

La responsabilidad social abarca una serie de variables que son importantes para los trabajadores y las comunidades. Entre estas, se pueden mencionar un trabajo justo que impulse la mejora en el bienestar social y económico de los trabajadores, donde se respeten los derechos de los trabajadores reconocidos internacionalmente. Además, la protección y el respeto por el patrimonio cultural de las comunidades y pueblos indígenas juega un rol fundamental en cualquier operación o proyecto minero.

Con respecto a los temas de carácter social asociados a la extracción minera de litio y cobre, el relacionamiento con las comunidades se ha convertido en una prioridad en la agenda de las empresas mineras. Históricamente, los conflictos asociados a las comunidades y las operaciones se han enfocado en demandas de corte ambiental y de compromisos entre empresas privadas, los habitantes de la región y, en algunos casos, demandas al gobierno. Esto ha ocasionado frenos en la producción y retrasos en los procesos, así como la demora en la cartera de proyectos en el corto y mediano plazo.

En el caso de Perú, el mayor número de conflictos sociales relacionados con la minería se concentran en la zona sur del país, que es donde hay mayor participación en la producción minera. El principal factor de conflicto por el cual alegan las comunidades es la falta de cumplimiento de compromisos en aspectos ambientales por parte de las empresas. Como resultado de estos conflictos sociales, varios proyectos mineros se han visto retrasados o frenados, generando un impacto en las inversiones en dicho país.

Uno de los casos más sonados en materia de comunidades en la industria del cobre han sido las constantes huelgas a las que se ha visto expuesta Las Bambas en Perú desde que la mina empezó a operar en 2016. Desde entonces, periódicamente ocurren protestas con bloqueos a las vías de comunicación de la zona. Recientemente, en diciembre de 2020, la Federación de Agricultores y otras organizaciones comunitarias lideraron unas protestas que ocasionaron el bloqueo de carreteras para presionar por el desarrollo económico y social del distrito y el pago de un impuesto minero a partir del próximo año.

En el caso del litio en Chile, recientemente se han intensificado las disputas entre las comunidades ubicadas cerca al Salar de Atacama y las empresas mineras que operan en la zona. La más reciente disputa tiene a la comunidad indígena likanantaí enfrentada con las 2 empresas que operan en el Salar: SQM y Albermarle. Las comunidades alegan que la explotación de litio pone en amenaza el ecosistema de la zona, incluyendo sus actividades agrícolas, y fundamentan sus críticas en un posible impacto a la flora y fauna de Atacama. Existe una disputa legal vigente que lleva 4 años, por lo que es evidente la necesidad de una solución tripartita entre el gobierno, las empresas privadas y las comunidades.

v) Buenas prácticas sostenibles en la industria del litio en Chile y Argentina

El alto consumo de agua en las regiones desérticas es un eslabón débil en la producción de salmuera de litio (es decir, en el Salar de Atacama en Chile, una de las regiones más secas del mundo). Este consumo no viene dado por la necesidad de utilizar agua en el proceso, sino que la recuperación del litio, al estar

disuelto en salmueras, requiere la evaporación del agua para poder concentrar las sales. Este proceso es de bajo costo y es el único proceso utilizado actualmente a escala industrial en operaciones de extracción de litio de salmueras; sin embargo, tiene menor consumo energético que en el caso del litio en roca y por ende, menos fuentes de generación de emisiones.

A continuación, se listan algunos ejemplos de iniciativas en la región de productores de litio para ser más sostenibles:

- SQM anunció en octubre de 2020 que reducirá el uso de salmuera en un 50% para 2030 y el uso de agua en un 65% para 2040, y tiene como objetivo convertirse en carbono neutral para 2040.
- Otro ejemplo reciente es el de la minera australiana Millennial Lithium, la cual anunció a finales del 2020 que su proyecto Pastos Grandes en la provincia de Salta utilizará el 35% de la energía solar y el 65% del gas natural.
- Así mismo, la empresa junior australiana Lake Resources planea avanzar en su proyecto Kachi en Argentina utilizando una tecnología de extracción directa de litio, en asociación con el proveedor de tecnología Lilac Solutions. Esta tecnología tiene el potencial de reducir el impacto ambiental de la producción de litio a base de salmuera, al mismo tiempo que aumenta la recuperación de litio.
- Como en el caso de otros minerales, la trazabilidad juega un papel muy importante en la sostenibilidad de la minería del litio. Considerado las tendencias de los mercados, se considera probable que las industrias de baterías otorguen en el futuro una prima por el uso de recursos mineros que han sido explotados de una manera más sostenible, ya que los consumidores finales exigirán que su producto se asocie con buenas prácticas de sostenibilidad, especialmente en el sector de vehículos eléctricos donde es evidente que este principio es un factor clave a la hora de cambiarse desde vehículos de combustión interna a vehículos de nueva energía.

Bibliografía

- Banco Mundial (2020), "Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition".
- Fundación Chile & Consejo Minero de Chile (2020), "Mujer y Minería: Evolución en la última década y desafíos futuros".
- EU Emissions Trading System (EU ETS).
- IRMA (2018), "Initiative for Responsible Mining Assurance".

