

Serie de estudios para
el Desarrollo Minero

Metales y Minerales Críticos para la Transición Energética

Septiembre 2022

Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera
Subsecretaría de Desarrollo Minero



Ministerio de Economía
Argentina

Secretaría de Minería

AUTORIDADES

Presidente de la Nación

Abg. Alberto Ángel Fernández

Ministro de Economía

Abg. Sergio Tomás Massa

Secretaría de Minería

Abg. María Fernanda Ávila

Subsecretaria de Desarrollo Minero

Dra. Pamela Verónica Morales

Director Nacional de Promoción y Economía Minera

Lic. Jorge Matías González

Director de Transparencia e Información Minera

Lic. Gonzalo Luis Fernández

Directora de Economía Minera

Geol. Marina Corvalán

Equipo de Trabajo

Wechsler, Eugenia

Nussbaum, Agustín

Fernández, Gonzalo



Agradecimientos

A todo el grupo de profesionales de la Universidad Nacional de Tres de Febrero que, bajo el marco del acuerdo entre la Secretaría de Minería y dicha institución, colaboraron en la provisión de datos y asistieron en diversas consultas, y a todas aquellas personas que han hecho posible este informe.

Resumen ejecutivo

En 2021, la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) elaboró un informe especial en donde realiza una proyección de los requerimientos minerales futuros consecuentes con la transición energética. Para ello, utilizó dos escenarios que dependen en gran medida de la rigurosidad de las políticas climáticas, así como de las posibles vías de desarrollo tecnológico de cada una de las energías en estudio: energías bajas en carbono (energía solar fotovoltaica, eólica, otras energías renovables y nuclear), redes eléctricas, vehículos eléctricos y baterías, e hidrógeno.

Según las proyecciones elaboradas para 2040, la demanda global de minerales y metales, para su uso en tecnologías de energía limpia, se duplicaría en el “Escenario de Políticas Declaradas” (STEPS, por sus siglas en inglés), elaborado en base a las políticas actuales en el sector de la energía, y se cuadruplicaría en el “Escenario de Desarrollo Sostenible” (SDS, por sus siglas en inglés), el cual supone, que los países cumplen en su totalidad con los objetivos mundiales pactados en el Acuerdo de París. En ambos escenarios, los vehículos eléctricos y las baterías representan aproximadamente la mitad del crecimiento de la demanda de metales y minerales para la transición a energías limpias durante las próximas dos décadas. La energía solar fotovoltaica requerirá casi triplicar la demanda de cobre y, a pesar del aumento de la capacidad anual, la demanda de plata y silicio será menor en 2040 que en 2030, y sólo un 18% y un 45% mayor que en 2020. La energía eólica, por su parte, requerirá importantes cantidades de tierras raras -como neodimio y el praseodimio- y cobre (600 kt al año), impulsada por la eólica marina que requiere un mayor cableado. La expansión de la energía eléctrica, requerirá una gran cantidad de metales, principalmente cobre (150 Mt anuales aproximadamente) y aluminio (210 Mt anuales aproximadamente). La energía nuclear **es una de las tecnologías con menos emisiones de carbono** y al mismo tiempo, tiene un bajo requerimiento de metales, siendo los principales: cromo (2.190 kg/MW), cobre (1.470 kg/MW), níquel (1.300 kg/MW), hafnio (0,5 kg/MW) e itrio (0,5 kg/MW). También la energía hidroeléctrica y la biomasa aportarían a la demanda de metales y minerales, aunque también en una magnitud menor en comparación a las antes mencionadas, dado no sólo a sus necesidades metalíferas comparativamente bajas sino también, a las modestas adiciones de capacidad proyectadas. Finalmente, el rápido crecimiento en el uso de hidrógeno sustentaría un gran crecimiento en la demanda de níquel y circonio, para su uso en electrolizadores, así como también de cobre y metales del grupo del platino, para su uso como componente en celdas de combustible de vehículos eléctricos.



La demanda total de minerales y metales proyectada para 2040 está dominada por el grafito, el cobre y el níquel, mientras que el litio tiene una tasa de demanda que crece más de 40 veces en el Escenario de Desarrollo Sostenible. Por otro lado, el uso de baterías con menos contenido de cobalto implica un límite para el aumento en la demanda de este metal, que podría verse desplazado por el níquel. El requerimiento de tierras raras (REEs, por sus siglas en inglés), principalmente para motores de vehículos eléctricos y turbinas eólicas, se triplica en el escenario STEPS y se multiplica por siete en el SDS, de cara a 2040.

Llamativamente, el informe de IEA muestra que, para todos los escenarios proyectados, los planes actuales de suministro e inversión para muchos metales y minerales críticos están por debajo de lo necesario para respaldar un desarrollo acelerado de las diversas energías limpias, a lo que se suma la alta concentración de los mismos en un acotado número de productores. Este contexto genera incertidumbre en torno a la posibilidad de contar con suministros confiables y sostenibles de metales y minerales que respalden la transición energética, por lo que el mundo podría enfrentar serias restricciones de oferta en el mediano y largo plazo.

En Argentina, las fuentes de energías renovables ocupan aproximadamente el 9,1% de la oferta primaria de energía para el año 2020. En el informe “Escenarios energéticos 2030” la Secretaría de Energía de la Nación (2019) estimó la necesidad de generación eléctrica bajo distintos escenarios para 2030. Partiendo del cumplimiento de la Ley 27.191 (Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica), el 20% de la demanda en 2025 debe ser cubierta con energías renovables no convencionales extendiéndose su participación al 25% para el año 2030. Este sendero creciente en el uso de energías renovables, tanto a nivel local como global, pone de manifiesto la necesidad de contar con una actividad minera pujante capaz de aportar los insumos necesarios para fortalecer y diversificar la matriz energética.

Índice

Introducción	7
Requisitos minerales para las transiciones de energía limpia (IEA)	8
Energías bajas en emisiones de carbono	11
Energía solar fotovoltaica	11
Energía eólica	12
Otras Energías Renovables	13
Energía Nuclear	16
Redes eléctricas	17
Vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía	18
Hidrógeno	20
Demanda agregada por metal	21
Cobre	21
Litio	22
Níquel	23
Cobalto	24
Tierras Raras -neodimio-	25
Escenarios energéticos 2030 para Argentina	26
Políticas para potenciar la transición energética	30
Posicionamiento del sector minero argentino	31
Litio	31
Cobre	31
Níquel	32
Cobalto	32
Tierras Raras -neodimio-	32
Grafito	32
Manganeso	32
Zinc	32
Cromo	32
Conclusiones	33
Bibliografía	36

Introducción

El presente informe tiene como principal objetivo echar luz sobre un tema tan importante para el futuro del país y del mundo como sensible en las discusiones económicas y políticas actuales: ¿Cuál es el rol de la minería en la transición hacia el uso generalizado de nuevas energías limpias? Frente a este interrogante, se propone un análisis acerca de los requerimientos de insumos minerales y metalíferos en las tecnologías que proveerán nuevas energías con bajo consumo de hidrocarburos. Estas, conjugadas con un consumo responsable, permitirán fortalecer la sostenibilidad del sistema económico vigente. Para ello, se parte del informe “Requisitos minerales para las transiciones de energía limpia” 2021, elaborado por la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), donde se establecen dos posibles escenarios futuros de cara al mencionado proceso de transición energética. Esto permite vislumbrar una posible combinación de oferta y demanda futura de nuevas fuentes de energía que, considerando los requisitos de insumos mineros por cada tipo de energía renovable, dando como resultado una aproximación del impacto que tendrá la transformación energética en la demanda de minerales. Adicionalmente, el presente informe, realiza un breve recorrido por los escenarios de consumo futuro de nuevas energías en la Argentina basado en el informe “Escenarios energéticos 2030” realizado por la Secretaría de Energía de la Nación (2019).

El documento se divide de la siguiente manera, luego de esta introducción, en la sección II se expondrán las proyecciones realizadas por la Agencia Internacional de Energía (IEA), donde se establecen dos posibles escenarios futuros de cara al proceso de transición energética (entendida como el proceso de reemplazo de las fuentes de energías con altas emisiones carbono por otras con emisiones tendientes a cero). Estos nos permiten vislumbrar una posible combinación de oferta y demanda futura de nuevas energías que, considerando los requisitos de insumos mineros por cada tipo de energía renovable, nos dará una aproximación del impacto que tendrá la transformación energética en la demanda de minerales y metales, con especial atención en la energía solar fotovoltaica, eólica, solar de concentración, hidroeléctrica, geotérmica, bioenergía, los vehículos eléctricos y baterías e hidrógeno. La sección III abordará el panorama nacional contemplando la participación de las energías renovables en la oferta energética y los escenarios energéticos para Argentina en el 2030 elaborados por la Secretaría de Energía de la Nación (año 2017). Seguido a eso, se analizará, cómo podría ubicarse el sector minero frente a los incrementos en las demandas explicadas en capítulos anteriores. Finalmente, se abordarán las nuevas políticas en materia de transición energética y se esboza una conclusión sobre la potencialidad que presenta el sector minero en la economía argentina.

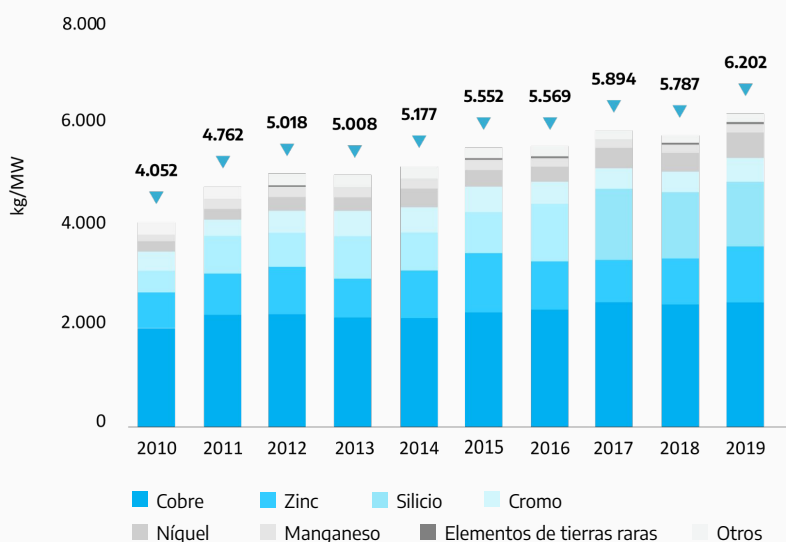


Requisitos minerales para las transiciones de energía limpia (IEA)

La Agencia Internacional de Energía (IEA) 2021, elaboró un informe especial en donde se realiza una proyección de los requerimientos minerales futuros bajo diferentes escenarios climáticos y tecnologías energéticas. Para ello, se tomaron en consideración a ciertas energías bajas en carbono, como la energía solar fotovoltaica a gran escala y distribuida (FV, por sus siglas en inglés), la energía eólica (*onshore* y *offshore*), la energía solar de concentración, hidroeléctrica, geotérmica, nuclear y la bioenergía. También se incorporaron al análisis los requerimientos de metales y minerales para los vehículos eléctricos (EVs, por sus siglas en inglés), las baterías y el hidrógeno en el período 2030- 2040.

Como se mencionó anteriormente, para estimar las trayectorias de demanda, la IEA propuso dos escenarios: el Escenario de Desarrollo Sostenido (SDS), cuyo supuesto más fuerte es que los países cumplen en su totalidad con los objetivos trazados en el Acuerdo de París^[1] para abordar el cambio climático; y el de Políticas Establecidas (STEPS), que proporciona una indicación de hacia dónde podría conducir la demanda de minerales dada la continuidad de las políticas actuales en el sector energético[1]. Ambos escenarios reflejan que la transición global hacia energías más limpias tendrá importantes consecuencias en la demanda de metales y minerales en los próximos 20 años. Sin ir más lejos, en 2019, la intensidad en el uso de los metales en el sector energético se acrecentó significativamente alcanzando un acumulado del 45% desde el año 2010.

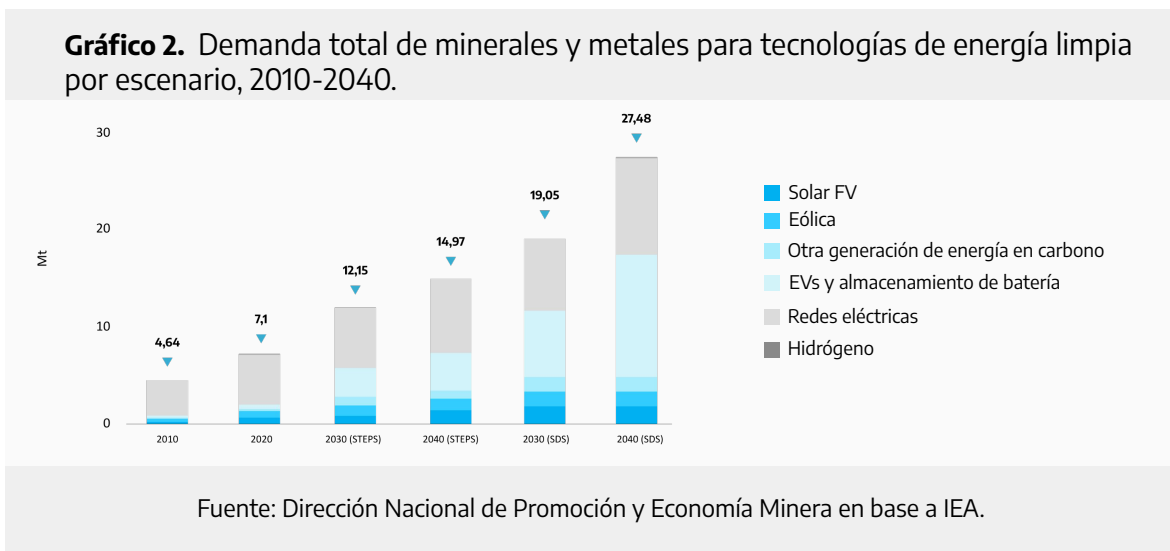
Gráfico 1. Intensidad de uso promedio de metales en la nueva capacidad de generación de energía, 2010-2019. En Kg/Mw.



Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

^[1] El Acuerdo de París entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. En su artículo dos indica que resulta "necesario mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5°C, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático". Específicamente, Argentina tiene como meta no exceder la emisión neta de 349 millones de toneladas (Mt) de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂e) en el año 2030, aplicable a todos los sectores de la economía.





En el gráfico 2 se puede observar que la demanda total de metales y minerales para energías limpias, proyectada para el año 2040, se duplica en el de STEPS y se cuadruplica en el escenario SDS. En ambos contextos, la mitad del crecimiento de la demanda en las próximas dos décadas se explica por los vehículos eléctricos y baterías. Las redes eléctricas, por su parte, dan cuenta del 70% de la demanda metalífera actual para las tecnologías consideradas en estudio, pese a que su participación continúa un sendero decreciente.

Tabla 1. Minerales críticos necesarios para las tecnologías de energías limpias.

Energía	Cobre	Cobalto	Níquel	Litio	Tierras Raras	Cromo	Zinc	Grupo Platino	Aluminio
Solar	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Eólica	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Hidroeléctrica	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Solar de concentración	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Bioenergía	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Geotermal	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Nuclear	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Redes eléctricas	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Autos eléctricos y almacenamiento	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Hidrógeno	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■ Alto requerimiento ■ Medio requerimiento ■ Bajo requerimiento

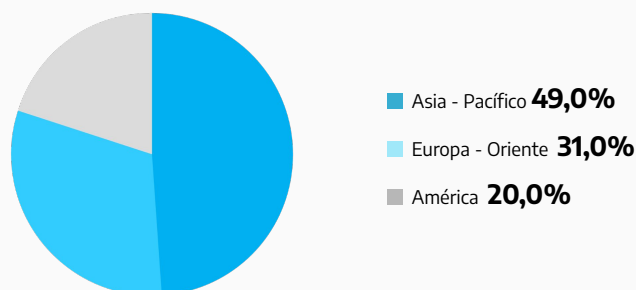
Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

Por otro lado, la energía eólica y solar fotovoltaica también juegan un papel destacado en el impulso del crecimiento de la demanda debido a una combinación de adiciones de capacidad a gran escala (entendida como el aumento de la capacidad instalada y subsecuentemente de la oferta energética) y mayor intensidad de metales. También la energía hidroeléctrica, la biomasa y la nuclear aportarían a la demanda, pero en menor medida dadas sus necesidades metalíferas comparativamente bajas y las modestas adiciones de capacidad proyectadas. Finalmente, el rápido crecimiento en el uso de hidrógeno sustentaría un gran crecimiento en la demanda de níquel y circonio para su uso en electrolizadores, y para cobre y metales del grupo del platino para su uso en vehículos eléctricos de pila de combustible.

En la actualidad, según Bloomberg (2022) se estimó que la inversión mundial en tecnologías energéticas con bajas emisiones de carbono (energía solar fotovoltaica, eólica, otras energías renovables y nuclear) finalizó el año 2021 en US\$ 755 mil millones, un 27% más que el año previo. Los sectores con mayor inversión fueron las energías renovables, con US\$ 366 mil millones (6,5% de aumento *vis a vis* 2020) y el transporte electrificado, con US\$ 273 mil millones (77% más que en el año 2020). Por otra parte, las empresas de tecnología climática obtuvieron US\$ 165 mil millones en financiamiento vía mercados públicos e inversores privados.

Una mirada por región de las inversiones realizadas en 2021 revela que las mayores inversiones se realizaron dentro de Asia-Pacífico (US\$ 368 mil millones) con un crecimiento del 38%, siendo el transporte eléctrico el mayor impulsor. Como se observa en el gráfico 3, en América, la inversión durante 2021 en transición energética creció un 21% hasta alcanzar los US\$ 150 mil millones de dólares. En Europa, Oriente Medio y África, la inversión en la transición energética creció un 16% en el mismo año, alcanzando los US\$ 236 mil millones y el gasto en transporte eléctrico se disparó un 46%. (Bloomberg, 2022).

Gráfico 3. Participación de la inversión por región en el despliegue de tecnologías energéticas con bajas emisiones de carbono. Año 2021.



Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a Bloomberg.

A continuación, se enumeran en detalle las necesidades de metales y minerales estimadas por la IEA (2021) para las energías bajas en carbono, las redes eléctricas, las baterías y vehículos e hidrógeno hacia 2040.

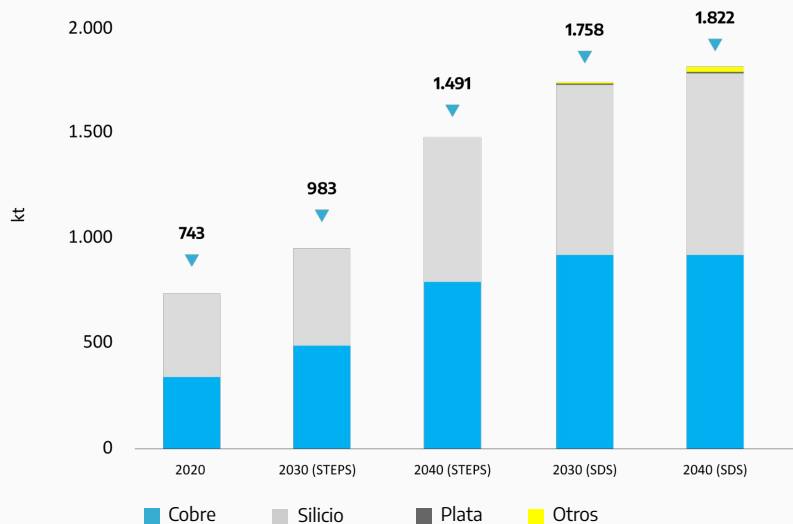
Energías bajas en emisiones de carbono

• Energía solar fotovoltaica

Esta fuente de energía muestra un sólido crecimiento en ambos escenarios a partir de 2022, pasando a representar el 45% de la potencia total adicional de capacidad para 2040. Para las plantas solares fotovoltaicas a gran escala, las diferencias en las cantidades de los minerales provienen principalmente de los tipos de módulos. Los módulos de silicio cristalino (c-Si) se han convertido en la tecnología fotovoltaica dominante, seguidos por las alternativas de "película delgada" compuesta por telururo de cadmio (CdTe), diseleniuro de cobre, indio y galio (CIGS) y silicio amorfo (a-Si). Por peso, los paneles fotovoltaicos de c-Si suelen contener alrededor de un 5 % de silicio (células solares), un 1 % de cobre (interconectores) y menos de un 0,1 % de plata y otros metales. Es importante remarcar que la innovación en la fabricación y el diseño de paneles c-Si durante la última década ha contribuido a grandes reducciones en la cantidad de los materiales. Desde 2008, la proporción del silicio disminuyó sustancialmente a más de la mitad del grosor de la oblea[1] [2] (Fraunhofer ISE, 2020), mientras que el requerimiento de plata cayó un 80% gracias a pastas de metalización más eficientes (ITRPV, 2020). Dado que el silicio y la plata se encuentran entre los elementos más caros en células fotovoltaicas solares, se espera que los requerimientos continúen con reducciones adicionales hacia 2030 de alrededor del 25% y 30% para silicio y plata respectivamente.

Se observa que, en el SDS, las adiciones de capacidad en 2040 triplican las de 2020, lo que supone casi triplicar la demanda de cobre. Las adiciones de capacidad en 2040 en los STEPS son un 25% menores que en los SDS.

Gráfico 4. Demanda de metales para energía solar fotovoltaica por escenario (2020-2040).



Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.



● Energía eólica

La capacidad instalada mundial de energía eólica estuvo cerca de cuadruplicarse en la última década (2010-2020), la misma fue estimulada por la caída de los costos que, en promedio, han disminuido alrededor del 40% a nivel mundial[1] (IEA, 2020). Tanto en STEPS como en SDS, la energía eólica presenta un fuerte crecimiento traccionado por la maduración de la industria eólica marina y de los desarrollos en la energía eólica terrestre. En estas últimas, el tamaño creciente de las turbinas contribuye al aumento de la capacidad y a las reducciones en el uso de materiales. En este sentido, el tamaño de las turbinas terrestres creció considerablemente, desde una ponderación global promedio de 1,9 megavatios (MW) en 2010 a 2,6 MW en 2018 (IRENA, 2019). El tamaño de la turbina aumentó aún más rápidamente en la energía eólica marina, con una potencia instalada nominal media de 5,5 MW en 2018, en comparación con los diseños de turbinas más nuevos que ofrecen capacidades de 10-14 MW. Se esperan turbinas aún más grandes en los próximos años, pudiendo alcanzar los 20 MW en el futuro cercano.

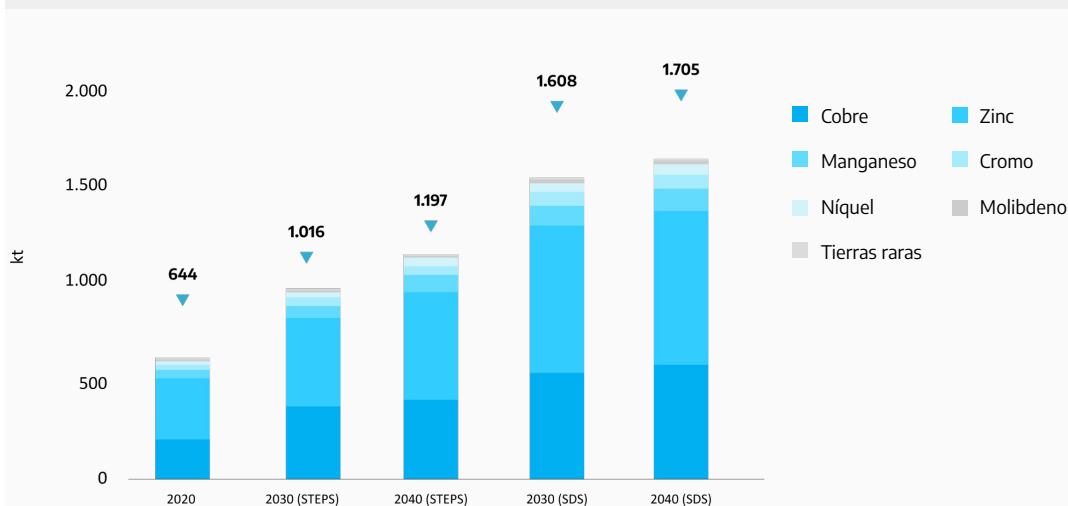
La intensidad en el uso de metales no sólo depende del tamaño de la turbina sino también del tipo de turbina.[2] Hay cuatro tipos principales: (i) generador de inducción de doble alimentación (GB-DFIG), (ii) generador sincrónico de imanes (GB-PMSG), (iii) generador sincrónico de imanes de accionamiento directo (DD-PMSG) y (iv) generador sincrónico estimulado eléctricamente de accionamiento directo (DD-EESG).

El mercado de la energía eólica terrestre (*on-shore*) está dominado actualmente por generadores tipo GB-DFIG, representando más del 70% del mercado mundial. Sin embargo, los DD-PMSG duplicaron su cuota de mercado en los últimos 10 años desde alrededor del 10% en 2010 al 20% en 2020. En el sector *offshore*, las turbinas DD-PMSG son la principal opción con alrededor del 60% del mercado a nivel mundial. Al requerir turbinas más altas y más grandes, los sitios eólicos marinos generalmente optan por configuraciones DD-PMSG debido a su eficiencia y ligereza. A medida que las turbinas se hacen más grandes y por ende aumenta la potencia por torre, las configuraciones más ligeras y eficientes de las tecnologías PMSG son cada vez más preferibles respecto a otras tecnologías. En este sentido, en el escenario base (STEPS), las tecnologías PMSG representan alrededor del 95% del mercado *offshore* en 2040 y el 40% del mercado terrestre.

En cuanto a los requerimientos, en el SDS la demanda de tierras raras -como neodimio y el praseodimio- se triplicará con creces de aquí a 2040, impulsada por la duplicación de la capacidad anual añadida y el cambio hacia turbinas con imanes permanentes. La demanda de cobre alcanzará las 600 kt al año en 2040, impulsada por la eólica marina que requiere un mayor cableado (la eólica marina representa casi el 40% de la demanda de cobre de la energía eólica a pesar de representar sólo el 20% del total de la capacidad añadida). Por otro lado, en el STEPS la demanda de tierras raras se duplica de aquí a 2040 y el cobre alcanzaría las 415 kt.

Sin embargo, el uso creciente de tierras raras, especialmente en la energía eólica y para los vehículos eléctricos, podría acarrear problemas en el suministro de estos elementos, llevando a que los fabricantes cambien gradualmente a tecnologías no magnéticas adoptando configuraciones híbridas. Así, la demanda de neodimio en el SDS se limita a unas 8.000 toneladas en 2030. Los elementos praseodimio y disprosio, por su parte, disminuirían su demanda un 15% y un 32% respectivamente en 2040 en comparación con el caso base.



Gráfico 5. Demanda de metales y REE para energía eólica por escenario, 2020-2040.

