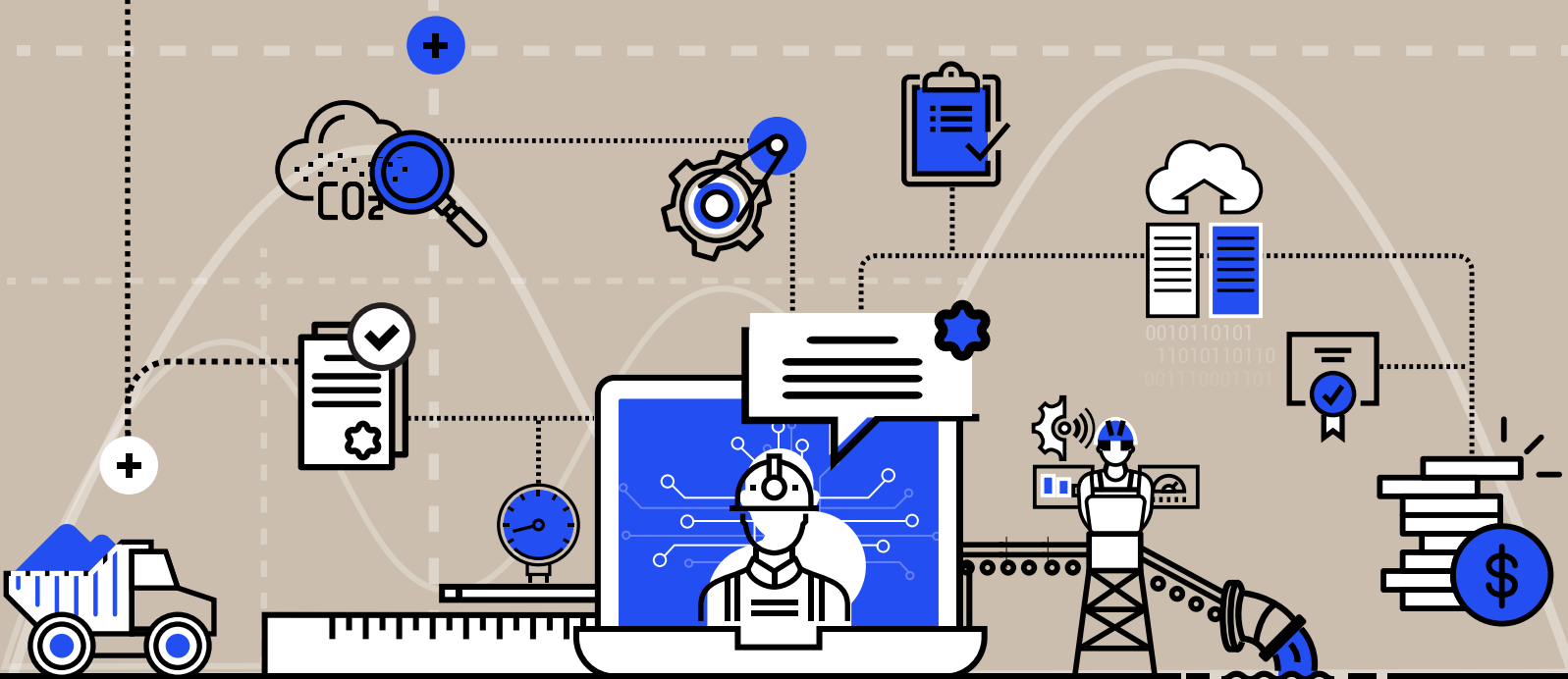


Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio

Implicaciones para los países
del triángulo del litio

Martín Obaya
Mauricio Céspedes



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

Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio

Implicaciones para los países del triángulo del litio

Martín Obaya
Mauricio Céspedes



Este documento fue preparado por Martín Obaya y Mauricio Céspedes, Consultores de la Unidad de Recursos Naturales No Renovables de la División de Recursos Naturales de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco de las actividades de la División y del programa Cooperación Regional para una Gestión Sustentable de los Recursos Mineros en los Países Andinos, implementado 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 a Víctor del Buono por su contribución en la recolección y procesamiento de fuentes primarias referidas a las operaciones de litio. También se agradece a Pablo Chauvet, Cristina Muñoz, Rafael Poveda y Orlando Reyes por sus valiosos comentarios y contribuciones a una versión preliminar del informe. Finalmente, se agradece a Lara Yeyati Preiss por su colaboración en la revisión del documento.