Anexos

Anexo 1

Listado operaciones y proyectos de cobre en Chile y Perú

Nombre de la mina	Operador	País	Producto	Status	Producción 2020 (en millones de toneladas)	Año de inicio	Capacidad de producción (en millones de toneladas)
Escondida	Minera Escondida	Chile	Cu Concentrates	Operating	957	-	-
Collahuasi	Collahuasi	Chile	Cu Concentrates	Operating	643	-	-
El Teniente	Codelco	Chile	Cu Concentrates	Operating	416	-	-
Chuquicamata	Codelco	Chile	Cu Concentrates	Operating	390	-	-
Los Pelambres	Minera Los Pelambres	Chile	Cu Concentrates	Operating	372	-	-
Los Bronces	Min. Sur Andes	Chile	Cu Concentrates	Operating	275	-	-
Escondida	Minera Escondida	Chile	EW Cathodes	Operating	234	-	-
Radomiro Tomic	Codelco	Chile	EW Cathodes	Operating	198	-	-
Andina	Codelco	Chile	Cu Concentrates	Operating	184	-	-
Mina Ministro Hales	Codelco	Chile	Cu Concentrates	Operating	152	-	-
Esperanza	Minera Centinela	Chile	Cu Concentrates	Operating	152	-	-
Sierra Gorda	KGHM	Chile	Cu Concentrates	Operating	151	-	-
Spence	BHP Billiton	Chile	EW Cathodes	Operating	145	-	-
Candelaria	Candelaria	Chile	Cu Concentrates	Operating	123	-	-
Caserones	Lumina Copper	Chile	Cu Concentrates	Operating	111	-	-
Gaby	Codelco	Chile	EW Cathodes	Operating	103	-	-
Zaldivar	Zaldivar	Chile	EW Cathodes	Operating	101	-	-
El Tesoro	Minera Centinela	Chile	EW Cathodes	Operating	92	-	-
Antucoya	Minera Antucoya	Chile	EW Cathodes	Operating	76	-	-
Lomas Bayas	Min Lomas Bayas	Chile	EW Cathodes	Operating	75	-	-
El Abra	Minera El Abra	Chile	EW Cathodes	Operating	72	-	-
Cerro Colorado	Cerro Colorado	Chile	EW Cathodes	Operating	68	-	-
Carmen de Andacollo	Andacollo	Chile	Cu Concentrates	Operating	56	-	-
Radomiro Tomic	Codelco	Chile	Cu Concentrates	Operating	56	-	-
El Soldado	Min. Sur Andes	Chile	Cu Concentrates	Operating	46	-	-
Punta del Cobre	Punta del Cobre	Chile	Cu Concentrates	Operating	45	-	-
Chuquicamata	Codelco	Chile	EW Cathodes	Operating	41	-	-
Los Bronces	Min. Sur Andes	Chile	EW Cathodes	Operating	39	-	-
Mantoverde	Mantos Copper	Chile	EW Cathodes	Operating	37	-	-
Salvador	Codelco	Chile	Cu Concentrates	Operating	33	-	-
Valle Central	Amerigo Resources	Chile	Cu Concentrates	Operating	27	-	-
Mantos Blancos	Mantos Copper	Chile	Cu Concentrates	Operating	23	-	-
Salvador	Codelco	Chile	EW Cathodes	Operating	22	-	-
Caserones	Lumina Copper	Chile	EW Cathodes	Operating	22	-	-
Michilla SXEW	Michilla	Chile	EW Cathodes	Operating	18	-	-
Mantos Blancos	Mantos Copper	Chile	EW Cathodes	Operating	18	-	-
Mantos de Luna	Min Mantos de Luna	Chile	EW Cathodes	Operating	15	-	-
Amalia	Explot. Minas	Chile	EW Cathodes	Operating	15	-	-
Las Luces	Las Cenizas	Chile	Cu Concentrates	Operating	15	-	-
Franke	KGHM	Chile	EW Cathodes	Operating	14	-	-
Quebrada Blanca	Quebrada Blanca	Chile	EW Cathodes	Operating	13	-	-
El Bronce de Atacama	Atacama Kozan	Chile	Cu Concentrates	Operating	13	-	-
Salamanqueja	Pampa Camarones	Chile	EW Cathodes	Operating	8	-	-
Cabildo	Las Cenizas	Chile	Cu Concentrates	Operating	8	-	-
Altamira	Las Cenizas	Chile	EW Cathodes	Operating	7	-	-
Cerro Negro	Cerro Negro	Chile	Cu Concentrates	Operating	5	-	-
Punta del Cobre	Punta del Cobre	Chile	EW Cathodes	Operating	5	-	-

Nombre de la mina	Operador	País	Producto	Status	Producción 2020 (en millones de toneladas)	Año de inicio	Capacidad de producción (en millones de toneladas)
Mina Ministro Hales	Codelco	Chile	EW Cathodes	Operating	5	-	-
Tres Valles	Minera Tres Valles	Chile	EW Cathodes	Operating	4	-	-
Dos Amigos	Explot. Minas	Chile	EW Cathodes	Operating	4	-	-
Delta	Enami	Chile	EW Cathodes	Operating	3	-	-
Carmen de Andacollo	Andacollo	Chile	EW Cathodes	Operating	2	-	-
Punitaqui	Minerales Del Sur SA	Chile	Cu Concentrates	Operating	2	-	-
Antamina	Minera Antamina	Peru	Cu Concentrates	Operating	369	-	-
Cerro Verde	Cerro Verde	Peru	Cu Concentrates	Operating	357	-	-
Las Bambas	MMG	Peru	Cu Concentrates	Operating	310	-	-
Toquepala	SCC	Peru	Cu Concentrates	Operating	235	-	-
Toromocho	Minera Chinalco Peru	Peru	Cu Concentrates	Operating	196	-	-
Antapaccay	Glencore	Peru	Cu Concentrates	Operating	188	-	-
Cuajone	SCC	Peru	Cu Concentrates	Operating	167	-	-
Constancia	Hudbay Minerals	Peru	Cu Concentrates	Operating	73	-	-
MarcaPunta	El Brocal	Peru	Cu Concentrates	Operating	32	-	-
Cerro Verde	Cerro Verde	Peru	EW Cathodes	Operating	31	-	-
Cerro Lindo	Nexa Resources	Peru	Cu Concentrates	Operating	28	-	-
Cerro Corona	Gold Fields	Peru	Cu Concentrates	Operating	25	-	-
Antamina	Minera Antamina	Peru	Other Cu	Operating	23	-	-
Condestable/Raul	Minera Condestable	Peru	Cu Concentrates	Operating	20	-	-
Toquepala	SCC	Peru	EW Cathodes	Operating	19	-	-
Marcona tailings	Shouxin Peru	Peru	Cu Concentrates	Operating	19	-	-
Iscaycruz	Iscaycruz	Peru	Cu Concentrates	Operating	2	-	-
Raura	Minera Raura	Peru	Other Cu	Operating	2	-	-
Raura	Minera Raura	Peru	Cu Concentrates	Operating	1	-	-
El Porvenir	Nexa Resources	Peru	Cu Concentrates	Operating	0	-	-
Spence - Sulphides	BHP	Chile	Cu Concentrates	Committed	-	2021	185
Mantos Blancos expansion	Mantos Copper	Chile	Cu Concentrates	Committed	-	2021	25
Los Pelambres Expansion	Minera Los Pelambres	Chile	Cu Concentrates	Committed	-	2022	60
Quebrada Blanca Sulphides	Teck	Chile	Cu Concentrates	Committed	-	2022	247
Salvador Extension	Codelco	Chile	Cu Concentrates	Committed	-	2023	65
Mantoverde SXEW extention	Mantos Copper	Chile	EW Cathodes	Committed	-	2023	32
Salvador Extension SXEW	Codelco	Chile	EW Cathodes	Committed	-	2023	25
El Teniente - New Mining Level	Codelco	Chile	Cu Concentrates	Committed	-	2023	410
Radomiro Tomic SBL	Codelco	Chile	EW Cathodes	Possible	-	2022	30
Collahuasi 210 ktpd	Compania MDI de Collahuasi	Chile	Cu Concentrates	Possible	-	2025	70
Collahuasi 170 ktpd	Compania MDI de Collahuasi	Chile	Cu Concentrates	Probable	-	2022	40
Mantoverde Sulphide	Audley Capital	Chile	Cu Concentrates	Probable	-	2023	63
Mantos de la Luna Extension	Compania Minera de Tocopilla	Chile	EW Cathodes	Probable	-	2023	28
Sierra Gorda SXEW	KGHM International	Chile	EW Cathodes	Probable	-	2024	45
Sierra Gorda Optimization	KGHM International	Chile	Cu Concentrates	Probable	-	2024	45
Santo Domingo	Capstone Mining	Chile	Cu Concentrates	Probable	-	2024	60