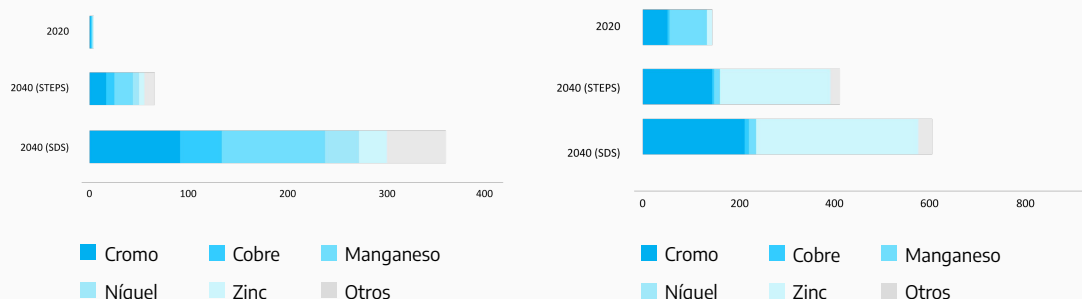
Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

La expansión de la **energía solar de concentración** (CSP, por sus siglas en inglés) generará aumentos en la demanda de cromo, cobre, manganeso y níquel. Entre 2020 y 2040 en el SDS, la demanda de cromo de CSP^[2] crece 75 veces (a 91 kt), la demanda de cobre 68 veces (a 42 kt), la demanda de manganeso 92 veces (a 105 kt) y la demanda de níquel 89 veces (hasta 35 kt). En el STEPS, la demanda de todos los metales anteriormente mencionados alcanza las 65,8 kt.

La demanda de metales para la **energía geotérmica** se cuadruplica entre 2020 y 2040 en el SDS. En este sentido, a pesar de representar menos del 1% de todas las adiciones de capacidad de energía baja en carbono en 2040, la energía geotérmica requiere de una gran cantidad de níquel, cromo, molibdeno y titanio. De la demanda total de metales de todas las fuentes de energía con bajas emisiones de carbono en 2040, la geotermia representa el 80 % de la demanda de níquel, casi la mitad de la demanda total de cromo y molibdeno y el 40 % de la demanda de titanio. En tanto que en STEPS el incremento es menor, pero llegando a triplicarse respecto del 2020.

^[2] Existen dos tipos de CSP: los colectores parabólicos y las torres centrales. Ambos representan la mayor parte de las instalaciones planificadas y proyectadas. Los sistemas de colectores parabólicos dirigen la radiación solar a un tubo que contiene un fluido de intercambio de calor a lo largo de un espejo parabólico. Los sistemas de torre central reflejan y dirigen la radiación solar a una torre receptora centralizada que contiene un fluido de intercambio de calor.

Gráfico 6. Demanda de metales para Energía Solar de Concentración y Energía Geotérmica (2020-2040). En Kt.



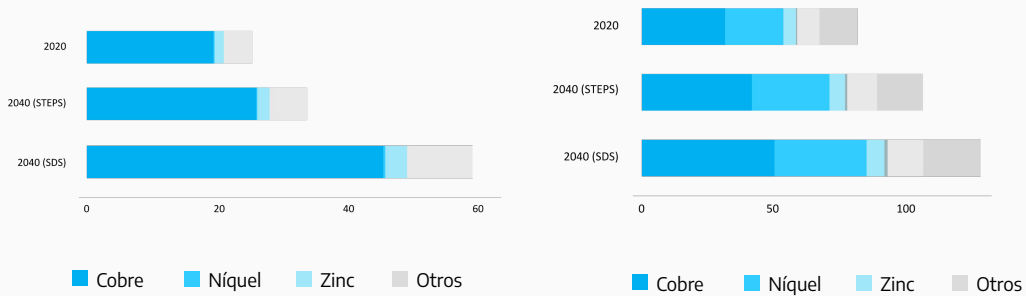
Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

Por el contrario, la **energía hidroeléctrica y la bioenergía** tienen una necesidad metalífera relativamente baja en comparación con otras fuentes de energía renovable. Representan, cada una, alrededor del 2% de la demanda total de cobre y el 11% de la demanda de cromo para todas las adiciones de capacidad de energía baja en carbono en 2040 bajo el escenario SDS. Para STEPS la demanda es un 20% menor que para SDS.

Específicamente, la energía hidroeléctrica es la mayor fuente renovable de electricidad, explicando el 17% de la generación mundial en el año 2020. Por ello, si bien proporciona una gran flexibilidad al sistema energético, su nivel de participación en las adiciones de capacidad total de energía continúa descendiendo en el SDS hasta 2040 por los altos costos de capital y las limitaciones geográficas. En este escenario, las adiciones de capacidad para 2040 son un 70% mayor que en 2020 y serán traccionadas por Asia Pacífico (casi 60% de las adiciones totales de capacidad acumulada), lo que representa el crecimiento relativo más bajo entre todas las fuentes renovables.

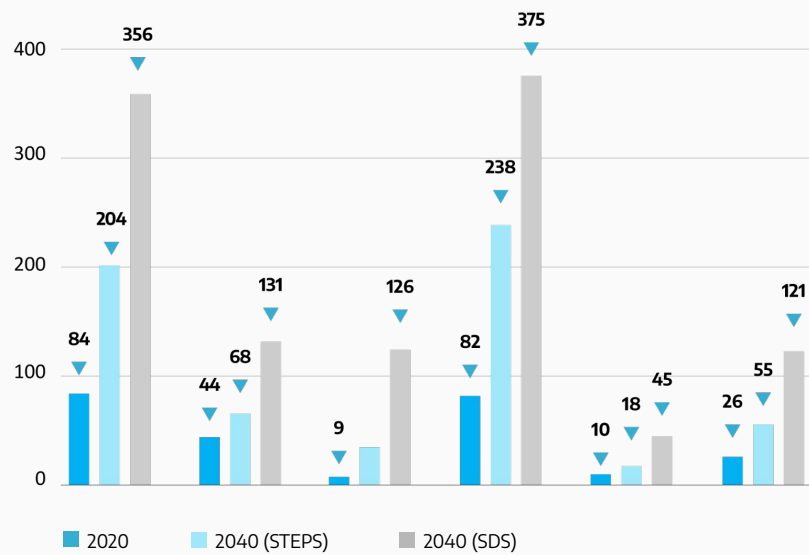
La **bioenergía** ha generado al día de hoy una cantidad de electricidad que en magnitud se compara con la generada por la energía solar fotovoltaica en el año 2019. En el SDS la generación por esta vía se triplica para 2040 a 2.150 teravatios hora (TWh) y la capacidad instalada asciende a 420 GW siendo China, EE.UU. y Rusia quienes representan más de la mitad de las adiciones de capacidad acumulada a 2040. En cuanto a la demanda de metales, la bioenergía utiliza principalmente cobre en una magnitud similar al resto de energías limpias (2.270 kg/MW en 2019), lo que representa el 2,5% de la demanda total de cobre de todas las fuentes de energía bajas en carbono en 2040. Además, demanda niveles significativos de titanio (400 kg/MW), en niveles superiores al resto de energías (con excepción de la geotérmica). En este sentido, la demanda de titanio por parte de la bioenergía representará casi el 60% del total demandado por energías bajas en carbono para 2040. En general, combinado con su modesto crecimiento de capacidad, es poco probable que enfrente restricciones significativas de suministro de metales.

Gráfico 7. Demanda de metales para Bioenergía e Hidroeléctrica (2020-2040). En Kt.



Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

Gráfico 8. Demanda total de metales para otras energías renovables, en kt.

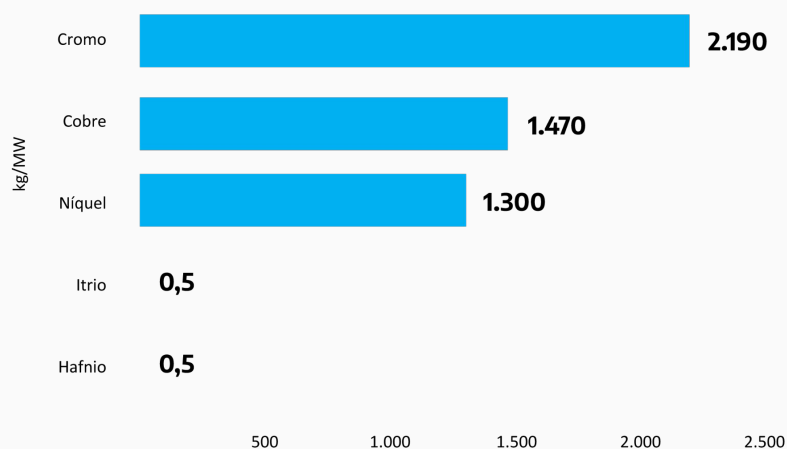


Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

● Energía nuclear

La energía nuclear es la segunda fuente más grande de energía baja en carbono y en el año 2020 representó alrededor del 10% de la generación de electricidad mundial. De acuerdo a lo proyectado por IEA 2021, el crecimiento de la capacidad instalada mundial de este tipo de energía crece modestamente hasta 2040 (un 15% en STEPS y un 45% en SDS en comparación con 2020). Este crecimiento se explica por la mayor demanda de energía nuclear en las economías emergentes que compensa la disminución de la capacidad en América del Norte y Europa. Junto con la energía hidroeléctrica, la nuclear es una de las tecnologías bajas en carbono con menor contenido de metales. Las principales necesidades de metales incluyen cromo (2.190 kg/MW), cobre (1.470 kg/MW), níquel (1.300 kg/MW), hafnio (0,5 kg/MW) e itrio (0,5 kg/MW) (ver gráfico 9). A pesar de lo recién mencionado, es importante señalar que los combustibles nucleares también utilizan uranio como insumo primario.

Gráfico 9. Demanda de metales en la energía nuclear.

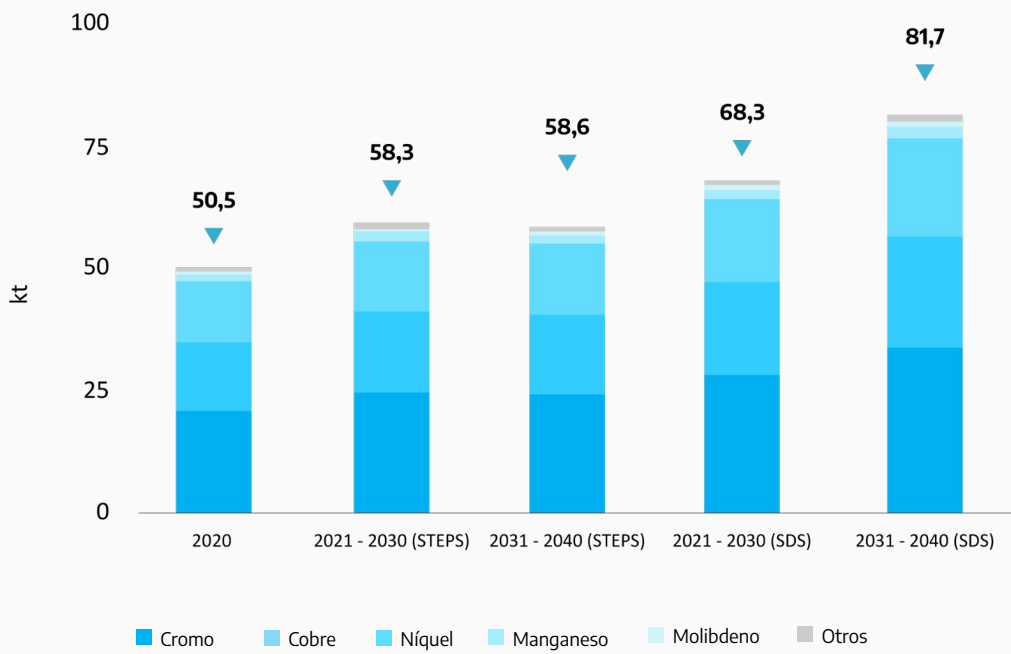


Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

Teniendo en cuenta la evolución de la tecnología aplicada, es poco probable que haya reducciones drásticas en la intensidad de uso de los metales en las próximas décadas.

En la SDS, la demanda media anual de minerales de la energía nuclear entre 2031 y 2040 (ver gráfico 10) crece alrededor de un 60% en comparación con los niveles de 2020 alcanzando las 82 kt., concentrándose en cromo (42%), cobre (28%) y níquel (25%).

Gráfico 10. Demanda media anual de metales para la energía nuclear por escenario, 2020-2040.



Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

● Redes eléctricas

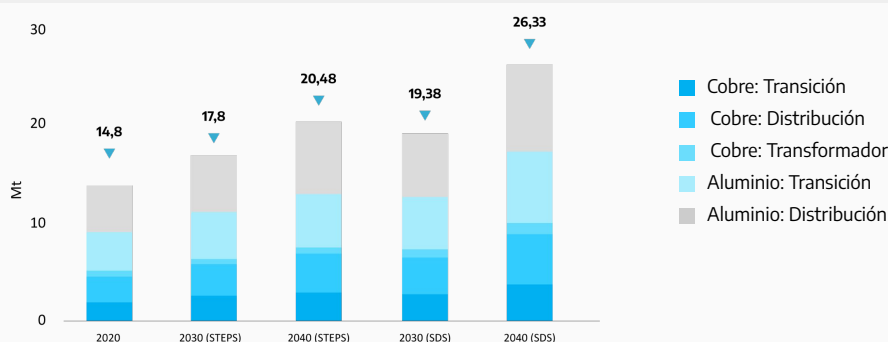
La red eléctrica global posee más de 70 millones de km de líneas de transmisión y distribución y por tanto es la columna vertebral del sistema energético actual. Los sistemas de distribución desempeñan un papel cada vez más importante en la integración de la energía solar fotovoltaica residencial y la capacidad eólica terrestre, además de su función tradicional de suministrar electricidad a los usuarios finales de la región. Un sistema energético limpio - con un papel cada vez más importante en el consumo final, un aumento en la contribución de las energías renovables y una mayor flexibilidad en la oferta, requiere sin dudas, de una expansión significativa de las redes eléctricas.