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.2021/58
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2021
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.21-00250

Esta publicación debe citarse como: M. Obaya y M. Céspedes, "Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio: implicaciones para los países del triángulo del litio", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2021/58), 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

Glosario	7
Resumen	9
Introducción	11
Primera parte: marco conceptual y diseño de la investigación de las RGP de BiL	15
I. Marco conceptual de las RGP de BiL	15
A. Dispersión geográfica de las actividades de agregación de valor.....	16
B. Centralidad de los actores: estrategias, funciones y vínculos	16
C. Marcos normativos multi-escala	18
D. Anclaje territorial.....	19
II. Diseño de la investigación de las RGP de BiL	21
A. Mapeo de la estructura y de los principales circuitos de las RGP de BiL	21
B. Identificación de los principales actores productivos, análisis de sus estrategias y formas de articulación.....	22
C. Marco normativo, políticas tecno-productivas y gobernanza local	22
D. Discusión.....	23
Segunda parte: estructura y principales circuitos productivos de las RGP de BiL.....	25
III. La batería de ion litio y sus componentes.....	25
A. La demanda global de litio traccionada por la producción de vehículos eléctricos	25
B. Sistemas de Almacenamiento Estacionario de Energía	29
C. La red global de producción de las baterías de ion de litio	30
IV. Recursos y compuestos de litio	33
A. Recursos y reservas	33
B. Producción	36
C. Comercio.....	42
D. Precios	48
E. Desarrollo de nuevos proyectos.....	50

V.	Baterías y sus componentes	57
A.	Electrodos	58
B.	Celdas	62
C.	Los módulos y paquetes de baterías	64
D.	Reciclaje de baterías	65
Tercera parte: actores productivos, estrategias y articulación de redes a nivel mundial.....		67
VI.	Análisis de redes: actores, estrategias y vínculos.....	67
A.	Redes en segmentos aguas arriba de las redes globales de producción de BiL	70
B.	Redes en segmentos intermedios y aguas abajo de las redes globales de producción de BiL	76
C.	Iniciativas empresariales en el triángulo del litio en segmentos intermedios y aguas abajo	86
Cuarta parte: marco normativo, políticas tecno-productivas y gobernanza local		95
VII.	Territorialidad en RGP de baterías de ion de litio	95
A.	Políticas de promoción del consumo y de la producción de vehículos eléctricos y sus componentes.....	96
B.	Sistemas normativos y políticas tecno-productivas en el triángulo del litio	109
C.	La minería del litio y el territorio: medioambiente y comunidades	122
VIII.	Reflexiones finales: hacia una agenda de cooperación en el triángulo del litio.....	127
A.	Cooperación científica	132
B.	Precio de los compuestos de litio	134
C.	Desarrollo de un mercado regional de electromovilidad	135
D.	Gobernanza del recurso.....	135
Bibliografía		137
Cuadros		
Cuadro 1	Empresas en las RGP	17
Cuadro 2	Otros actores de las RGP	18
Cuadro 3	Análisis de la estructura y circuitos de las RGP de BiL.....	22
Cuadro 4	Análisis de actores, estrategias y configuración de redes	22
Cuadro 5	Análisis del marco normativo, las políticas tecno-productivas y la gobernanza local	23
Cuadro 6	Crecimiento de la industria de vehículos eléctricos	27
Cuadro 7	Argentina, Brasil, Chile y México: flota y ventas anuales de vehículos eléctricos (vehículos híbridos enchufables y eléctricos de batería), 2019	29
Cuadro 8	Tipos de depósito	36
Cuadro 9	Operaciones activas en la producción de concentrado de espodumeno y compuestos de litio en Australia, Chile, China y Argentina	40
Cuadro 10	Usos de principales compuestos de litio	42
Cuadro 11	Etapas de un proyecto minero	51
Cuadro 12	Proyectos en desarrollo en el triángulo del litio	53
Cuadro 13	Proyectos en desarrollo seleccionados fuera del triángulo del litio	55
Cuadro 14	Principales aplicaciones y características de los principales tipos de cátodos.....	59
Cuadro 15	Capacidad productiva de celdas para BiL por aplicación, 2018.....	64
Cuadro 16	Actores que participan de la red de producción de baterías de ion de litio para la industria automotriz.....	68
Cuadro 17	Proyectos mapeados en análisis de redes	70
Cuadro 18	Posición de las principales empresas productoras de celdas en el mercado mundial	78
Cuadro 19	Estado actual de la internalización de la cadena de valor de SolAR.....	90