Nombre de la mina	Operador	País	Producto	Status	Producción 2020 (en millones de toneladas)	Año de inicio	Capacidad de producción (en millones de toneladas)
Los Pelambres Expansion II	Minera Los Pelambres	Chile	Cu Concentrates	Probable	-	2025	35
Diego de Almagro	Sierra Norte	Chile	EW Cathodes	Probable	-	2025	10
El Espino	Punta del cobre	Chile	Cu Concentrates	Probable	-	2025	40
Diego de Almagro	Sierra Norte	Chile	Cu Concentrates	Probable	-	2025	35
Mina Justa-Marcona	Marcobre	Peru	Cu Concentrates	Committed	-	2021	56
Toromocho Expansion	Minera Chinalco Peru	Peru	Cu Concentrates	Committed	-	2021	80
Mina Justa-Marcona	Marcobre	Peru	EW Cathodes	Committed	-	2021	54
Ariana	Southern Peak Mining	Peru	Cu Concentrates	Committed	-	2021	16
Quellaveco	Minera Quellaveco	Peru	Cu Concentrates	Committed	-	2022	233
MarcaPunta Expansion	El Brocal	Peru	Cu Concentrates	Possible	-	2022	25
Yanacocha Sulphides	Newmont Mining	Peru	Cu Concentrates	Probable	-	2024	40
Coroccohuayco	Glencore	Peru	Cu Concentrates	Probable	-	2024	50

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2

Metodología de costos del carbonato de litio

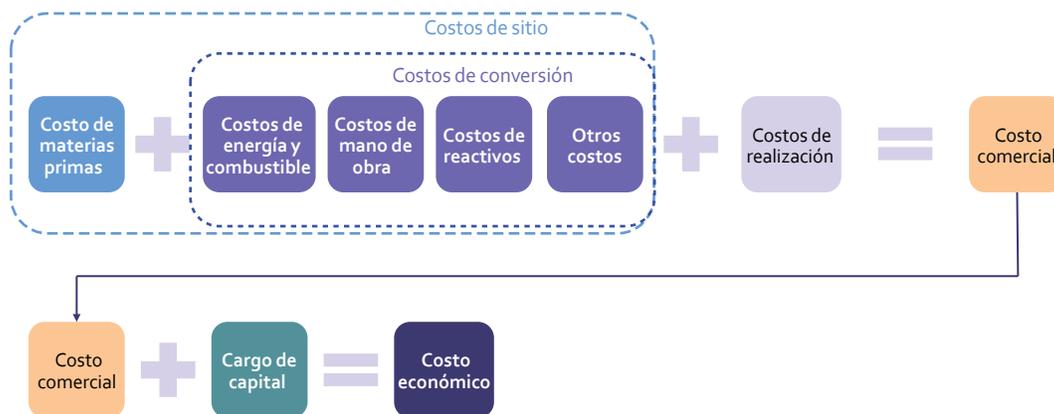
Basados en el entendimiento de CRU para los procesos y operaciones mineras, se ha modelado el costo de varias plantas de hidróxido y carbonato de litio alrededor del mundo, al igual que conversores de carbonato a hidróxido de litio. Si bien no se calcula dentro del Modelo de Costos de Litio, se han incorporado las estimaciones separadas de los costos de carbonato de litio desde salmuera dentro del modelo de costos, de forma que la curva de costos de carbonato contiene a todos los productores globales.

CRU utiliza las siguientes definiciones de costos claves en el modelo y en este reporte:

- **Costo de materias primas:** el costo ya sea de compra o producción de materias primas (concentrado de espodumeno o carbonato de litio de grado industrial), incluyendo el costo de envío desde el punto de precio hasta la planta. El modelo provee la opción de modelar los costos de operadores integrados usando un precio de transferencia de espodumeno equivalente al costo de producción o al precio de mercado. Es importante mencionar que la opción de modelación “al costo” incluye el costo de royalties. Este es un costo expresado por tonelada de producto químico, por lo que representa el número de toneladas de materia prima requerida para producir una tonelada de producto.
- **Costo de reactivos:** el costo de reactivos claves —siendo los más importantes el ácido sulfúrico para todos los procesos basados en minerales, carbonato de sodio (para la producción de carbonato a partir de minerales), soda cáustica (para la producción de hidróxido a partir de minerales), e hidróxido de calcio (para la producción de hidróxido a partir de carbonato).
- **Costos de mano de obra:** el costo total de mano de obra, incluyendo personales, de gestión, administrativos, y contratistas.
- **Costos de combustibles y energía:** el costo de la energía eléctrica, el gas natural y el carbón, incluyendo el consumido para la generación de vapor para su uso en el proceso.
- **Otros costos:** esta categoría incorpora el costo de mantenimiento, así como los costos de capital de trabajo y capital de sustento.
- **Costos de conversión:** un subtotal: la suma de los costos de reactivos, mano de obra, energía y combustibles y otros costos.
- **Costos de sitio:** la suma de los costos de materias primas y de conversión. Tiene como propósito capturar el costo incurrido dentro del sitio de operación.
- **Costos de realización:** costos incurridos fuera del sitio de operación que aún impactan en los márgenes de efectivo, es decir, marketing, financiación, y costos de envío hasta el punto de valuación (predominantemente costos de envío marítimo en el mercado de litio).
- **Costo comercial:** la suma de los costos de sitio y de realización. Tiene como propósito ser directamente comparable contra el precio de referencia del producto, y es la principal métrica usada para evaluar la competitividad dentro del modelo y este reporte. Sin embargo, es importante reconocer que la estimación de los costos comerciales *no refleja un reembolso del capital de inversores*. Para operaciones de alto costo capital, la adición de los costos de capital de inversores puede ser substancial.
- **Cargo de capital:** un costo que es calculado para reflejar el valor de mercado del activo, amortizado sobre su vida de producción restante al costo promedio ponderado de capital, por tonelada de producción.
- **Costos económicos:** la suma del costo comercial y el cargo de capital. El concepto de este costo es usado para determinar el precio potencial a largo plazo de un commodity, el cual bajo condiciones competitivas debería tender a los costos marginales de largo plazo en la

industria. Si la demanda se expande, nuevas instalaciones o expansiones serán usualmente requeridas, y cuyo costo aún no ha sido comprometido. Para estos commodities, el costo capital de estas nuevas instalaciones formará parte de los costos marginales. En el caso de la industria del litio, la oferta y la demanda se expanden a una tasa lo suficientemente rápida, de forma que una larga proporción (comparado a la mayoría de otros productos químicos, metálicos o minados) de la curva de costos futuros consiste en proyectos *greenfield* o *brownfield*, y como tal los costos marginales en el mediano plazo (es decir, en un horizonte menor a 5 años) pueden ser mejor medidos utilizando el costo económico en vez del costo comercial.