En este sentido, el requerimiento proyectado para nuevas líneas de transmisión y distribución durante la próxima década en todo el mundo, es en STEPS, un 80% mayor que la expansión observada en los últimos diez años. La importancia de las redes eléctricas es aún mayor en el caso de transiciones energéticas más rápidas. Considerando el escenario SDS, el ritmo anual actual de expansión debería más que duplicarse en el período hasta 2040. Se estima que alrededor del 50% del aumento en las líneas de transmisión y el 35% del aumento en las líneas de la red de distribución son atribuibles al aumento de las energías renovables. También se proyecta la renovación de redes para fortalecer la resiliencia de los sistemas eléctricos al cambio climático y para aumentar la digitalización.

Lógicamente, la expansión mencionada requiere una gran cantidad de metales, principalmente cobre (150 Mt anuales aproximadamente) y aluminio (210 Mt anuales aproximadamente). En el caso del cobre, este es ampliamente utilizado para aplicaciones subterráneas y submarinas, donde su mayor peso (respecto al aluminio) no genera inconvenientes y donde a su vez, se aprovecha sus propiedades técnicas como, por ejemplo, resistencia a la corrosión, resistencia a la tracción, etc. Por el contrario, el aluminio se usa comúnmente para líneas aéreas debido a su ventaja en peso (más liviano en relación al cobre), aunque en algunos casos, también se utiliza para cables subterráneos y submarinos.

Las estimaciones realizadas por IEA 2021, indican que la demanda anual de cobre para redes eléctricas crece de 5 Mt en 2020 a 7,5 Mt para 2040 en STEPS, y más del doble (casi 10 Mt) en el SDS (Gráfico 11). En el caso de la demanda de aluminio, la misma aumenta a un ritmo anual similar, de 9 Mt en 2020 a 13 Mt en el STEPS y 16 Mt en el SDS para 2040. En cuanto a su composición, las líneas aéreas representan la mayor parte de la expansión futura, aunque la aplicación subterránea y submarina requieren un mayor contenido de metales por unidad de longitud.

Gráfico 11. Demanda de cobre y aluminio para redes eléctricas por escenario, 2020-2040.



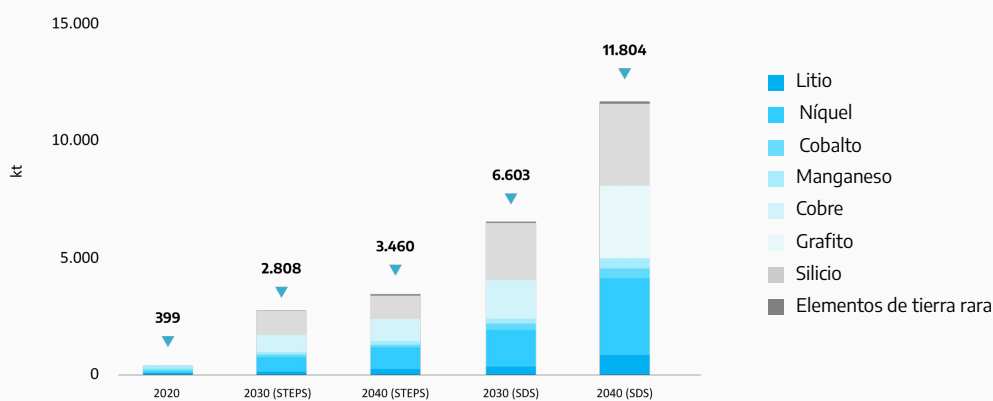
Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

● Vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía

Los vehículos eléctricos son parte fundamental para la transición de energías limpias. En este sentido, las ventas de automóviles eléctricos en todo el mundo aumentaron un 40% en 2020, alcanzando una cuota de mercado superior al 4% (IEA, 2021). Como resultado, más de 10 millones de autos eléctricos circulan en todo el mundo. Sin embargo, para lograr los objetivos climáticos globales, la cuota de mercado debe aumentar alrededor del 40% para 2030, junto con la electrificación de vehículos comerciales ligeros, autobuses y camiones de carga. En el SDS, las ventas totales de automóviles eléctricos superan los 70 millones para 2040, acompañados por la rápida electrificación de vehículos comerciales ligeros, autobuses y camiones de carga. Ello implica una necesidad de metales y minerales para 2040 casi 30 veces más grande que en el año 2020. A su vez, la demanda de litio y níquel crece alrededor de 40 veces. En el caso de la instalación global de **sistemas de almacenamiento de energía**, la misma aumentará 25 veces entre 2020 y 2040, explicada por los servicios públicos con un despliegue anual de 105 GW para 2040. Respecto a los países que liderarán el mercado hacia 2040 para el desarrollo de baterías, se encuentran India, Estados Unidos y China.

Actualmente, las baterías se fabrican con iones de litio^[3], aunque debido a las mejoras significativas en la eficiencia energética y a la caída de los precios, probablemente requerirán mejores tecnologías como las basadas en electrolitos líquidos. Este tipo de tecnología puede avanzar a partir de la posible manipulación del ánodo de metal de litio para las baterías de estado sólido (ASSB) y estarían disponibles para su comercialización a partir de 2030. En el SDS, la demanda de batería de los vehículos eléctricos crece casi 40 veces entre 2020 (160 GWh) y 2040 (6200 GWh). La demanda general de minerales y metales según los supuestos del caso base aumenta 30 veces entre 2020 y 2040, de 400 kt a 11.800 kt. En el STEPS, la demanda de baterías de los vehículos eléctricos crece 11 veces hasta casi 1.800 GWh en 2040, y la demanda de minerales y metales se multiplica por nueve hasta alrededor de 3.500 kt en 2040.

Gráfico 12. Demanda total de metales, minerales y REE para la venta de vehículos eléctricos nuevos, por escenario (2020-2040).



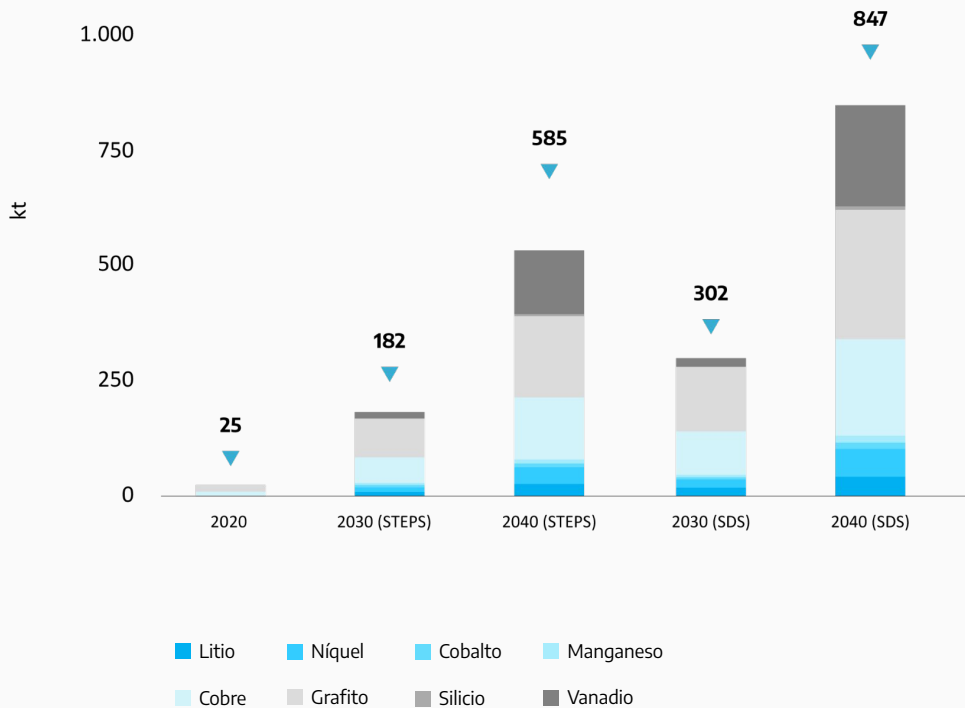
Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

^[3] Las baterías de iones de litio pueden clasificarse de acuerdo a la química de sus cátodos como fosfato, hierro y litio (LFP), óxido de litio, níquel, cobalto y aluminio (NCA) y óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto (NMC).

Por mineral, en el SDS se demanda 41 veces más de níquel hasta 3.300 kt en 2040, mientras que el cobalto lo hace en una magnitud menor a medida que la química del cátodo se desplaza hacia un uso menos intensivo de este metal. La demanda de litio crece 43 veces, la de cobre 28, la de REE aumenta 15 veces hasta alcanzar 35 kt en 2040 y la de grafito crece de 140 kt en 2020 a más de 3.500 kt en 2040. El silicio registra el mayor crecimiento relativo ya que los ánodos de grafito dopados con silicio pasan a presentar una participación del 1% en 2020 al 15% en 2040.

En términos agregados, la demanda de minerales y metales para el almacenamiento de baterías [1] en el SDS crece más de 30 veces entre 2020 y 2040, y la demanda de níquel y cobalto aumenta 140 (de 0,4 kt en 2020 a 57 kt en 2040) y 70 veces, respectivamente. Mientras que la demanda de manganeso aumenta 58 veces. En el SDS, las baterías de almacenamiento se multiplican por 11 entre 2020 (37 GWh) y 2040 (420 GWh). La demanda general de minerales y metales en el caso base crece 33 veces entre 2020 y 2040, de 26 kt a casi 850 kt. La demanda global de minerales y metales supera el crecimiento de la demanda de baterías, ya que la participación de mercado de las baterías LFP se ve desplazada por las químicas de NMC más intensivas en minerales y metales.

Gráfico 13. Demanda total de metales y minerales para la adicción de almacenamiento de baterías, por escenario (2020-2040)

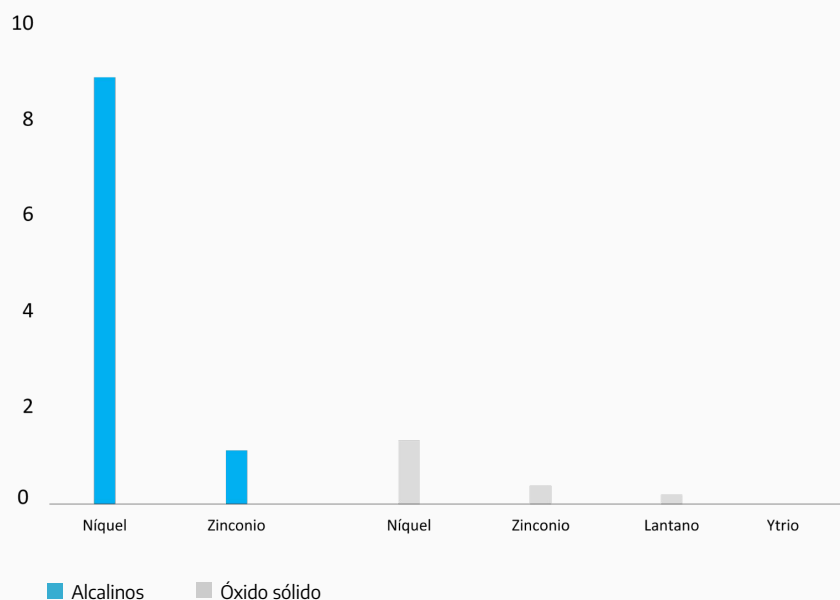


Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

● Hidrógeno

La capacidad de los electrolizadores para la producción de hidrógeno con bajo contenido de carbono aumentará alrededor de 1.400 GW en 2050 en el SDS. En comparación con el nivel actual de fabricación de electrolizadores -cuya capacidad de producción es inferior a 5 GW en todo el mundo-, se comprueba que el aumento pronosticado requerirá una mayor cantidad de insumos minerales y de metales. En términos tecnológicos, los electrolizadores que se utilizan son: (i) alcalinos, que son los más utilizados por su bajo costo de capital (en parte porque evitan el uso de metales preciosos), aunque los diseños actuales requieren níquel en cantidades superiores a una tonelada por MW,^[4] (ii) de membrana de intercambio de protones (PEM) que son más costosos aunque su utilización ya se está implementando en grandes instalaciones ya que son más pequeños y flexibles^[5] y (iii) de óxido sólido que se encuentran en una etapa más incipiente de desarrollo aunque su mayor eficiencia y reversibilidad lo convierten en una opción potencialmente atractiva. Al igual que los electrolizadores alcalinos, estos utilizan níquel, así como REE (i.e. lantano, itrio y circonio). A pesar de tener un impacto marginal en la demanda total de energía en el SDS, los requisitos de metales de los electrolizadores son un componente de costo significativo y esto podría afectar su competitividad si los precios de los insumos aumentan en respuesta a la demanda, por ejemplo, de baterías, pilas de combustible y otras tecnologías de energía limpia.

Gráfico 14. Estimación de la demanda de metales y REE seleccionados en electrolizadores, en Kg por GWh.



Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

^[4] Sin embargo, aunque los electrolizadores alcalinos dominen el mercado, la demanda de níquel para los electrolizadores seguiría siendo muy inferior a la de las baterías en el SDS.

^[5] Aunque los PEM utilizan más metales preciosos que los alcalinos -por ejemplo, alrededor de 0,3 kg de platino por MW en la actualidad- no se espera que se conviertan en una fuente dominante de demanda de platino e iridio, ni siquiera a los niveles de despliegue en la SDS.