Cuadro 20	Países seleccionados: objetivos nacionales de despliegue de vehículos eléctricos	97
Cuadro 21	Incentivos para la compra de vehículos eléctricos	99
Cuadro 22	Evolución de la política de VNE en China	101
Cuadro 23	Objetivos de la Alianza Europea de Baterías.....	103
Cuadro 24	Lista de incentivos financieros estatales para vehículos eléctricos.....	105
Cuadro 25	Países seleccionados: instrumentos de promoción a la electromovilidad América Latina	107
Cuadro 26	Metas para el segmento de buses eléctricos (países seleccionados)	107
Cuadro 27	Metas para la electrificación del transporte pesado en Chile, Colombia y Costa Rica	108
Cuadro 28	Pilares del sistema normativo boliviano para la implementación de la política de industrialización del litio	110
Cuadro 29	Fases de la Estrategia Nacional de Industrialización de los Recursos Evaporíticos	111
Cuadro 30	Principales disposiciones del Decreto N° 3738 por el cual se crea la empresa mixta YLB - ACISA.....	113
Cuadro 31	Comparación de las principales condiciones contractuales con SQM y Albemarle antes y luego de la renegociación	115
Cuadro 32	Proyectos seleccionados para industrializar la cuota de litio de Albemarle	116
Cuadro 33	Metas del Instituto de Tecnologías Limpias.....	117
Cuadro 34	Pilares del sistema normativo minero argentino	119
Cuadro 35	Comparación de los sistemas normativos que regulan la actividad litífera en Argentina, Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia.....	121

Gráficos

Gráfico 1	Evolución de la demanda de litio por tipo de uso, 2010, 2017 y 2025	12
Gráfico 2	Demanda mundial de batería, por aplicación, entre 2018 y 2030	26
Gráfico 3	Tasa de penetración de vehículos eléctricos, entre 2014 y 2019	26
Gráfico 4	Flota de vehículos eléctricos por país, entre 2010 y 2019	27
Gráfico 5	Flota de vehículos eléctricos en relación con la población, países seleccionados, 2019.....	28
Gráfico 6	Cuota de mercado de vehículos eléctricos, países seleccionados, 2019	28
Gráfico 7	Evolución de los recursos de litio y participación de los países, 2010 y 2020.....	34
Gráfico 8	Evolución de las reservas de litio y participación de los países, 2010 y 2020	34
Gráfico 9	Relación producción sobre reservas, 2020	35
Gráfico 10	Distribución de la producción mundial de litio, 2020	36
Gráfico 11	Evolución de la producción de compuestos de litio, entre 1998 y 2020	37
Gráfico 12	Composición química de los salares: concentración de litio versus relación magnesio-litio	39
Gráfico 13	Estructura de costos de producción de carbonato de litio a partir de mineral de roca y salmuera	39
Gráfico 14	Capacidad de producción de concentrado de espodumeno, carbonato de litio e hidróxido de litio a partir de salares y mineral de roca desagregado por capital de origen de las empresas propietarias.....	41
Gráfico 15	Exportaciones de concentrado de espodumeno, carbonato de litio e hidróxido de litio, 2009 y 2018.....	42
Gráfico 16	Participación de países en las exportaciones mundiales de litio, 2018	43
Gráfico 17	Composición de las exportaciones de litio, países seleccionados, 2018.....	44
Gráfico 18	Valor unitario de las exportaciones de concentrado de espodumeno y sales de litio, 2018	44

Gráfico 19	Participación en las exportaciones mundiales de carbonato de litio, 2018	45
Gráfico 20	Participación en las exportaciones mundiales de hidróxido de litio, 2018	45
Gráfico 21	Participación de países en las exportaciones australianas de concentrado de espodumeno, 2018.....	46
Gráfico 22	Participación de países en importaciones mundiales de carbonato de litio, 2018.....	46
Gráfico 23	Participación de países en importaciones mundiales de hidróxido de litio, 2018.....	47
Gráfico 24	Participación del carbonato y el hidróxido de litio en comercio mundial.....	48
Gráfico 25	Precios de exportación de carbonato de litio en Argentina y Chile (FOB) y precios spot de carbonato de litio grado batería en China, Japón y República de Corea.....	49
Gráfico 26	Evolución reciente del precio del carbonato de litio y el hidróxido de litio	50
Gráfico 27	Desglose del costo estimado de una celda NMC y de su cátodo en función a sus componentes	60
Gráfico 28	Costo de energía, entre 2010 y 2019.....	61
Gráfico 29	Volumen de cátodos para BiL, 2019 y 2029	61
Gráfico 30	Valor de producción de cátodos de BiL por región, 2019	62
Gráfico 31	Estructura de costos de celdas para vehículos eléctricos, 2017	62
Gráfico 32	Capacidad productiva de celdas para BiL, 2018	63
Gráfico 33	Mercado global de reciclaje de BiL por región	66
Gráfico 34	Cuota de mercado de las principales empresas en el mercado de vehículos eléctricos, 2018 y 2019	77
Gráfico 35	Entregas de celdas de baterías a productores de vehículos eléctricos, 2020	78
 Recuadros		
Recuadro 1	Procesos de producción de carbonato de litio	38
Recuadro 2	El mercado de compuestos de litio en perspectiva histórica	48
 Diagramas		
Diagrama 1	Nodos del proceso de producción de una batería de ion de litio	30
Diagrama 2	Clasificaciones y definiciones básicas sobre el desarrollo de proyectos mineros.....	51
Diagrama 3	Principio operativo de una batería de ion litio (BiL)	57
Diagrama 4	Paquetes de baterías, módulos y celdas para vehículos eléctricos	58
Diagrama 5	Redes en actividades aguas arriba (salares en Argentina y Chile)	71
Diagrama 6	Redes en actividades aguas arriba (salares en Australia).....	71
Diagrama 7	Redes identificadas en torno a empresas líderes de la red global de producción de BiL para vehículos eléctricos.....	79
Diagrama 8	Cronología del Programa de Vehículos de Nueva Energía.....	100
Diagrama 9	Alcance del marco de intervención de la Alianza Europea de Baterías	102