Diagrama A1
Esquema definición de costos de CRU para el litio

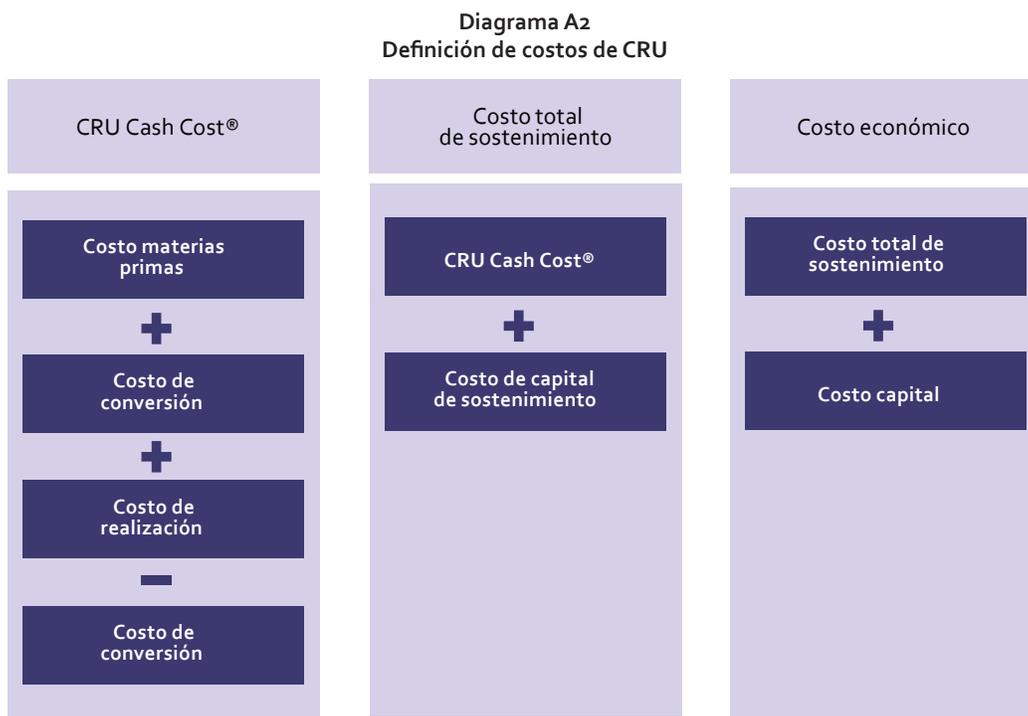


Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3

Metodología de costos del cobre

Para cualquier operación minera de cobre, CRU identifica tres grandes categorías de tipos de costos: *Cash Cost*, *All-in-Sustaining Cost* y *Economic Cost*. Cada uno de éstos incluye los siguientes ítems:



Fuente: Elaboración propia.

Como nota al margen, CRU informa sus métricas de costos en un formato basado en cuentas o basado en valor. En este informe, los costos se presentan en los conceptos de costos basados en cuentas de CRU Cash Cost® y CRU AISC®. Los conceptos basados en valor, al ser prorrateados, tienen ventajas sobre los conceptos basados en cuentas cuando se trata de considerar los costos de una industria con una gran parte de la producción de subproductos. Pero, en cualquier caso, los dos formatos son compatibles de forma consistente con los mismos cálculos subyacentes y pueden conciliarse.

CRU Cash Cost®

El CRU Cash Cost® considera los costos de las materias primas, los costos de conversión y los costos de realización, y resta cualquier crédito de subproducto asociado al producto que se vende. Los costos de las materias primas son los costos asociados con la compra o la adquisición del insumo principal en la actividad de producción en cuestión. Las regalías, las indemnizaciones por despido, los pagos a empresas de exploración y gastos similares se consideran costos de materia prima según la metodología de costos de CRU. La razón es que se trata de gastos continuos directamente relacionados con la extracción del material. Efectivamente, son un cargo por eliminar los minerales de la tierra.

En el caso de una mina de cobre, los costos de las materias primas son simplemente la regalía o las indemnizaciones que se puedan pagar, siempre que se trate de un gasto en marcha relacionado con la extracción del material, ya sea medido por peso o valor. Es importante tener en cuenta que no todos

los impuestos mineros son costos de materias primas. Por ejemplo, en algunas jurisdicciones se gravan impuestos adicionales especiales sobre las ganancias de las operaciones mineras una vez que superan ciertos umbrales. Estos se conocen de diversas formas como impuestos a las ganancias aceleradas, impuestos a las ganancias en exceso, impuestos sobre la renta económica, etc. Debido a que dichos impuestos son una función de la rentabilidad de una operación, son similares a los impuestos sobre la renta, es decir, no son un costo en absoluto.

Los costos de conversión son los costos reales asociados con los procesos de producción y están directamente relacionados con el sitio de producción en cuestión. En las operaciones típicas de minería de sulfuro de cobre, los costos de conversión incluyen no solo los elementos principales de la "minería" en un sentido tradicional (desmonte, perforación y voladura, pala, acarreo de mineral, trituración y el molino / concentrador), sino también en algunos casos el costo asociado con el transporte de concentrado por tubería a una planta de filtración ubicada en un puerto o en una estación de ferrocarriles. Cuando se utilizan formas de transporte externas, por ejemplo, vehículos de carretera o ferrocarriles, el impacto de estos costos se reconoce como parte de los costos de realización que se describen a continuación. En todos los casos, los costos de flete marítimo son parte de los costos de realización. En particular, los costos de conversión no incluyen ningún costo relacionado con los gastos de capital o con conceptos contables como depreciación, amortización y agotamiento.

Los costos de realización son todos los gastos en los que se incurre desde el momento en que el producto completa su último paso de procesamiento hasta el momento en que la empresa recibe el pago. Más concretamente, estos costos incluyen el costo de la función de ventas y marketing, el costo de financiar el inventario de productos terminados, los bienes en tránsito y las cuentas por cobrar. En el caso de los concentrados de cobre, los costos de realización son simplemente la diferencia entre el precio al contado del cobre en la LME y el valor del concentrado en el paso final del procesamiento dentro del sitio de la mina. Los concentrados se venden típicamente sobre la base de contratos que requieren que la mina entregue el concentrado a un puerto y luego pague el flete marítimo a la fundición. Estos costos deben reconocerse al nivel de costos de realización.

CRU All-in-Sustaining Cost

En los Costos totales de sostenimiento (AISC) se agregan los gastos de capital de sustento, el costo de oportunidad del capital de trabajo y otros costos corporativos a los CRU Cash Costs[®]. El CRU Cash Cost[®], al igual que con otras medidas de costos en efectivo estándar, generalmente se aproxima a los costos variables promedio en el sitio de producir una tonelada de metal. Excluye otros costos en efectivo inevitables, como los gastos corporativos generales y administrativos que son imperativos para la operación, así como los gastos de capital sostenidos. En otras palabras, mientras que el precio del metal base menos el CRU Cash Cost[®] se aproxima al EBITDA de los mineros, el precio del metal base menos el CRU AISC se aproxima al flujo de caja libre disponible para el propietario.