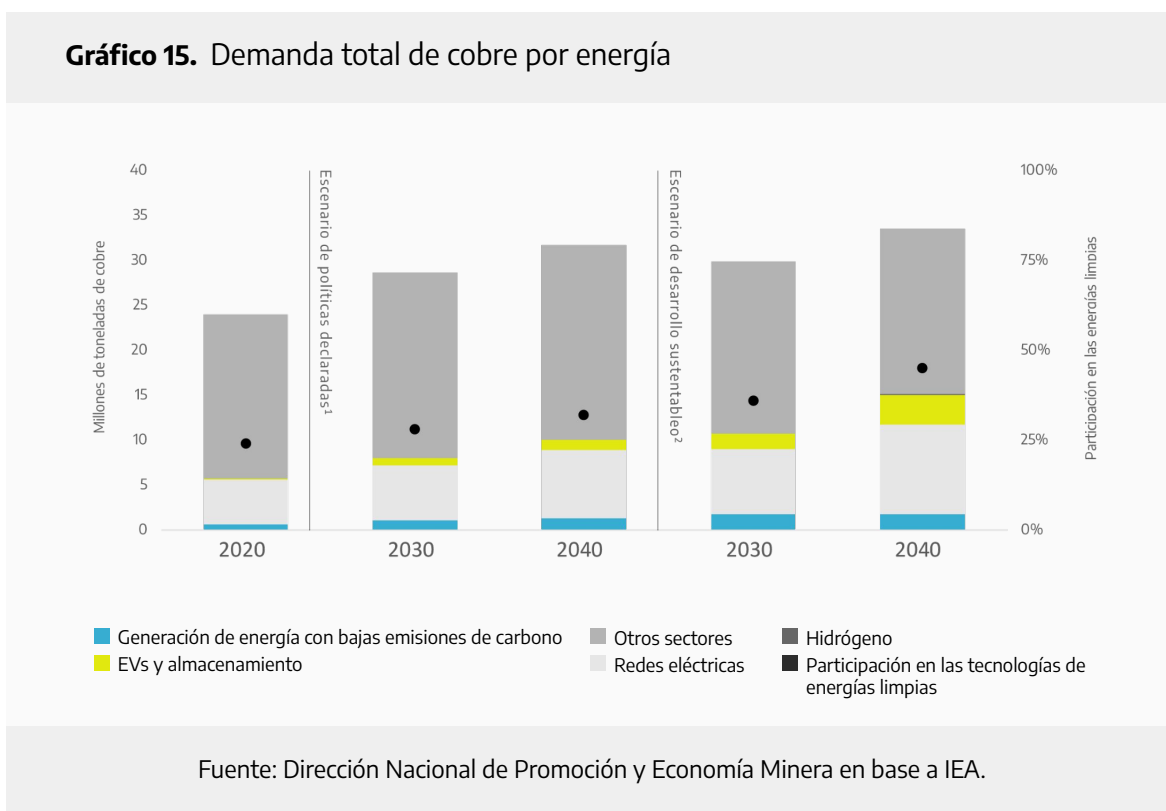
Demanda agregada por metal

En esta sección se ofrece un detalle de la demanda agregada proyectada por IEA para los principales metales, y elementos tierras raras (REE, sus siglas en inglés) junto a las proyecciones respecto a su suministro.

- **Cobre**

Gracias a su alta conductividad térmica y eléctrica, el cobre se utiliza en una amplia gama de aplicaciones electrónicas e industriales. Se destaca su uso en la generación de energía con bajas emisiones de carbono, redes eléctricas, baterías y automóviles eléctricos e hidrógeno. La parte occidental de Sudamérica, especialmente Chile y Perú, es el mayor productor de cobre, responsable del 40% de la producción mundial. China, Estados Unidos y Australia son otros países productores, siendo China el mayor país refinador con una cuota de mercado cercana al 50%, seguido de Chile, Japón y Rusia. Sin embargo, debido a que la demanda china de cobre refinado excede lo producido (50% de la demanda mundial), debe importar refinado desde el extranjero.

Gráfico 15. Demanda total de cobre por energía



En el gráfico 15, la demanda total de cobre entre los años 2020 y 2040, tiene un incremento del 32% en el STEPS, pasando de 24 Mt a 31,7 Mt. Por su parte, en el SDS se proyecta que la demanda para el año 2040 será de 33,5 Mt, lo que equivale a un aumento del 39,6% comparado con el año 2020.

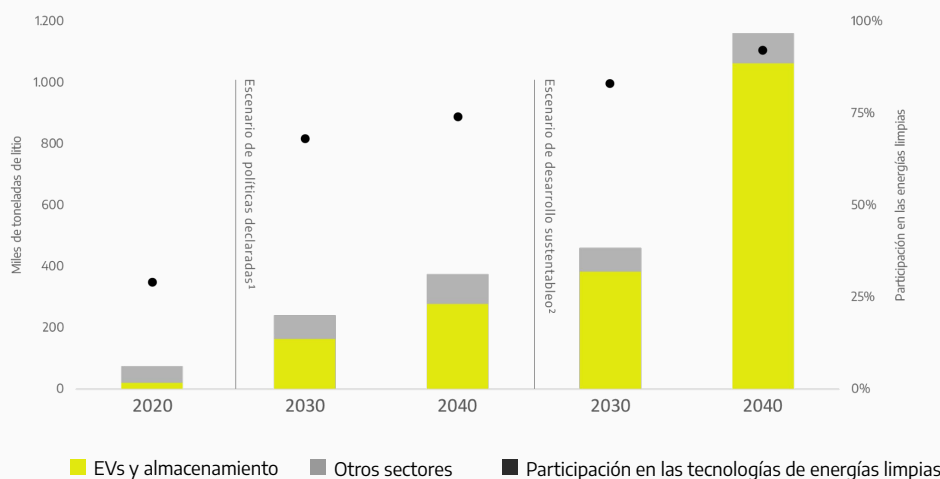
● Litio

La demanda de litio, para tecnologías de energía limpia, es la de mayor crecimiento en comparación con el resto de los minerales. Mientras que otros minerales utilizados en los vehículos eléctricos (por ejemplo, el cobalto y el níquel) están sujetos a incertidumbre en torno a las diferentes opciones químicas, la demanda de litio es menos susceptible a correr este riesgo, con ventajas adicionales si se adoptan ampliamente las baterías de estado sólido. En relación a la participación, las tecnologías de energías limpias representan hoy en día alrededor del 30% de la demanda total de litio (frente a una cuota minúscula en 2010), y la rápida implantación de los vehículos eléctricos eleva la cuota a cerca del 75% en el STEPS y a más del 90% en el SDS para 2040. Aunque el carbonato de litio es actualmente el principal producto químico utilizado en los vehículos eléctricos, se espera que el hidróxido de litio incremente significativamente su participación, ya que es más adecuado para los cátodos de las baterías con alto contenido de níquel.

El litio procede de dos tipos de recursos muy diferentes, salmuera y espodumeno, donde Chile y Australia son los principales productores de ellos respectivamente. Tanto la mayor mina como el mayor centro de producción de salmuera, Greenbushes en Australia y el Salar de Atacama en Chile, están ampliando su capacidad de producción en más de 2,5 veces. Los volúmenes de producción previstos de las minas existentes y de los proyectos en construcción parecen capaces de cubrir la demanda prevista en el STEPS hasta finales de la década de 2020, pero no son suficientes para soportar el crecimiento de la demanda previsto en el SDS. Sin embargo, las nuevas tecnologías para recuperar el litio de los recursos no convencionales pueden desempeñar un papel importante en la próxima década. Por ejemplo, el tratamiento de los minerales arcillosos es más sencillo y requiere menos energía que el espodumeno.

El diagnóstico de constricción en el mercado del litio es compartido por Cochilco (2021), quien señala que se pasará de un relativo superávit de la oferta hasta 2019 a una progresiva estrechez que mantendrá el balance de mercado en tensión constante, generando que cualquier disrupción en la puesta en marcha o retrasos en nuevos proyectos y expansiones proyectadas, generen déficits temporales hasta al menos 2027. A partir de esta fecha prevén que la oferta no alcanzará a suplir la demanda, creando un déficit creciente.

Gráfico 16. Demanda total de litio por energía



Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

En el gráfico se observa que la diferencia entre los años 2020 y 2040 en la demanda total de litio en el STEPS significa un incremento del 409%, pasando de 73,4 Kt a 373,5 Kt. Por su parte, la demanda total de litio para el SDS presenta un aumento significativo ya que para el año 2040 son necesarias 1.160,7 Kt, lo que es explicado en su mayoría por la demanda de Evs y baterías. Por otra parte, el diferencial de demanda proyectada entre los dos escenarios es de 787,2 Kt de litio para el año 2040.

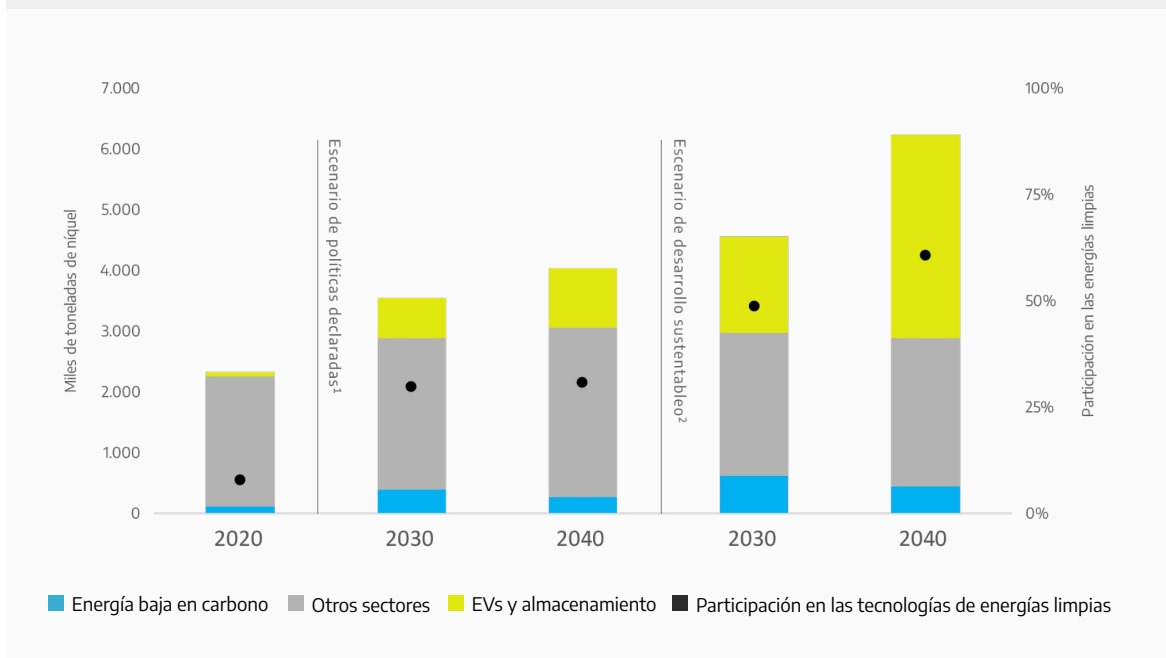


● Níquel

La extracción de níquel se encuentra concentrada en Indonesia y Filipinas. Estos países representan actualmente el 45% de la producción mundial y se espera que este dominio continúe, lo que sugiere que es muy probable que el futuro suministro de níquel se vea impulsado por una mayor producción en Indonesia. En enero de 2020 el gobierno de Indonesia implementó una prohibición en las exportaciones de mineral de níquel, con el objetivo de procesar su mineral en fundiciones nacionales (en lugar de exportar a China) y así alimentar una industria derivada. Esto obligó a los refinadores chinos a buscar nuevas fuentes de suministro de mineral en Filipinas o Nueva Caledonia, pero también a buscar oportunidades de inversión en Indonesia. Las empresas chinas invirtieron aproximadamente unos US\$ 30 mil millones en la cadena de suministro de níquel de Indonesia, siendo las inversiones de Tshingshan en los parques industriales de Morowali y Weda Bay los ejemplos más destacados.

En cuanto a su demanda, se espera un gran crecimiento en ambos escenarios impulsado por la producción de vehículos eléctricos y baterías, alcanzando en el 2040 un 31,4% de participación en la demanda por generación de energías limpias bajo el STEPS (respecto a un 8,4% en 2020) y un 60,9% bajo el SDS.

Gráfico 17. Demanda total de níquel por energía



Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

Los datos del gráfico 17 sobre la demanda total de níquel, muestran para el año 2020 un requerimiento de 2.340,56 Kt mientras que para el año 2040 en el STEPS se proyecta una demanda de 4.052,65 Kt, esto equivale a un aumento del 73% en la demanda. Por su parte, el SDS proyecta una demanda total de níquel para el año 2040 de 6265,74 Kt, lo que representa un incremento del 168% comparado con el año 2020. Esto último es explicado en su mayoría por el aumento de las EVs y baterías.



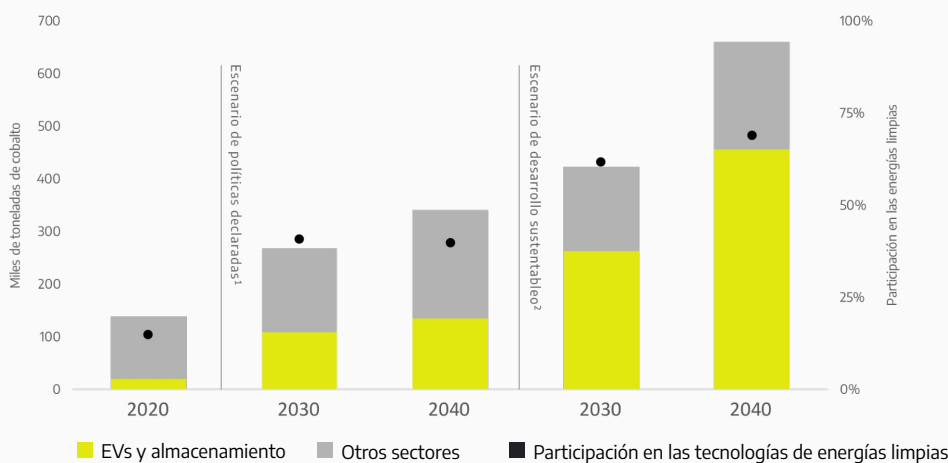
● Cobalto

La evolución de la demanda de cobalto depende en gran medida de la evolución de la química de los cátodos de las baterías que se inclina cada vez más hacia las que tienen un alto contenido de níquel, lo que podría traer como consecuencia una menor demanda de cobalto. Sin embargo, la fuerte aceptación de los vehículos eléctricos multiplica por siete la demanda de cobalto para las tecnologías de energías limpias en el STEPS y por más de veinte en el SDS hasta 2040.