Glosario

ACI Systems (ACISA)

Agencia Internacional de Energía (IEA)

Baterías de ion-litio (BiL)

Cadenas globales de valor (CGV)

Carbonato de litio equivalente (LCE)

Óxido de Cobalto Litio (LCO)

Coste, seguro y flete, puerto de destino convenido (CIF)

Corporación de Fomento de la Producción (CORFO)

Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO)

Corporación Nacional del Cobre (CODELCO)

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET)

Dióxido de carbono (CO₂)

Empresa Nacional de Minería (ENAMI)

Erosión de bases imponibles y el traslado de beneficios (BEPS)

Libre a bordo, puerto de carga convenido (FOB)

Foro Intergubernamental sobre Minería, Minerales, Metales y Desarrollo Sostenible (FIG)

Inversiones y gastos en capital (CAPEX)

Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (JEMSE)

Litio ferro fosfato (LFP)

London Metals Exchange (LME)

Níquel-Cobalto-Aluminio (NCA)

Organización Internacional del Trabajo (OIT)
Organización Mundial de Comercio (OMC)
Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)
Óxido de Níquel Cobalto Aluminio Litio (NCA)
Óxido de Níquel Manganeso Cobalto Litio (NMC)
Óxido de níquel manganeso litio (LMNO)
Óxido de manganeso litio (LMO)
Redes globales de producción (RGP)
Sistemas de almacenamiento de energía estacionaria (SESS)
Sociedad Química y Minera de Chile S.A. (SQM)
Vehículos de Nueva Energía (VNE)
Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB)

Resumen

El propósito de este documento es contribuir a una mejor comprensión de las implicaciones que el funcionamiento de las redes globales de producción (RGP) de baterías de ion de litio (BiL) tiene sobre los países del triángulo del litio.

El primer objetivo específico que se plantea el trabajo es analizar el impacto de la estructura y las dinámicas que se desenvuelven al interior de las RGP de BiL sobre la producción de compuestos de litio. Para abordarlo, el informe analiza la división del trabajo al interior de la red, identificando a los principales actores, el papel que desempeñan y la distribución geográfica de sus actividades de producción y comercialización.

El análisis muestra que el liderazgo de las RGP de BiL de las que participan los países sudamericanos está en manos de empresas automotrices, que tienen la capacidad de crear y controlar las marcas, los modelos y los mercados de vehículos. Los productores de celdas de BiL cumplen el papel de socios estratégicos, por sus competencias para producir el componente central de los vehículos eléctricos. El tándem conformado entre los productores de vehículos y de celdas delinea estrategias que definen atributos de las BiL y de los vehículos que son decisivos para la consolidación de la electromovilidad: el costo, la autonomía, la velocidad y la seguridad.

En la configuración de las RGP y sus dinámicas también desempeñan un papel importante los actores estatales. En particular, se destacan en aquellos países y regiones como China, Estados Unidos y la Unión Europea, que fomentan la transición hacia la electromovilidad. Dado el estado incipiente de la tecnología y de los mercados, los actores estatales despliegan un conjunto de acciones para “crear” nuevos mercados, mediante la promoción del consumo y la definición de estándares. Asimismo, desde el lado de la oferta, han implementado políticas industriales que fomentan la expansión de la producción de vehículos y sus componentes.