CRU Economic Cost

Los Costos Económicos son la suma del AISC y los costos de capital. La inclusión de los costos de capital asociados con los activos fijos en una metodología de cálculo de costos puede ser un tema controvertido. CRU cree que una empresa tiene la opción de vender una mina o planta en lugar de operarla, en cualquier momento. Por lo tanto, a menos que los administradores puedan generar un rendimiento del activo superior al costo de capital, es mejor que los propietarios vendan el activo.

En el caso de las empresas mineras y metalúrgicas, esta no es una propuesta teórica. Las minas, las fundiciones y las refineras, o al menos los intereses en ellas, se comercializan todo el tiempo. Esto lleva a la conclusión de que los administradores deben rendir cuentas no solo por el capital incremental que consumen, sino también por la cantidad total de capital que se les confía.

Para calcular la cantidad de capital que está inmovilizado en un activo específico, la metodología de CRU se enfoca en marcar un activo a su valor de mercado y luego asignar un cargo anualizado que refleje el costo de oportunidad de ese capital para la empresa. El costo de capital asociado con un activo es, por lo tanto, el valor de mercado estimado de ese activo multiplicado por el costo de capital promedio ponderado (WACC) de la corporación que lo posee, o cuando no esté disponible, una estimación del costo de capital típico en la industria.

Los costos económicos son útiles para las decisiones en torno a la gestión basada en el valor y el análisis de precios de equilibrio a largo plazo. Si el costo económico de una mina de cobre está por debajo del precio de referencia, entonces está creando valor para los accionistas. CRU también examina los costos económicos a largo plazo para la industria a fin de determinar el nivel de precios requerido para permitir que las nuevas minas entren en operación y satisfagan la demanda proyectada del mercado.

Anexo 4 Metodología demanda de cobre

Introducción

El objetivo del *Compass Model*® es producir un conjunto de pautas recomendadas para las proyecciones de precios del cobre a largo plazo que se necesitan en una serie de situaciones de toma de decisiones estratégicas, las que incluyen:

- Estudios de prefactibilidad y otras actividades de selección realizadas por desarrolladores de proyectos, compañías mineras y de fundición, inversores, instituciones financieras y gobiernos anfitriones;
- Estudios de factibilidad financieros requeridos para el financiamiento de nuevos proyectos y expansiones importantes;
- Actividades de cobertura estratégicas realizadas por productores con el fin de gestionar los riesgos de mercado a la baja, a menudo iniciadas a petición de la comunidad financiera;
- Valoraciones de minas, fundiciones, refinerías y otros activos productivos en relación con las ventas y adquisiciones, fusiones, o actividades de reestructuración financiera importantes; y
- Diseño de productos y decisiones de ingeniería relacionadas por parte de los principales usuarios finales de metales, a menudo en industrias como automóviles, electrodomésticos, equipos industriales, productos de construcción y empaques.

Todas estas aplicaciones requieren una proyección de precios a largo plazo creíble y un entendimiento de la naturaleza y tamaño de los riesgos asociados con dichas proyecciones. La volatilidad de los mercados internacionales de commodity tradicionalmente han hecho de esto una tarea muy desafiante. Este documento explica la metodología empleada por CRU para enfrentar este desafío, especialmente por el lado de la demanda.

Planteamiento teórico

El enfoque básico del *Compass Model*® consiste en reconocer que la dinámica de la fijación de precios en los mercados de commodity es fundamentalmente diferente en el corto plazo y en el largo plazo. En la práctica, se define el corto plazo como un período en el que existe un límite superior razonable predecible para el potencial de suministro establecido por la capacidad existente de la industria más los nuevos proyectos de inversión comprometidos menos cierres previstos o, en el caso de las minas, el agotamiento anticipado de las reservas. Así, para las previsiones realizadas durante el 2020, los años hasta el 2025, se consideran a corto plazo, mientras que el 2026 y los años posteriores, se consideran a largo plazo.

En el corto plazo, las decisiones sobre la oferta y la demanda son en gran medida independientes entre sí. Dado el carácter intensivo en capital de las operaciones mineras y metalúrgicas y el elevado nivel relacionado de costos cuasi-fijos y fijos que conlleva en la estructura financiera general, las decisiones de oferta tienden a depender de los recursos, es decir, los productores van a fabricar lo que sean capaces de hacer, dadas las materias primas disponibles, la energía, la capacidad de producción u otra limitación técnica relevante. Al mismo tiempo, las decisiones sobre la demanda están en función de la actividad económica global. Las diferencias entre ambas se resuelven a través de los cambios en los inventarios, a menudo mantenidos en los mercados terminales.

En consecuencia, el mayor riesgo es que cualquier desequilibrio significativo entre la oferta y la demanda provoque fuertes fluctuaciones en el inventario y los precios. A esto se le llama "riesgo cíclico del mercado". Sin embargo, los productores marginales pueden responder a los precios bajos y han demostrado esta capacidad de respuesta a los precios en el pasado. La proyección a corto plazo

permite una respuesta del precio por el lado de la oferta, que puede consistir en el cierre temporal de operaciones de alto costo o en el retraso de nuevos proyectos. Todo el análisis a corto plazo en este informe se basa y modela utilizando las mismas técnicas empleadas para el informe *Copper Market Outlook* de CRU.

A largo plazo, sin embargo, los mercados se auto-corrigen en mayor medida. Los períodos de precios altos animan a los productores a invertir en capacidad de suministro adicional y pueden disuadir a los consumidores de desarrollar nuevas aplicaciones. Los períodos de precios muy bajos conducen a una falta de inversión en la oferta de la industria y pueden eventualmente fomentar también el consumo adicional. Así, en el largo plazo, los precios tienden a un nivel promedio que viene establecido por las características fundamentales de la oferta del sector industrial. Esto significa que las mayores incertidumbres son de naturaleza tecnológica y de dotación de recursos. Cuánto más se avanza en el tiempo, mayores se vuelven estos riesgos. Nos referimos a esto como “riesgo estructural”.

Producción y balance de mercado

El proceso de proyección de producción comienza con una consideración de la capacidad existente para producir cobre refinado y adiciones conocidas o cierres previstos de la capacidad en los próximos cinco años. Luego, esto se extiende durante el período previsto y se calcula la capacidad adicional requerida para satisfacer el consumo de cobre refinado.

Existen, a grandes rasgos, tres rutas de producción que permiten obtener cobre refinado:

- i) Fundición primaria y secundaria y refinado de concentrados de cobre o chatarra;
- ii) Operaciones de extracción de cobre por SXEW;
- iii) Otras operaciones de refinado de metales (por ejemplo, refineries de níquel) que producen cobre como subproducto. La mayor parte de la producción de cobre refinado sigue viniendo de fuentes primarias—ya sean de SXEW o de minas de concentrado de sulfuro— y este es el residuo en el proceso de modelado.