La República Democrática del Congo (RDC) genera el 70% de la producción total de cobalto, como subproducto de sus minas de cobre. Esto trae aparejado una complicación dado que las decisiones de inversión para el desarrollo de nuevos proyectos no están necesariamente vinculadas a la dinámica del mercado del cobalto, sino que son más susceptibles a las condiciones del mercado del cobre y el níquel, lo que aumenta la incertidumbre sobre el suministro futuro. Vale destacar que los esfuerzos por adoptar métodos de procesamiento que maximicen la recuperación de cobalto pueden desempeñar un papel importante en la mitigación de los riesgos.

En la RDC, Glencore produjo alrededor del 40% de la producción del país en 2019, seguido de China Molybdenum. Alrededor del 10-20% de la producción de cobalto en la RDC se produce en forma de minería artesanal y de pequeña escala (ASM). China procesa alrededor del 70% del cobalto extraído en todo el mundo, seguida de Finlandia, Bélgica y Canadá. De acuerdo con las estimaciones realizadas por IEA en el año 2040 las energías limpias pasarán a representar el 40,9% del total de la demanda de cobalto en STEPS (frente al 15,18% en 2020). En el SDS, la demanda para energías limpias debería alcanzar el 69% del total demandado para este metal.

Gráfico 18. Demanda total de cobalto por energía



Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

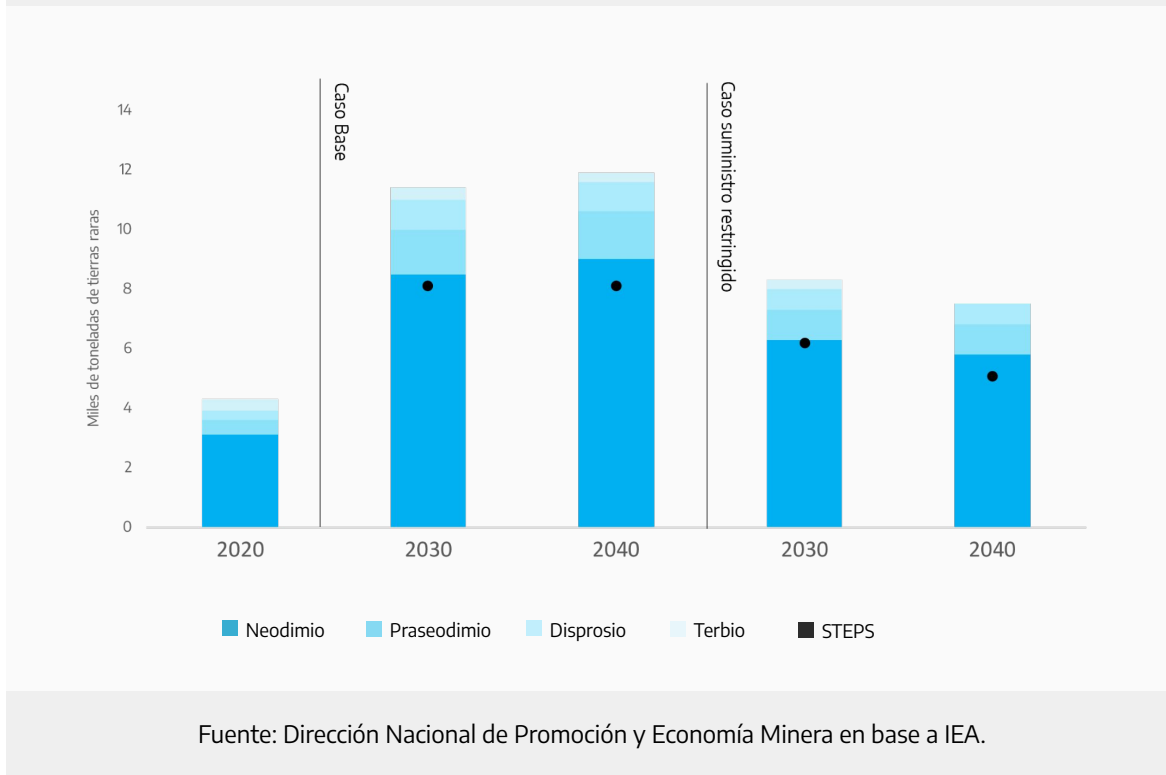
Al analizar la demanda total de cobalto entre periodos de tiempo, en el año 2020 se presentó una demanda de 140 Kt mientras que para el año 2040 en el STEPS, la misma se proyectó 341 Kt, esto significa un incremento del 144%. Por su parte, para el año 2040 en el SDS se espera un aumento mayor -372%- ya que la demanda proyectada es de 661 Kt, donde las EVs y baterías explican en gran medida dicho impacto.

● Tierras Raras - neodimio -

Las tierras raras (REE, por sus siglas en inglés) son un grupo de diecisiete elementos químicos de la tabla periódica. El grupo está formado por el itrio y los 15 elementos lantánidos (lantano, cerio, praseodimio, neodimio, prometio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio y lutecio). Aunque cada REE se utiliza en diferentes aplicaciones, el neodimio, disprosio, praseodimio y terbio son de especial importancia para el sector de la energía limpia. Desde mediados de los años noventa, China se ha convertido en un gran productor. Su participación en la producción mundial se elevó a más del 95% en 2010, y desde entonces su cuota ha descendido a poco más del 60% en 2019, ya que Estados Unidos, Myanmar y Australia empezaron a impulsar la producción (USGS, 2021). Sin embargo, las operaciones de separación y refinado siguen estando muy concentradas en China, con casi un 90% de cuota de mercado en 2019.

Dado el rápido aumento de la demanda prevista (pasando a representar el 24% en 2040 bajo el STEPS y un 41% de participación de las energías limpias en SDS), la producción tendría que aumentar tanto dentro como fuera de China. En este sentido, las nuevas tecnologías podrían ayudar a desbloquear la oferta adicional.

Gráfico 19. Demanda total de neodimio por energía



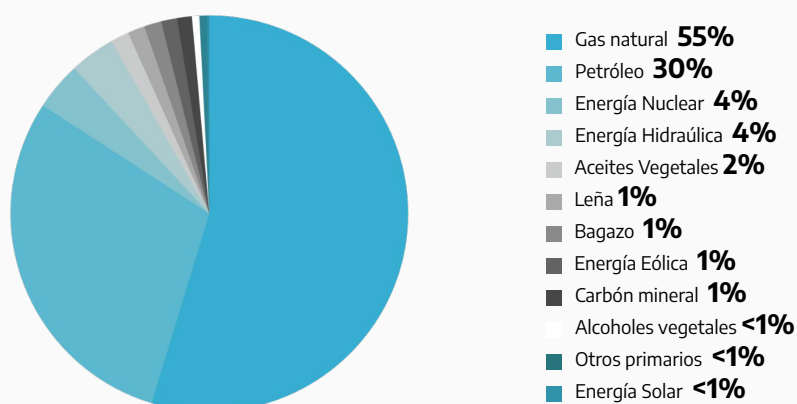
En el gráfico 19, la demanda total de neodimio en el año 2020 es de 31,1 Kt, mientras que para el año 2040 bajo el STEPS se proyecta en 69,9 Kt, lo significa un incremento del 124% entre dicho período de tiempo. Por su parte, en el SDS la demanda total prevista de neodimio sería de 89,6 Kt para el año 2040, representando un aumento del 188% comparado con el año 2020.

Escenarios energéticos 2030 para Argentina

Hasta aquí se analizó de forma sintética los puntos relevantes del informe de IEA en el que se observa el importante impulso que la transición energética (especialmente por parte de los vehículos eléctricos y las baterías) tendrá en la demanda de minerales y metales en los próximos 20 años. En esta sección, a través de información provista por la Secretaría de Energía de la Nación en su Informe “Escenarios energéticos para Argentina en el año 2030” (2019), se buscará comprender el estado actual del sistema energético argentino y sus posibles transformaciones a partir de las energías renovables.

La oferta primaria de energía de un país está compuesta de manera exclusiva por los recursos energéticos obtenidos, sin considerar ningún tipo de transformación ni transporte. Se distingue de la producción debido a que la oferta primaria contempla tanto la producción local, como las exportaciones y las importaciones. Para la Argentina, y como se observa en el gráfico, dicha oferta se encuentra concentrada en gas natural y petróleo que en conjunto representan más del 80% del total. En tercer y cuarto lugar, se encuentran la energía hidráulica y nuclear que, sumado a la energía eólica y solar representan el 9,1% de la oferta primaria de energía en el año 2020 (último dato disponible).

Gráfico 20. Participación en la oferta de energía primaria por componente para Argentina, en miles de toneladas equivalentes de petróleo (TEP). Año 2020.

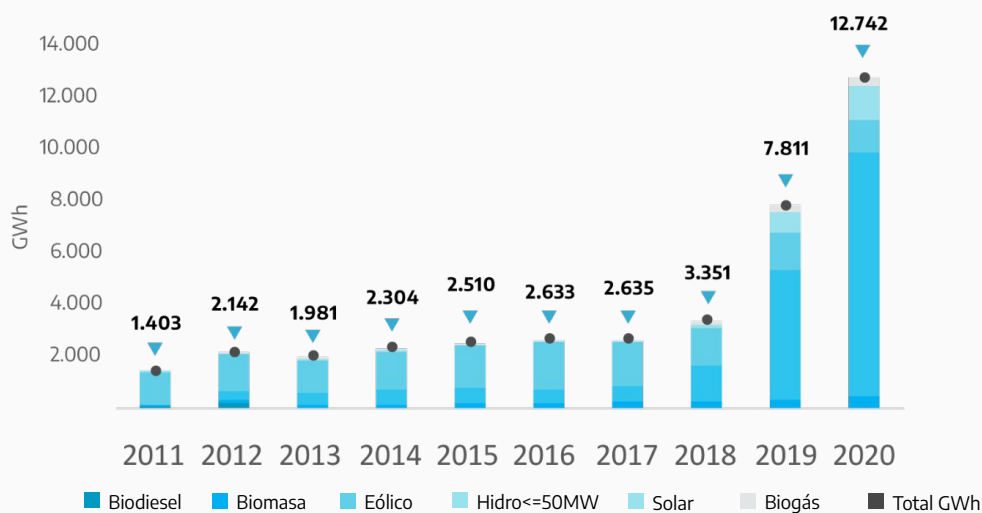


Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a Secretaría de Energía.

Base = 70.557.665 TEP.

En relación a la generación de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables se destaca que sólo en el año 2020, el aumento en la energía producida por estas fuentes fue del 63% respecto al año previo. Al interior de estas encontramos que en el año 2020 el 74% de la participación en la generación le corresponde a la energía eólica, seguido de la energía solar (13%), la hidroeléctrica (7%) y, en menor medida, la biomasa (4%) y el biogás (2%). En conjunto, el 10% de la demanda total del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) se abasteció con generación renovable.



Gráfico 21. Generación de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables (2011-2020).

Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.

En el trabajo mencionado de la Secretaría de Energía, se evalúan distintos escenarios de evolución de la matriz energética argentina para los años 2019 - 2030 partiendo de 2018 como año base. Para catalogar cada uno de los escenarios se los separó en dos grandes grupos: los de “políticas existentes” que incluyen al escenario “tendencial” y al “eficiente” y los de “políticas activas” que contiene los escenarios de “industrialización del gas natural” y “electrificación”. En el primer grupo se computan diversas políticas que se vienen llevando a cabo en los mercados energéticos. Específicamente, el escenario “tendencial” modela la demanda teniendo en cuenta su comportamiento en los últimos años bajo diversas estimaciones y un escenario “eficiente”, que incorpora las políticas de eficiencia energética en curso que impactarían sobre la demanda tendencial. Dentro de los escenarios de políticas activas, el de “electrificación” contempla una mayor penetración de la energía eléctrica en hogares y en el parque automotor, mientras que el escenario de “industrialización masiva del gas natural” asume una fuerte inversión en industrias de gas intensivas debido a una mayor disponibilidad del recurso y una mayor utilización del mismo en el transporte (GNC y GNL vehicular).

En todos los escenarios analizados se plantea un incremento considerable de la participación de energías renovables (hidroeléctrica, eólica, solar fotovoltaica, biocombustibles, biomasa y otros renovables) en la oferta interna total hacia 2030. En este sentido, su proporción relativa debería casi duplicarse en relación al año 2018. Dicho incremento debiera surgir como consecuencia del cumplimiento de la Ley 27.191^[6], que propone alcanzar el 20% de energía eléctrica en el año 2025 y un 25% para el año 2030, acompañado por un mayor corte efectivo en los biocombustibles, así como a la generación termoeléctrica de alta eficiencia.