El papel del triángulo del litio (Argentina, Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia), que concentra el 58% de los recursos de litio, se ha focalizado hasta el momento en la provisión de compuestos de litio. El volumen de recursos y la calidad de los depósitos posiciona a la región en una situación de fortaleza que, sin embargo, podría verse amenazada en el mediano plazo. Los países productores de vehículos y de celdas de BiL han comenzado a promover acciones para garantizarse un acceso estable al recurso. Entre ellas se encuentran la promoción de las actividades de reciclaje, el desarrollo de tecnologías para la explotación de recursos de litio propios y de celdas de BiL que no utilicen litio como insumo.

Desde la década del 2010, los gobiernos del triángulo del litio han desplegado un conjunto de políticas públicas orientadas a lograr distintos objetivos: aumentar la renta generada a partir de la explotación del recurso, mejorar las condiciones de captura de dicha renta y desarrollar eslabonamientos productivos a partir del litio. Con relación a este último punto, los países de la región ellos han asignado gran importancia al objetivo de localizar la producción de celdas y baterías. El informe muestra que esta estrategia enfrenta grandes obstáculos. Estos se originan en factores de oferta, en particular, la debilidad relativa de las capacidades tecno-productivas locales, así como factores de demanda, principalmente la ausencia de un mercado regional de electromovilidad y energías renovables que traccionen la demanda de BiL.

Sin embargo, se identifican segmentos en los que se están desarrollando capacidades locales y que, al mismo tiempo, podrían ser más accesibles para su desarrollo local. Por ejemplo, en la región hay iniciativas que buscan desarrollar electrodos nanoestructurados que implican una innovación importante en la arquitectura de las BiL. Estos proyectos apuntan a un nicho donde aún no existe producción a escala industrial.

Un aspecto menos explorado por la política pública ha sido la posibilidad de fortalecer las capacidades tecnológicas y productivas en el segmento aguas arriba. Estas actividades presentan necesidades y ofrecen oportunidades que están poco atendidas, a pesar de que la introducción de innovaciones de producto y proceso permitiría aumentar la de renta producida por la actividad litífera. Al mismo tiempo, podrían potencialmente traducirse en un desarrollo de nuevos proveedores locales o en exportaciones de servicios hacia nuevos países productores.

Los países de la región tienen competencias regulatorias directas sobre la actividad desarrollada en torno a los salares, los que les brinda mayor poder normativo y capacidad de diseñar políticas. Asimismo, los potenciales eslabonamientos productivos y tecnológicos estarían directamente ligados a actividades que ya se llevan a cabo en el territorio. Finalmente, las mejoras sobre el proceso productivo tendrían también un impacto directo sobre la dimensión territorial de la explotación de litio. Las innovaciones podrían contribuir a morigerar los conflictos en relación con el problema del agua.

También existe una profunda necesidad de desarrollar innovaciones sociales que permitan incorporar mecanismos de gobernanza del recurso que contemplen las necesidades y demandas de distintos actores, como las comunidades indígenas y campesinas, que presentan resistencia a las actuales formas de explotación de los salares. El tratamiento de los temas ambientales y sociales no solo responde a la obligación de respetar derechos establecidos, sino también a condiciones de mercado. Por ejemplo, la propuesta de directiva de la Comisión Europea sobre baterías contempla que las BiL producidas y utilizadas en la región deben utilizar insumos que hayan sido producidos de manera sostenible y socialmente responsable.

El cuarto objetivo del informe es identificar oportunidades y desafíos para la colaboración entre los países del triángulo del litio, con el propósito de mejorar las condiciones para la creación de valor, la captura de renta y la diversificación productiva a nivel subregional o regional de las RGP. La cooperación transfronteriza potenciaría la posición relativa de los países del triángulo, creando condiciones para un mayor protagonismo al interior de las RGP. Se proponen cuatro áreas que presentan oportunidades de cooperación: ciencia y tecnología, precio de los compuestos de litio, desarrollo de un mercado regional de electromovilidad y gobernanza del recurso.