La producción total de cobre refinado se proyecta con base a la demanda mundial de cobre y el nivel de inventarios en el período anterior. Luego, se resta la proporción del consumo de cobre que se espera que provenga de la ruta secundaria, ya sea a través del uso de fundición directa en los productores de semi de cobre o por medio de la producción de cobre refinado a partir de materiales secundarios. De esta estimación de la demanda de cobre primario, se resta el cobre que se espera sea producido a partir tanto de las operaciones mineras conocidas como SXEW, así como la proporción de metal que provendría de las rutas de refinado no relacionadas con el cobre.

La demanda de cobre primario de las fundiciones se ajusta a una tasa global de recuperación de la refinería del 99%. Esto nos proporciona un requerimiento total de blíster primario de las fundiciones de cobre. Dado que los inventarios de blíster de las fundiciones no se informan formalmente, se proyecta el equilibrio entre la oferta y la demanda de fundición con base en experiencias históricas.

Asumimos un requisito operativo global de fundición en el modelo con el fin de determinar el requisito de capacidad futura de fundición/refinería. Por encima de este nivel, la capacidad es escasa y se pondrán en marcha nuevas fundiciones. Aunque, recientemente, las fundiciones ni siquiera han alcanzado una tasa de operación del 70%, se ha estimado el requisito sobre la base de un nivel más alto del 80%. Se cree que esa es la tasa de operación promedio a largo plazo deseada y alcanzable en condiciones de funcionamiento ideales.

Proyección de consumo

La proyección de consumo es el primer paso que se realiza en el *Compass Model*®. Comienza con una proyección desagregada y sin restricciones del consumo del cobre. La proyección es sin restricciones en el sentido de que no considera la oferta o el precio como una limitación. Básicamente, la suposición es que

habrá una oferta adecuada disponible a precios razonables en relación con los materiales alternativos, de manera que se satisfaga toda la demanda de cobre implícita en la proyección de crecimiento económico mundial. La proyección está desagregada por región geográfica principal.

El consumo para los próximos cinco años se proyecta mediante técnicas econométricas empleadas en el informe *Copper Market Outlook* de CRU. Más allá de los cinco años, el consumo se proyecta utilizando un enfoque de intensidad de uso para garantizar que se presente un perfil realista de consumo a largo plazo. El concepto de intensidad de uso se basa en una observación transversal de la estructura cambiante de la relación entre el uso del cobre y el desarrollo económico. Esto captura el fenómeno de propagación clásico. La intensidad de uso de cobre es muy baja en economías subdesarrolladas, predominantemente agrícolas. Luego, aumenta bruscamente con la industrialización, reflejando la demanda de infraestructura urbana, vehículos, etc. Sin embargo, en un cierto punto determinado, el uso de cobre madura y la intensidad de uso comienza a disminuir, a medida que el crecimiento se torna más hacia los sectores de servicios.

El siguiente paso en el proceso, es preparar una proyección agregada del consumo de cobre basado en la actividad económica mundial. Esto se utiliza para desarrollar una comprensión del sesgo de proyección que es inherente a un modelo agregado. Se tiene que adoptar un enfoque agregado en modo de simulación para hacer frente al alto grado de correlación que de otro modo existiría entre las variables macroeconómicas desagregadas. Esto surge de los fuertes vínculos que existen entre las diferentes economías nacionales a través de los flujos de capital y comercio. Sin embargo, un enfoque agregado por sí solo correría el riesgo de ignorar los cambios estructurales importantes en las economías nacionales que es muy probable que se produzcan cuando se consideran períodos tan largos como 25 años. Por lo tanto, el enfoque consiste en utilizar la proyección desagregada para corregir la proyección agregada. En el caso base, la cifra de consumo real está, por tanto, determinada por la proyección desagregada.

Factores que impulsan el consumo

El crecimiento de la demanda de cobre está impulsado en gran medida por el crecimiento económico general y cambios en la intensidad de uso —unidades de cobre consumidas per cápita—, determinados por el estado de desarrollo económico en las distintas regiones.

Para poder identificar cómo se relaciona la demanda de cobre con los ciclos de desarrollo económico, CRU examina la intensidad de uso expresada como PIB per cápita sobre una base de Purchasing Power Parity (PPP), una medida de desarrollo relativo. Basándose en tendencias históricas, se puede ver que la demanda de cobre per cápita aumenta bruscamente a medida que las naciones se industrializan, pero la intensidad luego se desacelera a medida que se convierten en economías post-industriales, basadas en servicios, que tienden a importar productos manufacturados de países con salarios relativamente bajos. Por ejemplo, ver el gráfico 3 del capítulo 1 que muestra la demanda histórica de cobre refinado per cápita en función del PIB per cápita a nivel mundial.

Los factores estructurales y ciclos macroeconómicos pueden cambiar la cantidad de cobre refinado utilizado para producir una determinada combinación de bienes y servicios, así como cambiar los bienes y servicios demandados para un determinado nivel de ingresos. Estos factores pueden tener un impacto significativo en la demanda de uso final. CRU también considera los siguientes factores:

- Sustitución:

La demanda de cobre ha sido mermada en las últimas dos décadas debido a la sustitución, principalmente al aluminio, los plásticos y los cables de fibra óptica. El cobre ha perdido terreno en la industria automotriz y mercados de acondicionadores de aire, fontanería, construcción, telecomunicaciones y transmisión de energía. Los principales impulsores de esto ha sido la diferencia en los costos entre el cobre y los materiales de la competencia, pero el peso corporativo, la conformabilidad y la conductividad también han sido factores claves.

- Disponibilidad de chatarra:

En términos absolutos, los avances en tecnología de recuperación y los altos precios sostenidos del cobre van a aumentar el interés en recuperar la chatarra del cobre y, por lo tanto, mejorarán la disponibilidad de material de desecho. Normalmente, con el tiempo hay un movimiento desde el uso directo de chatarra en la producción de semis a la chatarra que se utiliza como materia prima en el proceso de producción de refinado. Esto sucede a medida que la producción industrial de un país asciende en la cadena de valor de la producción de semis avanza hacia aplicaciones intensivas refinadas y de mayor calidad. Sin embargo, CRU cree que la mayoría de esto se alimentará en fundiciones en lugar de ser utilizado directamente en plantas semis de cobre.

- Vehículos eléctricos

El papel que desempeñan los vehículos eléctricos (EV) en el crecimiento continuo de la demanda a largo plazo es primordial, ya que, sin esto, el consumo del mercado final se estancaría esencialmente a partir de 2030. Los vehículos eléctricos todavía siguen siendo solo un pequeño consumidor de metal refinado, y se espera que la demanda mundial, incluida la infraestructura, represente aproximadamente 1.4% de la demanda de cobre refinado global en 2020. Sin embargo, a largo plazo, se espera que se convierta en un mercado boyante apoyado por subsidios e incentivos gubernamentales, que son un impulsor clave de la adopción de EVs, ya que ayudan a equiparar la asequibilidad con la de los vehículos tradicionales con motor de combustión interna (ICE).