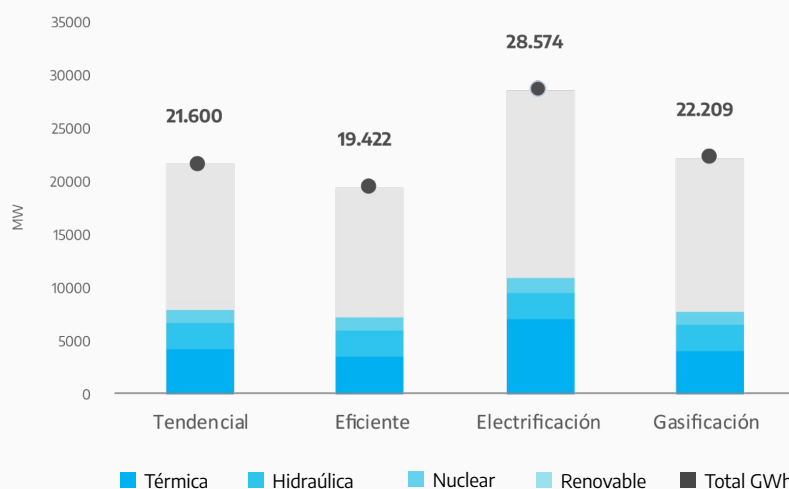
^[6] “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica”

La demanda de energía eléctrica se ha mantenido estable desde 2013, ubicándose entre los 130 TWh y 135 TWh. Para el período 2018-2030 la Secretaría de Energía estima un crecimiento anual acumulado del consumo eléctrico del 2,6%, alcanzando los 182 TWh en el escenario tendencial (reduciéndose a 161 TWh -1,6%- en el escenario eficiente). En el caso de los escenarios de políticas activas se destaca un fuerte incremento a partir de las medidas de electrificación masiva, alcanzando una demanda de 218 TWh (4,2%) en 2030.

En términos de cómo se modificará la participación de las energías renovables en la generación eléctrica total, el retorno de las operaciones de la central nuclear de Embalse junto con el comienzo de operaciones de la IV Central Nuclear (proyectada para 2028) impactarían en el crecimiento de participación de esta clase de energía. Por otro lado, la energía hidroeléctrica mantendría estable su participación relativa adhiriendo 2,5 GW de potencia. El incremento en la diversificación de la matriz de generación eléctrica reduciría la participación térmica (entre 32% y 43% en 2030 frente a 64% en 2018), la cual pasaría de ser un tercio libre de emisiones a ser aproximadamente dos tercios provenientes de fuentes limpias. Aun así, la participación de los hidrocarburos en la oferta interna total seguiría siendo considerable, alcanzando entre 81% y 82% de participación, dependiendo de cada escenario.

Respecto a los autos eléctricos, se espera que en ambos escenarios de políticas existentes (tendencial y eficiente) y en el de gasificación, 12% de las ventas automotores sean eléctricas. En el escenario tendencial la penetración de los nuevos autos eléctricos debería representar unos 88 mil vehículos para el año 2025 (3% de la venta total y 0,5% de participación en el parque automotor). Para el año 2030 esta cifra aumentaría hasta los 473 mil vehículos, representando el 12% de las ventas y el 2,2% del parque. Los mismos implican un consumo de 242 GWh en 2025 y 1,17 TWh en 2030, el 0,6% de la demanda eléctrica para este último año. En el caso del escenario de electrificación, este porcentaje debería ascender al 30% alcanzando los 1,2 millones de unidades en 2030 (5,6% del parque y 30% de las ventas) consumiendo 3,24 TWh (1,5% de la demanda eléctrica).

Gráfico 22. Incorporación proyectada de potencia y generación eléctrica bajo distintos escenarios. Año 2030. En Mw.



Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a IEA.



Políticas para potenciar la transición energética

En enero de 2022, se anunció el lanzamiento del Clúster Renovable Nacional, que buscará ampliar la oferta de energía eléctrica en línea con los objetivos de generar mayores fuentes de energías renovables. La conformación del organismo público-privado promoverá la creación de Parques de Generación Renovable y tendrá representación de seis provincias, en conjunto con la participación de cámaras empresarias del rubro. Su objetivo principal consiste en articular la oferta productiva nacional para la generación de 750 MW de energía renovable en los próximos dos años y 300 MW anuales a partir de 2024. La nueva generación de energía supone la sustitución del componente energético importado en US\$ 130 millones anuales y una reducción de 220 toneladas anuales en las emisiones de CO₂. La inversión estimada para el desarrollo de la propuesta será de aproximadamente US\$ 1.000 millones, con un componente nacional cercano al 50%. Además, el proyecto prevé la creación de 2.250 empleos directos y más de 4.000 indirectos, e impactará en 250 empresas pymes que conformarán la cadena de valor.

Otra de las iniciativas contempla la creación de un régimen especial de fomento para la oferta y demanda de tecnologías de movilidad no convencionales para el segmento de transporte público de pasajeros y los vehículos de la Administración Pública Nacional, con foco especial en los vehículos con baterías de litio. En este sentido, se apunta a cambiar el signo de la balanza comercial de la industria automotriz, hoy deficitaria, y a aumentar la producción local de vehículos de Movilidad Sustentable, sus componentes y partes, sus equipos auxiliares y nuevas tecnologías (Kulfas, 2021).



Posicionamiento del sector minero argentino

Argentina se posiciona tanto como productor de materias primas, como demandante de aquellas en las que no puede proveerse en el corto y mediano plazo. El litio, ubica al país en un lugar preponderante como productores de litio, al ser tercero en reservas de este mineral. El cobre, por ejemplo, está en vías de producirse y exportarse en el corto plazo con la construcción de proyectos avanzados.

En este apartado se da a conocer la oferta nacional de minerales demandados mundialmente para la transición energética y se discute el potencial desarrollo por sector en reservas.

• Litio

El metal cuya demanda está creciendo con mayor velocidad en la actualidad es, al mismo tiempo, el recurso para la transición energética que mayor potencial productivo presenta en Argentina: actualmente se producen 33.000 T de Carbonato de Litio (LCE) con un potencial de recursos de 19 millones de toneladas de Litio metálico. Los territorios nacionales con salmueras ricas en litio son Jujuy, Salta y Catamarca. Mientras que en Córdoba y San Luis se encuentran yacimientos pegmatíticos. En cuanto a los principales depósitos, se destaca la cuenca Olaroz-Cauchari, la de Hombre Muerto, Centenario Pastos Grandes y los distritos Ancasti, Altautina, Conlara, La Estanzuela.

Desde el 2020 a la actualidad, se han anunciado más de 4.000 M USD (González y Corvalán, 2022) en inversiones de capital, que contemplan ampliaciones en los proyectos actualmente operativos y la construcción de 6 nuevos proyectos. De esta manera, la capacidad productiva actual LCE de Argentina, pasaría de 37.500 a 246.500 toneladas anuales hacia el 2030.

• Cobre

Argentina en la actualidad no produce cobre, sin embargo, posee reservas de 75,42 millones de toneladas. La producción de cobre en territorio nacional presenta un gran potencial con proyectos actualmente en construcción o avanzados. Entre estos destacan: Josemaría, con 4,6 millones de toneladas de cobre en reservas en la provincia de San Juan que se encuentra por iniciar la etapa de construcción y el proyecto MARA, en Catamarca, con 5,3 millones de toneladas en reservas. Las provincias con yacimientos de este metal son San Juan, Catamarca, Salta, Mendoza, La Rioja, Neuquén y Chubut con once proyectos en cartera: MARA, Taca Taca, Josemaría, Pachón, Los Azules, San Jorge, Campana Mahuida, Lindero, Arizaro, Paramillos Juramento y Tordillos.

En lo que se refiere a materia de inversión el cobre ha sido tan destacado como el litio. Esto se debe a que la firma canadiense Lundin Mining, anunció una inversión de US\$ 4.200 millones para la construcción del proyecto Josemaría. Al entrar en producción en 2023, Josemaría producirá 136.000 t al año de cobre durante los 19 años de vida útil proyectada de la mina.



- **Níquel**

Este metal posee prospectos de expansión en su demanda, principalmente impulsados por el aumento en automóviles eléctricos, baterías y cañerías de acero inoxidable para captura y almacenamiento de CO₂. Actualmente en el país no hay producción de níquel y las reservas existentes son menores a las 10 mil toneladas. Los principales yacimientos son Las Águilas, Fiambalá y Sierra del Espinal comprendiendo las provincias de San Luis, Catamarca, La Rioja, Salta y Mendoza.

- **Cobalto**

En el caso del cobalto, al igual que el níquel, tampoco hay producción en Argentina en la actualidad, siendo las reservas del metal inferiores a las 5 mil toneladas. Los principales depósitos son King Tut, La Niquelina, Las Águilas, Fiambalá y Salamanca en las provincias de La Rioja, Salta, San Luis, Catamarca y Mendoza.

- **Tierras raras - neodimio -**

Este grupo de 17 elementos de la tabla periódica es otro compuesto de los que presenta gran potencial en el país en conjunto con el litio y el cobre. Actualmente no hay producción local de Tierras Raras (ETR) pero en recursos Argentina registra 190 mil toneladas de reservas. Los territorios comprendidos son Salta, Jujuy, San Luis, Santiago del Estero, San Juan, Córdoba y la plataforma continental de Buenos Aires con los depósitos de Distrito Rangel, Isis-Osiris-Ra, Rodeo de los Molles, Jasimampa y Valle Fértil.

- **Grafito**

El grafito es otro de los metales que presenta un incremento en su demanda debido a la transición energética por ser componente de baterías recargables y pilas de combustible de electrolito polimérico (PEM). En Argentina no se encuentra producción de este mineral y, se registran reservas en 37,5 mil toneladas en las provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza. Los tres principales depósitos son Los Dos, La Paraguaya y Pie de Palo.

- **Manganeso**

El manganeso, cuya demanda es requerida en ferroaleaciones (tuberías o industria automotriz) y baterías (cátodos), es otro mineral que representa un gran potencial en el país. Las reservas por 440 mil toneladas se encuentran en las provincias de Mendoza, Neuquén, Salta y Córdoba con los principales depósitos de Ethel, La Casualidad, Cerro Remate, Tres Lomitas y Fátima.

- **Zinc**

Este metal es principalmente demandado en la industria de energías renovables para la fabricación de turbinas eólicas. Argentina históricamente fue productora de zinc, sin embargo, la producción del metal se encuentra en franca disminución en la actualidad tras el cierre de la Mina Aguilar. En 2019 la producción fue de 14.876 toneladas habiendo 7 millones de toneladas de recursos. Si bien en la actualidad los principales depósitos son Pirquitas y Aguilar en Jujuy, hay numerosos proyectos que tienen Zinc como tercer, cuarto y quinto commodity. Estos son: El Fierro, Hualilán y Jagüelito en San Juan; El Quevar en Salta; La Providencia en Jujuy; Pingüino, La Manchuría y San José en Santa Cruz; San Roque en Rio Negro y Navidad en Chubut.

- **Cromo**

El cromo es demandado para la transición energética en la producción de baterías SOFC y turbinas terrestres. En Argentina en la actualidad no se explota este mineral y los recursos registrados hasta el momento son menores a las 500 toneladas. El mismo se encuentra distribuido en Córdoba, San Luis, Catamarca y Mendoza siendo los principales depósitos Cerro San Lorenzo, Los Permanentes, Los Guanacos y Distrito Salamanca.



Proyectos en Argentina

Las Águilas, San Luis – Cobre, Níquel y Cobalto

Las Águilas se encuentra a 40 km al NE de la ciudad de San Luis y a unos 200 km al este de la ciudad de Mendoza. Se trata de un yacimiento de sulfuros diseminados muy estudiado en las últimas décadas, y localizado en la faja de rocas máficas-ultramáficas de las Sierras Grandes de San Luis.

En los últimos 15 años, entes estatales y privados, realizaron múltiples trabajos para determinar la factibilidad económica de la explotación de **sulfuros polimetálicos (Cu, Ni y Co)**, **minerales de cromo** y de concentraciones anómalas de **metales del grupo del platino** (Pd, Pt, Os, Ir y Rh). La mineralización comprende *pentlandita* (un mineral de níquel), *calcopirita* (un mineral de cobre) y *pirrotita* (un sulfuro de hierro) junto con elementos del grupo del platino (PGE) y cantidades menores de cobalto y oro.

Es destacable la prospección minera hecha por la Dirección General de Fabricaciones Militares (DGFM) en la década del 70, en esta faja de rocas máficas-ultramáficas, cuyos resultados se encuentran en informes técnicos basados en trabajos geológicos, geofísicos y el análisis de los testigos de 10.000 metros de perforación.

Reservas y Recursos totales, 2011

	Recursos y Reservas	Ley (%)
Cobre	19.100 t	0,41
Níquel	18.500 t	0,41
Platino	18.300 oz	0,12
Paladio	21.300 oz	0,14
Cobalto	1.381 t	0,30
Oro	6.061 oz	0,41

Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a S&P Capital, 2022



Puna Operation (Pirquitas - Chinchillas), Jujuy - Zinc

El proyecto se encuentra en el departamento Rinconada, a 335 km al noreste de San Salvador de Jujuy y a 110 km de la localidad de Abra Pampa, en una altura superior a los 4.100 msnm. El acceso se realiza por medio de rutas provinciales, tanto desde la localidad de Susques (Rutas provinciales 74 y 74b) como desde Abra Pampa (Rutas provinciales 7 y 70).

Se trata de un yacimiento hidrotermal de **Ag-Sn-Zn** de edad miocena emplazado en sedimentitas ordovícicas pertenecientes a la Formación Acoite. La mineralización tiene tres tipos de ocurrencia: en vetas bien definidas alojadas en fracturas, diseminada en la roca de caja, y en sectores menores, en brechas hidrotermales.