Introducción

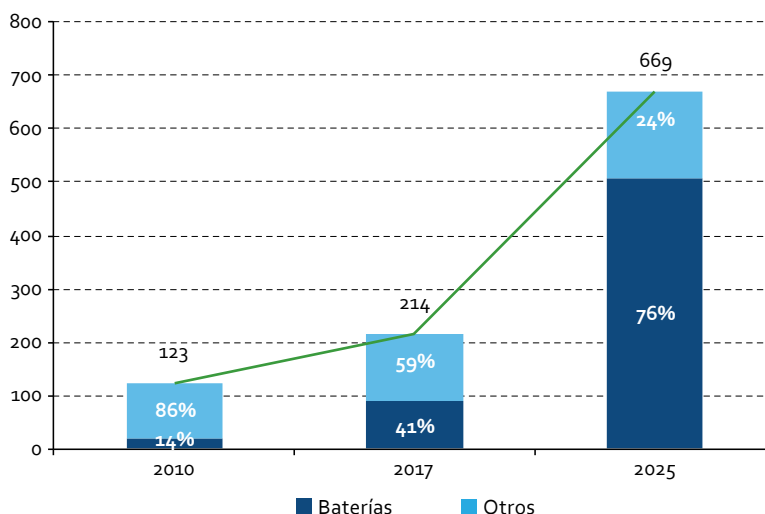
Hacia finales de la década del 2000, el litio asumió un carácter estratégico en Argentina, Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia, los países del así llamado “triángulo del litio”. En todos ellos, se adoptaron medidas que tenían como propósito aumentar la localización en sus territorios de actividades vinculadas al litio, especialmente aquellas relacionadas a la producción de baterías de ion-litio (BiL) (Echazú, 2015; Fornillo, 2015a; Poveda, 2020). Algunas de las políticas puestas en marcha aspiran a localizar la totalidad de la cadena de valor de las BiL, lo que resulta ser un objetivo muy ambicioso, considerando que los compuestos de litio representan aproximadamente un 5% del costo total de la BiL (Puchta, 2019).

En gran medida, estas iniciativas proyectan un imaginario sociotécnico que pone énfasis en el papel que la ciencia y la tecnología pueden desempeñar en la construcción de una nación (Barandiarán, 2019). En el caso particular del litio, y de los recursos naturales en general, dicho imaginario desafía las visiones pesimistas sobre el potencial de dichos recursos para motorizar procesos de desarrollo –enmarcadas en la así llamada tesis de la maldición de los recursos (Sachs y Warner, 1995; Gylfason, 2001; Auty, 2002).

El litio ha sido utilizado por varias décadas como insumo en la fabricación de diversos productos, que van desde el tratamiento de enfermedades psiquiátricas hasta la fabricación de aleaciones ligeras para la industria aeronáutica (Kavanagh y otros, 2018). Sin embargo, el carácter crítico que ha asumido en los últimos años se explica fundamentalmente por la creciente demanda de compuestos de litio por parte de la industria de BiL (Gráfico 1).

La producción de BiL para dispositivos electrónicos se remonta a inicios de la década de 1990. Sin embargo, la creciente demanda de baterías se explica principalmente por el auge de la electromovilidad. La tasa de crecimiento de compuestos de litio proyectada hacia 2030 se estima en alrededor del 26% anual, lo que multiplicaría por más de 10 los valores actuales de demanda. La mayor producción de vehículos eléctricos incorpora una fuente de demanda de compuestos de litio que consume grandes cantidades de producto por unidad producida: mientras que un teléfono móvil requiere alrededor de 3 gramos de carbonato de litio, una computadora portátil de 10 a 30 gramos y una herramienta eléctrica 40 a 60 gramos (Vikström y otros, 2013), una batería para un vehículo eléctrico puede requerir entre 8 a 100 kg de carbonato de litio, dependiendo de su capacidad. Para tomar una dimensión de la demanda de recursos, una giga-factory de 30 GWh, similar a la de Tesla en Nevada, consume alrededor de 25.000 toneladas anuales carbonato de litio equivalente (LCE por sus siglas en inglés: *Lithium Carbonate Equivalent*), un volumen cercano al 75% de la producción anual de Argentina que es el cuarto productor mundial. Además de las demandas en términos de volumen de producción, el sector de la electromovilidad impone estándares de calidad más elevados, que generan presiones sobre los productores de sales de litio.

Gráfico 1
Evolución de la demanda de litio por tipo de uso, 2010, 2017 y 2025^a
 (En miles de toneladas LCE)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Azevedo y otros. (2018), "Lithium and Cobalt. A tale of two commodities". McKinsey & Company, New York, USA.

^a Estimación realizada por los autores.

Aunque con niveles absolutos muy inferiores, la demanda de baterías para sistemas de almacenamiento de energía estacionaria (SESS por sus siglas en inglés: *stationary energy storage systems*) crecerá a una tasa anual aún mayor, de 38% anual, pasando de 10 GWh en 2020 a 221 GWh en 2030 (World Economic Forum, 2019). De acuerdo con agencias especializadas, el mercado de las SESS alcanzó los US\$ 2.000 millones durante 2018¹. El almacenamiento de energía mediante BiL de bajo costo y en condiciones eficientes facilita una mayor adopción de energías renovables como la solar o la eólica, ya que hace posible la acumulación durante períodos de bajo consumo.