- Otras tendencias

Cambios en las tendencias sociales tienen el potencial de alterar substancialmente la trayectoria del consumo anual de cobre por habitante:

- Energía renovable & eficiencia energética: Los países han estado prestando más atención al ahorro de energía en los últimos años. Los esfuerzos para aumentar la eficiencia energética y hacer mayor uso de los recursos energéticos renovables seguirán siendo una tendencia importante durante el período de proyección. Sobre la base de esta observación, CRU cree que se utilizará más cobre para fines eléctricos y electrónicos.
- Miniaturización: La tendencia actual hacia dispositivos mecánicos ópticos y electrónicos más pequeños y ligeros seguirá siendo una característica del desarrollo tecnológico. Una reducción del tamaño de los productos electrónicos podría resultar en un menor uso de cobre y en la sustitución de éste por un material conductor más ligero.
- Aumento del contenido en aparatos electrónicos: El contenido electrónico de los productos de consumo y empresariales seguirá aumentando. Este desarrollo impulsará el consumo de cobre —aunque puede verse contrarrestada por el impacto compensatorio de la miniaturización.

Anexo 5

Metodología demanda de litio

Metodología de proyección para EV

CRU ha revisado sustancialmente la metodología de proyección de la demanda de litio desde al menos 2017 para las distintas ediciones de *Lithium Market Outlook*. Se ha realizado una importante investigación sobre el sector de los vehículos eléctricos (EV) en el transcurso de los años, así como del sector de las baterías en general. El elemento más importante de esta investigación proporciona tres conjuntos de información que son cruciales para determinar la proyección de la demanda de litio del importantísimo sector de EV:

- Predicción de las ventas de varios tipos de vehículos de nueva energía (NEV) mediante la evaluación de su costo total de propiedad y su comparación con el de los vehículos con motor a combustión. Se tiene en cuenta las políticas regionales relacionadas con los subsidios, las cuotas de producción de vehículos, así como las reducciones previstas en los costos de fabricación de las baterías, los insumos macroeconómicos como el crecimiento del PIB/cápita y el precio del petróleo. También se evalúan las preferencias de los consumidores y otros factores menos tangibles, como las tendencias en el uso compartido de automóviles y vehículos autónomos y su influencia en el tamaño total de la flota.
- Previsiones de la capacidad de las baterías en distintos tipos de NEV en cada región clave de producción de automóviles, basadas en el análisis de las ventas de diferentes tipos de vehículos, teniendo en cuenta las políticas que pueden, por ejemplo, favorecer a los vehículos de mayor autonomía y con mayor capacidad de batería en comparación con los vehículos más baratos y de menor alcance.
- Proyecciones de la elección de la química de las baterías en diferentes NEV para cada región a lo largo del tiempo, basados en las características de la batería, y su aplicabilidad en distintos NEVs en comparación con el costo de los materiales requeridos, además de las ventas de distintos tipos de NEV y las preferencias de los consumidores y productores regionales.

Los supuestos de este modelo nos dan la capacidad de evaluar rápidamente el impacto de los cambios de política en cada dato, y la demanda de litio resultante.

Además, se ha revisado la metodología de proyección para otras aplicaciones de baterías fuera del segmento de transporte eléctrico, desarrollando esta metodología con más detalle con una investigación adicional sobre la evolución en el consumo de baterías de iones de litio (LIB), las capacidades de las baterías, y la intensidad del litio en diferentes regiones para cada uno de los principales usos finales.

Módulos y consideraciones metodológicas

El rápido crecimiento de la demanda de LIB para vehículos eléctricos ha llevado a CRU a reevaluar la metodología de proyección de la demanda de litio de este sector cada vez más importante. Esto implica una sólida comprensión de las variables clave en cada etapa del proceso —desde proyectar la adopción de distintos tipos de vehículos en diferentes regiones del mundo, hasta las diversas capacidades de las baterías que pueden ser utilizadas en estos vehículos y, a su vez, sus diferentes formulaciones químicas e intensidades de litio.

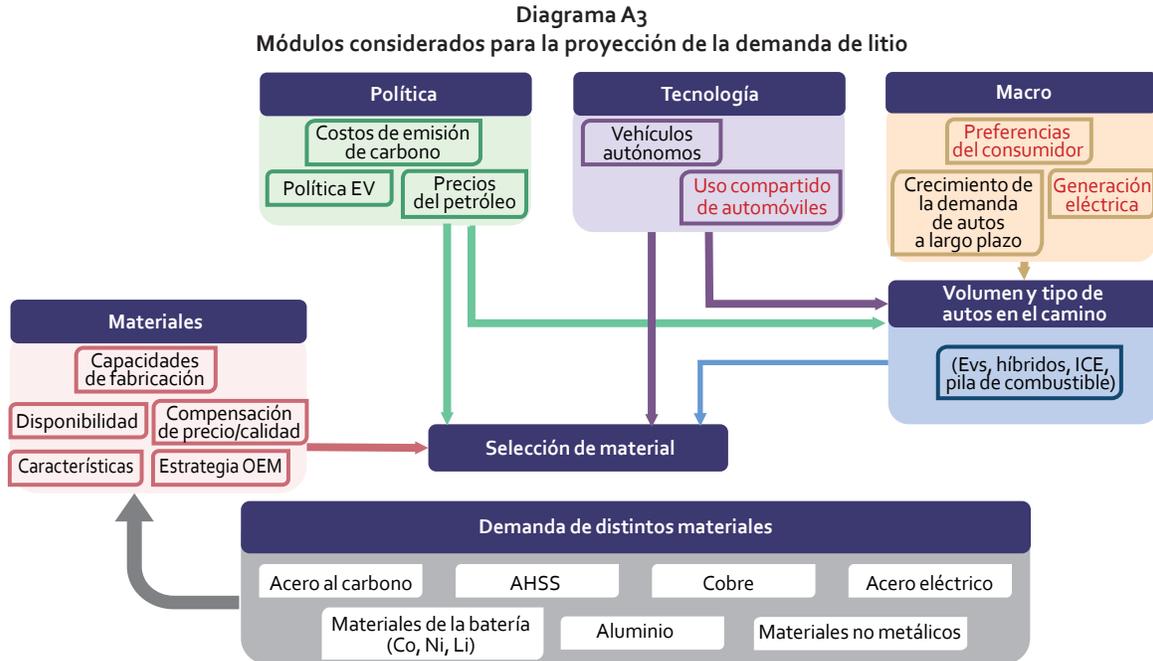
CRU ha abordado el mercado metodológicamente al considerar las fuerzas más importantes que determinarán la adopción de los NEV, entre las que incluyen: regulaciones gubernamentales, propiedad de automóviles, economía de combustible, clima macroeconómico, avances tecnológicos e infraestructura. Para estimar la demanda de litio, CRU ha adoptado una metodología basada en la segmentación de estos factores en módulos:

- **Módulo Macro:** Este módulo es el determinante clave para la demanda de transporte, que también alimenta el Módulo de Flota. Nos permite comprobar constantemente la asequibilidad de la futura adopción de NEV. Para estimar la demanda total de de transporte, se consideraron factores como los ingresos, la demografía, la urbanización, la producción industrial y la congestión.
- **Módulo de Flota:** Este módulo se alimenta del Módulo Macro y considera cómo satisfacer la demanda modelada de ventas de vehículos nuevos y la demanda de reemplazo. Hay algunos aspectos que determinarán la demanda de la flota, como el comportamiento (uso compartido de automóviles) y el costo/disponibilidad de alternativas. La demanda de reemplazo es un determinante clave de la demanda de NEV, particularmente a largo plazo a medida que los mercados maduran.
- **Módulo de costo de usuario y Composición de la Flota:** Se asume que las compras de nuevos vehículos están determinadas por una combinación de factores económicos, políticos y de comportamiento. Los hogares/empresas buscan minimizar el "costo total de propiedad", incluyendo:
 - Costo inicial (metales, batería, otros costos de construcción)
 - Combustible / electricidad / hidrógeno
 - Mantenimiento y otros costos operativos
 - Costos de póliza

Un aspecto fundamental de la metodología de CRU es garantizar que las proyecciones estén sujetas a comprobaciones de coherencia internas para mejorar la solidez de los resultados. Esto incluiría, por ejemplo, garantizar que los costos de la adopción de NEV sean asequibles en la etapa de desarrollo de cada país individual:

- **Módulo de intensidad del vehículo:** Al determinar las composiciones de los diferentes tipos de vehículos y cómo es probable que éstas cambian a lo largo del tiempo, la lista de materiales para cada vehículo se puede hacer explícitamente. El profundo conocimiento de las condiciones de suministro y de minerales y los factores técnicos que afectan a la intensidad de uso final y la sustitución, también es fundamental en este sentido. La importancia relativa de la demanda de LIB en los mercados de litio, junto con la escasez y los factores de riesgo que influyen en su suministro, es un factor clave para determinar la adopción de la tecnología de baterías por diferentes geografías.
- **Módulo de infraestructuras:** La adopción de EV impulsará la demanda de electricidad y, por lo tanto, requerirá una capacidad de generación suficiente (impactos evaluados utilizando el modelo de generación de energía interno de CRU). Las mejoras de la capacidad y los cambios asociados inducidos por las políticas en la combinación de generación desempeñarán un papel fundamental. Además, también se han considerado la evolución de las estaciones de carga de vehículos eléctricos y la necesidad de un sistema de transmisión/distribución
- **Marco de Evaluación Política:** Las políticas que reducen el poder adquisitivo tienen el mayor impacto potencial en la demanda. CRU argumenta que las políticas que afectan a los costos iniciales son las que potencialmente tienen el siguiente mayor impacto en el mercado. Esto implica centrarse en políticas como las cuotas de matriculación de vehículos y los impuestos especiales sobre vehículos. Otras, como las relativas a los impuestos sobre el combustible, los precios del carbono y los subsidios a la carga que afectan a los costos operativos.

A continuación, se muestra un diagrama esquemático del enfoque explicado.



Fuente: Elaboración propia.

Costo total de propiedad (TCO)

Uno de los factores claves que determinan la adopción de EV es el costo total de propiedad a largo plazo. La diferencia de precio de los vehículos eléctricos y los automóviles tradicionales con motor de combustión interna es un factor crítico para evaluar el atractivo de los EV. Además, el TCO proporciona una base cuantitativamente rigurosa para modelar el comportamiento de los consumidores. Este método calcula el valor actual neto (VAN) de todos los costos incurridos en la propiedad de un vehículo. Estos costos se dividen en tres categorías:

- Costo inicial para el usuario: este es el costo inicial de poseer un vehículo. Este es principalmente el precio del vehículo, pero también incluye varias tarifas e impuestos como el IVA, tarifas de registro del automóvil, subsidio (como un costo negativo, es decir, un beneficio).
- Costo de usuario recurrente: este es el costo operativo de un vehículo, que incluye el costo de combustible, costo de mantenimiento, y varias tarifas incluyendo el ejercicio sobre combustible, el impuesto sobre el carbono y el impuesto anual de circulación.
- Valor residual: esto se aplicará como un costo negativo (es decir, un beneficio).

El TCO se desarrolla con América del Norte como región de referencia. Un factor importante del costo total de propiedad de un EV es el costo del paquete de batería, que representa alrededor del 30% al 50% del costo total del EV. Los precios de los paquetes de baterías han ido disminuyendo, en torno al 20% anual en los últimos cinco años. Esto se ha debido al importante crecimiento en escala, a las curvas de aprendizaje de fabricación, a las mejoras en el rendimiento de las baterías, y a una combinación de ahorro de materiales de mayor valor.

En cuanto al costo de capital (o costo inicial para el usuario), se asume que los precios de los paquetes de baterías de gran formato disminuyan significativamente hacia 2030, ya que es probable que la velocidad de las reducciones de costos—después del despliegue de la fábrica de baterías e innovaciones en procesos— se ralentice, con ganancias cada vez menores y técnicamente, más difíciles de conseguir.

Hoy, los vehículos ICE tienen una clara ventaja sobre los BEV, debido al enorme costo inicial de este último, sin considerar los subsidios. Sin embargo, se espera que el costo baje sustancialmente en un plazo de 8-10 años.

Los BEV tienen el menor costo de operación, en comparación con el ICE y HEV. En los primeros años de compra, no hay mucha diferencia en el costo operativo; sin embargo, la diferencia aumenta sustancialmente al final del duodécimo año. Esto se debe principalmente al aumento en el costo de mantenimiento de los vehículos ICE y a la disminución del consumo de combustible a lo largo del tiempo.

Teniendo en cuenta los tres factores del cálculo de TCO, los vehículos ICE tienen una clara ventaja en los primeros años de compra del vehículo. En el mediano plazo, se espera que los BEV sean significativamente más atractivos, teniendo en cuenta la paridad de precios en el costo total de propiedad. Esto significa que se puede esperar un aumento significativo de los vehículos eléctricos a partir de otros cinco años. El análisis anterior se refiere a los BEV sin subvenciones. Teniendo en cuenta las subvenciones, los BEV son sustancialmente inferiores al TCO.



En este documento se presenta la primera parte de un estudio que comprende dos informes. El objetivo del estudio es contribuir al análisis y la discusión de dos temas claves interrelacionados que tendrán repercusiones en la minería de los países andinos en un futuro muy próximo: primero, los cambios en los patrones de demanda y uso del cobre y el litio a nivel mundial y en los países de la región andina, así como las consecuencias del despliegue global de las tecnologías para la transición energética y, segundo, las cadenas globales de valor del litio para la producción de baterías de iones de litio para vehículos eléctricos, incluido un esfuerzo por evaluar las potencialidades de escalamiento en los países andinos.

En este primer informe se presenta un análisis de los mercados del cobre y el litio, enfocado principalmente en la región conformada por la Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de), Chile y el Perú. Además de abordar las perspectivas relacionadas con su oferta y su demanda actual y futura, se identifican los principales factores de cambio en el mediano y largo plazo. También se analiza cómo influirán en estos mercados la gestión minera sostenible, junto con otras tendencias actuales.