Explotación Minera

El yacimiento tiene producción desde 1930. Primeramente, se explotó por métodos subterráneos (sistema de vetas, por cámara almacén) y posteriormente, en 2008, se comenzó con labores a cielo abierto (vetas, stockworks brechas y mineralización diseminada, por open pit).

El proyecto Puna, es actualmente propiedad de la empresa SSR Mining Inc., y está compuesto por la mina Chinchillas y la mina Pirquitas.

En marzo de 2016 se anunció la finalización de actividades de Mina Pirquitas, luego de 80 años de explotación. Chinchillas, por su parte, alcanzó la producción comercial en diciembre de 2018. Actualmente, Chinchillas suministra mineral a las instalaciones de procesamiento de Pirquitas, ubicadas a 40 km de distancia. Allí se produce un concentrado de plata-plomo y un concentrado de zinc que se envían a fundiciones internacionales.

Recursos y Reservas

Según el último Reporte Técnico presentado por SSR Mining Inc. en febrero 2022:

- Chinchillas cuenta con Recursos Medidos e Indicados de Zinc por 9.089 toneladas con una ley de 0,21%. Las Reservas Probadas y Probables suman 21.625 toneladas con una ley de 0,28 %.
- Pirquitas tiene Recursos Medidos e Indicados de Zinc por 117.480 toneladas con una ley de 4,46%.

Producción de Zinc (últimos tres años):

Zinc	2018	2019	2020	2021
Producción (t)	3.980	3.807	3.170	6.187
Grado	0,84	0,54	0,51	0,57
Recuperación	39,3	49,2	55,5	65,6

Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a S&P Capital, 2022

Mina Aguilar, Jujuy - Zinc

El proyecto Mina Aguilar se ubica en la ladera oriental de Sierra El Aguilar a 240 km de la ciudad de San Salvador de Jujuy y a unos 3.900 msnm.

La mineralización se clasifica como de tipo sedimentario exhalativo (SEDEX) con capas de sulfuros de plata, plomo y zinc, entre rocas silicoclásticas y pizarras con una sobreimpresión metasomática entre dos stocks intrusivos. Los cuerpos minerales ricos en galena, esfalerita y marmatita-pirita en forma de lentes, brechas hidrotermales, vetas menores y diseminación, definen la parte económica del yacimiento.

Aguilar es la mina más antigua del país con más de 90 años de producción continua. Actualmente se encuentra en mantenimiento.

A partir de 2005 Compañía Minera Aguilar (empresa argentina operadora) se incorpora al Grupo Glencore Internacional. En diciembre del 2021, Glencore comunicó el cese de las operaciones productivas tras completar la vida útil del proyecto. En diciembre del 2021, Minera Aguilar fue concedida a Grupo Integra Capital, lo que implicaría una reapertura de las operaciones, siendo este último, operador y responsable de las mismas. Nuevos targets como “El Toro” podrían explorarse en modalidad de *brownfield*.

Recursos y Reservas

Año	Reservas (toneladas)	Recursos (toneladas)
2013	218.197	188.003
2014	171.000	199.400
2015	129.000	200.000
2016	111.600	149.000
2017	102.000	130.000
2018	63.000	130.000
2019	41.400	N/A
2020	0	143.000
2021	0	143.000
2022	0	143.000



Producción de Zinc (últimos tres años):

Zinc	2018	2019	2020
Producción (t)	18.800	12.436	5.130
Grado	8.000	6.300	7.200
Recuperación	94	94	95

Fuente: Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera en base a S&P Capital, 2022

Conclusiones

Como se desprende del análisis previo, Argentina incorporará cantidades significativas de energías renovables a su matriz energética en los próximos años, hecho que generará un amplio requerimiento de minerales, metales y tierras raras. En este sentido, es necesario resaltar que es imposible pensar una nueva matriz energética libre de carbono y, por lo tanto, comprometida con la disminución del calentamiento global, sin considerar a la actividad minera como un eslabón clave en su desarrollo. En efecto, a escala mundial, el sector minero deberá crecer a un ritmo sin precedentes para permitir los cambios tecnológicos necesarios que sustenten un escenario de calentamiento global de 1,5° (Mckinsey, 2022).

Dado el proceso de transición energética que enfrenta el mundo, los insumos que serán necesarios para llevarlo adelante, y gracias a su dotación de recursos naturales, Argentina tiene una gran oportunidad para apropiarse de una fracción cada vez mayor de la oferta mundial de minerales, especialmente como proveedora de litio^[7] para las baterías de vehículos eléctricos aunque también en cobre.^[8] Así, la transición desde un sistema basado en hidrocarburos a uno limpio e intensivo en minerales impulsará el crecimiento de las exportaciones argentinas en más de US\$ 10.000 millones (representaría el 13% del total exportado argentino en 2021), que se sumarían al impacto que la actividad ya genera en el balance cambiario (aportó US\$ 53.813 millones netos en el período 2003-2021; Fernández, Cruz y Ghiglione, 2021). A su vez, Argentina impulsa medidas para profundizar la transformación de la matriz energética local tales como: el Plan de Desarrollo Productivo Verde, el incentivo a la producción local de automóviles eléctricos, el financiamiento a empresas que quieran reducir su impacto ambiental, la creación del Clúster Renovable Regional y el fomento a las inversiones extranjeras en energías limpias.

En síntesis, el mundo verá crecer de manera significativa la demanda de minerales en el mediano y largo plazo. La intensidad en el ritmo de crecimiento de esta demanda será determinada por la velocidad con la que se avance en el proceso de transición a energías menos contaminantes. Este hecho queda claro en la proyección realizada por IEA: por ejemplo, en los escenarios más exigentes en términos de reducción de emisiones de carbono, la demanda de litio para la construcción de baterías es tres veces superior que en los escenarios menos exigentes. De no encontrarse disponibilidad de minerales, es difícil imaginar cómo se podrá hacer frente al actual proceso de calentamiento global.

^[7] Por ejemplo, Sal de vida en Catamarca, operada por Livent que recientemente anunció la firma de un contrato con la automotriz alemana BMW por US\$ 334 millones (González y Corvalán, 2022).

^[8] La producción de cobre se verá fuertemente incrementada con el desarrollo de distintos proyectos, principalmente el de Josemaría (San Juan) que es el proyecto de inversión minera más grande en operación (US\$ 4.200 millones por parte de la firma canadiense Lundin Mining), al que se le suman El Pachón (Glencore Plc.), Taca Taca (First Quantum Minerals Ltd.), Filo del sol (Filo Mining Corp.), entre otros (González y Corvalán, 2022).

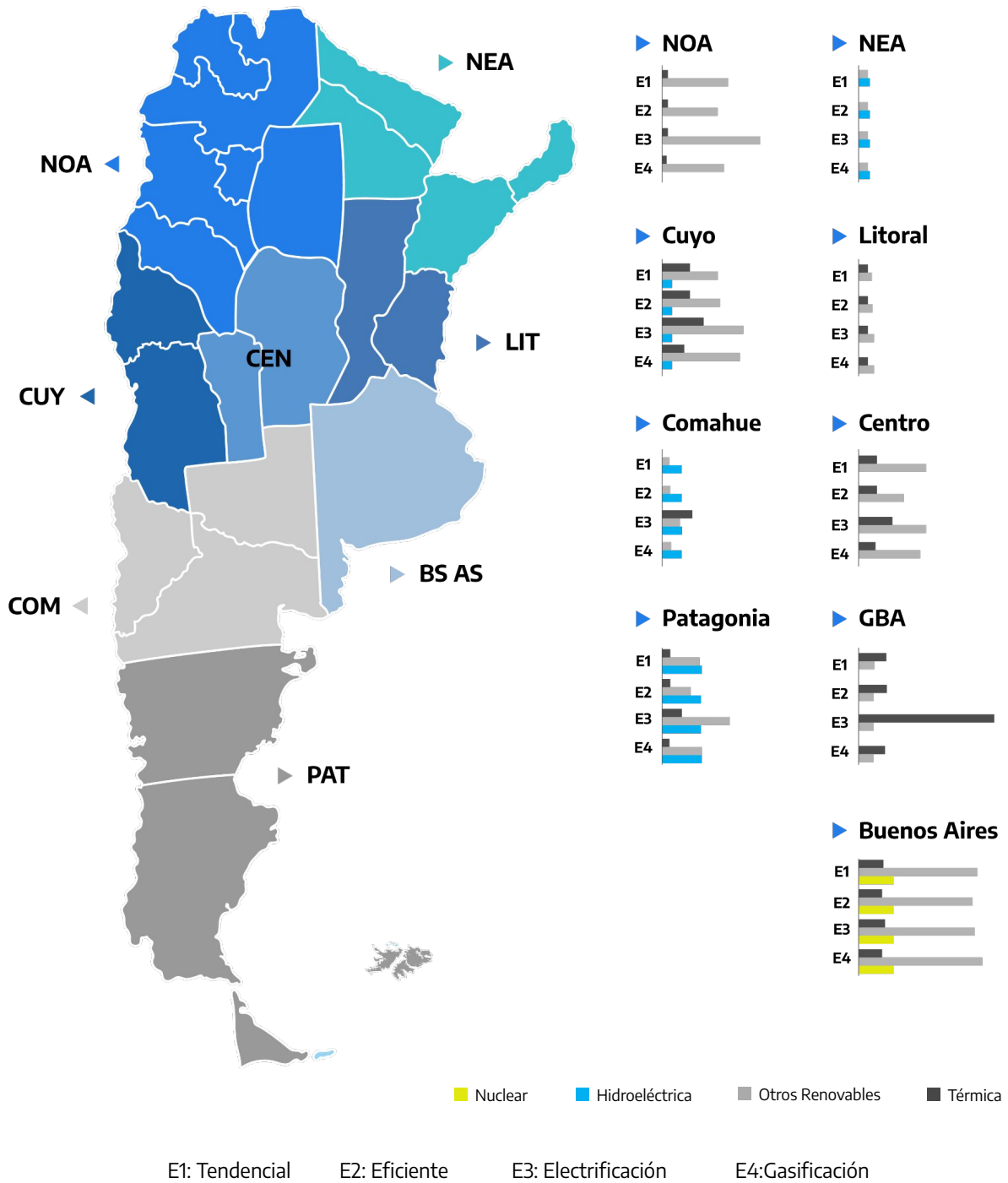


Anexo

GLOSARIO

Abreviatura	Significado
Mt	Millones de Toneladas
Kt	Mil toneladas
GWh	Gigavatio-hora
TWh	Teravatio-hora
Mw	Megavatios

Infografía 1. Nueva potencia instalada acumulada a 2030



Fuente: Dirección Nacional de Escenarios y Planeamiento Energético, Secretaría de Energía.

Bibliografía

International Energy Agency (2021). The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, IEA, París.

<https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>International Energy Agency (2020). World Energy Outlook 2020.
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>

Secretaría de Energía (2019). “Escenarios Energéticos 2030.”

http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/planeamiento/2019-11-14_SsPE-SGE_Documento_Escenarios_Energeticos_2030_ed2019_pub.pdf

Fraunhofer ISE (2020). Photovoltaics Report.

<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>

International Renewable Energy Agency (2017). Renewable Energy Benefits Leveraging Local Capacity for Solar PV.

<https://www.irena.org/publications/2021/Jul/Renewable-energy-benefits-Leveraging-local-capacity-for-solar-water-heaters>

ITRPV (2020). Results 2019 including maturity report 2020.

<http://itrvp.vdma.org/documents/27094228/29066965/Readiness0ITRPV02020/2a8588fd-3ac2-d21d-2f83-b8f96be03e51>

CAMMESA (2021). Informe anual 2020.

<https://microfe.cammesa.com/static-content/CammesaWeb/download-manager-files/Informe%20Anual/INFORME%20ANUAL%202020%20VF.pdf>

Fernandez, Cruz y Ghiglione (2021). El aporte de divisas del sector minero.

Secretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera.

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/aporte_de_divisas_del_sector_minero_2003-2021.pdf

Mckinsey (2022). The raw-materials challenge: How the metals and mining sector will be at the core of enabling the energy transition.

<https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/the-raw-materials-challenge-how-the-metals-and-mining-sector-will-be-at-the-core-of-enabling-the-energy-transition?s=08>

Bloomberg (2022). Energy Transition Investment Trends 2022.

<https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/Energy-Transition-Investment-Trends-Exec-Summary-2022.pdf>

Misión productiva (2021). Hidrógeno, una oportunidad en la transición energética.

<https://misionproductiva.com.ar/desarrollo-sustentable/2021/10/06/hidrogeno-una-oportunidad-en-la-transicion-energetica/>

Bloomberg (2022). Energy Transition Investment Trends 2022.

<https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/Energy-Transition-Investment-Trends-Exec-Summary-2022.pdf>

Kulfas, M., (2021). Proyecto de Ley de Promoción de la Movilidad Sustentable.

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/10/movilidad_sustentable.pdf

González J., y Corvalán M., Estado actual de la minería en el país y anuncios de inversión en el sector minero.

Secretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera.

Puna 2021. Technical Report, 2022. SSR Mining Inc. February 2022, Jujuy.

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/estado_del_sector_minero_secmin_mayo_2022_1.pdf

Schteingart, D. y Allerand, M. El impacto de la minería argentina en los proveedores locales. Documentos de trabajo del CCE N° 19, diciembre de 2021, Consejo para el Cambio Estructural - Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación.

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/03/dt_19_-_impacto_de_la_mineria_argentina_en_los_proveedores_locales_vf.pdf

USGS (2021), Mineral Commodity Summaries 2021.

<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

Kostadinoff J., et.al. Prospección geofísica del yacimiento Las Águilas. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 59 (1): 121-128 (2004).





Ministerio de Economía
Argentina

Secretaría de Minería