Se ha previsto que el consumo de energías renovables se incrementaría en un 69% entre 2016 y 2040, mientras que el consumo de petróleo y carbón disminuirá un 21% y 7%, respectivamente, para el mismo período (Kazimierski, 2018). En el caso latinoamericano, la introducción de SESS puede contribuir a reducir la dependencia de la matriz energética de los hidrocarburos, que actualmente llega a un 65%, y a aumentar la energía producida por fuentes no fósiles, como la hidroenergía, solar, eólica, geotérmica o nuclear (Castillo y otros, 2018). Asimismo, las SESS asumen un papel especialmente importante desde el punto de vista social, ya que son adecuadas para facilitar el abastecimiento de electricidad a las familias rurales en los países de la región.

Las perspectivas de creciente demanda de litio se enfrentan, sin embargo, con cierta rigidez por el lado de la oferta. A pesar de ser un recurso relativamente abundante, presente en arcillas, en aguas geotermales, en el mar, en salares continentales y en determinados minerales de roca, las técnicas de extracción y concentración de litio desarrolladas hasta el momento solo permiten una explotación económicamente rentable en estos dos últimos casos. Esto ha llevado a un explosivo incremento de precios durante la última década, que alcanzó unos picos por encima de los US\$ 25 por kilo durante el último trimestre de 2017 (Goldie-Scot, 2019; Home, 2019).

Las condiciones de explotación favorecen a los países del triángulo, en particular, debido a los menores costos de producción de litio a partir de salares (Deutsche Bank, 2016). A pesar de las ventajas que presentan los salares sudamericanos, a nivel de mina, el país de mayor crecimiento de la producción en los últimos años ha sido Australia, que ha desarrollado un modelo de negocios basado

¹ Para mayor información ver: www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/battery-energy-storage-system-market-112809494.html.

en la exportación de concentrado de espodumeno a China. En este país asiático, se encuentra la mayor parte de las plantas de conversión, donde se producen los compuestos de litio utilizados en las baterías. Las dinámicas diferenciadas entre los dos tipos de depósitos se explican por una variedad de factores de tipo económico, normativo y también técnico. En el caso de los salares, el proceso de desarrollo de los proyectos es más extenso que en depósitos de mineral de roca (entre 7 y 10 años). Además, cada salar presenta condiciones particulares de explotación, que dependen principalmente de la química de la salmuera y el entorno ambiental. Asimismo, una vez en operaciones, el proceso productivo hasta la obtención de compuestos para su comercialización puede llevar de 12 a 24 meses según las condiciones de cada salar (Flexer y otros, 2018). Por otra parte, como se discutirá a lo largo del informe, Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia tienen regímenes normativos que imponen restricciones sobre nuevas inversiones en proyectos de minería de litio.

En este escenario, los productores de electrodos, celdas y vehículos han buscado asegurarse la provisión estable del recurso a través de distintos mecanismos de asociación o la compra anticipada. Este ha sido el caso, por ejemplo, de Tesla con Piedmont, Toyota o Ganfeng en algunos proyectos en la Argentina; o de la alemana ACI Systems en el Estado Plurinacional de Bolivia.

En este marco, el estudio se propone analizar las modalidades de producción de compuestos de litio y el potencial para localizar actividades aguas abajo en la cadena de valor desde una perspectiva sistémica. Esto implica que las actividades “aguas arriba”, así como aquellas que forman parte de los “segmentos intermedios” y “aguas abajo” en la producción de BiL —forzando la terminología propia de la industria de hidrocarburos— se examinarán como parte de una red de alcance global, integradas por una multiplicidad de actores de características heterogéneas (Coe y Yeung, 2015).

Desde esta perspectiva de análisis, que comprende la multiplicidad de procesos que van “del salar a la batería”, el trabajo se ha planteado cuatro objetivos específicos:

- i) Analizar las implicancias que la estructura y actual dinámica de la red global de producción de las BiL tienen para la actividad de producción de sales de litio en Argentina, Chile, y el Estado Plurinacional de Bolivia.
- ii) Examinar las oportunidades y los obstáculos que presenta una mayor localización de funciones y operaciones productivas en cada uno de estos países, en distintos segmentos de las redes globales de producción (RGP).
- iii) Analizar las políticas tecno-productivas para el desarrollo de capacidades tecnológicas en los países del triángulo del litio y su potencial para mejorar la posición de esta subregión al interior de las RGP.
- iv) Identificar oportunidades y desafíos para la colaboración entre los países del triángulo del litio, con el propósito de mejorar las condiciones para la creación de valor, la captura de renta y la diversificación productiva a nivel subregional o regional de las RGP.

El trabajo se estructura en cuatro partes. En la primera de ellas se presenta el marco conceptual de redes globales de producción y se presenta el diseño de la investigación. La segunda parte está dedicada a presentar la estructura y los principales circuitos geográficos de las RGP de baterías de ion de litio, con un foco particular en aquellas destinadas al sector automotriz. En la tercera parte, se identificarán los principales actores de la cadena global de las BiL, sus estrategias y los modos de vinculación. En la cuarta parte, se examina el papel de otros tipos de actores en las RGP. En particular, se analiza el papel de los gobiernos, como responsables del diseño de los marcos normativos y políticas tecno-productivas puestas en marcha tanto en los países con mayor producción de electrodos, baterías y automóviles, como en aquellos que producen sales de litio. En segundo lugar, se estudian las modalidades de interacción establecidas con las comunidades que habitan en áreas vecinas a los salares y las medidas medioambientales adoptadas para proteger el entorno. Finalmente, en base a los hallazgos del estudio, se discuten las oportunidades y desafíos que la estructura y dinámicas de la cadena de valor presentan para la eficaz implementación de las estrategias desplegadas en la región. Asimismo, se propondrán oportunidades de colaboración entre los países del triángulo del litio para potenciar su posicionamiento dentro de la cadena de valor.

Primera parte: marco conceptual y diseño de la investigación de las RGP de BiL

I. Marco conceptual de las RGP de BiL

A partir de los años setenta y, de manera acelerada desde la década del noventa, asistimos a un proceso de creciente interconexión al interior de la economía mundial que ha sido comúnmente denominado como “globalización” (Dicken, 2011). Este fenómeno se refleja claramente en ciertos indicadores que miden los flujos de comercio internacional e inversión extranjera directa (UNCTAD, 2014; Li y otros, 2019). Asimismo, la globalización actual se caracteriza por profundos cambios cualitativos en la estructura y en las dinámicas que dan sentido a estos flujos (Dicken, 2011). Se observa una creciente integración funcional de actividades geográficamente dispersas a partir de la coordinación de grandes empresas multinacionales (Coe y otros, 2004; Coe y otros, 2008; Coe y Yeung, 2015).

El liderazgo de las redes está, por lo general, a cargo de grandes empresas multinacionales, que tienen la capacidad de coordinar procesos que tienen lugar en múltiples locaciones, de acuerdo con criterios que aspiran a minimizar costos de producción y a maximizar tanto la flexibilidad de las organizaciones como la velocidad de los flujos (Coe y Yeung, 2015). Esta posición central al interior de la red permite a las empresas líderes concentrarse en actividades que favorecen la captura de renta, delegando en proveedores, contratistas o asociados aquellas para las que no tienen las capacidades necesarias o que tienen menores márgenes de utilidad.

El marco conceptual de las RGP ofrece herramientas de análisis adecuadas para examinar el potencial y los límites que el proceso de globalización ofrece a países en desarrollo². Para el análisis de las RGP de batería de ion de litio y, en particular, el papel que juegan los productores de sales de litio en su interior, se considerarán cuatro dimensiones, profundamente interrelacionadas, cuyos principales rasgos son presentados a continuación.

² Para una revisión de los textos fundacionales de la literatura sobre redes globales de producción véase: Coe y otros (2004); Coe y otros (2008); Coe y Yeung (2015); Coe y Yeung (2019).

A. Dispersión geográfica de las actividades de agregación de valor

Uno de los rasgos centrales del proceso de formación de las RGP ha sido la fragmentación del proceso productivo en distintas áreas geográficas. Si bien este crecimiento se ha desacelerado desde 2011 y se han registrado evidencias de un proceso de *reshoring* en ciertas actividades, la configuración de la producción en las RGP se ha convertido en un rasgo estructural de la economía, en particular en las actividades más intensivas en tecnología (Li y otros, 2019).

La medición de los flujos de comercio e inversión indica que sería más adecuado caracterizar el proceso de conformación de redes globales como un proceso de “regionalización”, más que globalización. Ciertas áreas son definidas como *factories*, es decir espacios geográficos delimitados donde se concentra la mayor parte del proceso de creación de valor en el proceso productivo (y, por lo tanto, en cuyo interior se concentran los flujos de comercio más intensos). Las *factories* más importantes son las regiones de la tríada: Europa, Norteamérica y Asia (Li y otros, 2019). El sector automotriz es un claro ejemplo de regionalización de la producción en torno a estos espacios, a los que debería sumarse Sudamérica, en torno al polo productivo radicado en Brasil y Argentina (Humphrey y Memedovic, 2003; Rugman y Collinson, 2004; Sturgeon y otros, 2009).

Desde el punto de vista productivo, la producción de vehículos eléctricos supone una reconfiguración radical de las RGP de vehículos a combustión interna. La cantidad de componentes que integran el motor eléctrico se reducen drásticamente a 3 partes móviles, frente a las 113 de un motor de combustión, que explican entre el 30% y el 50% de su valor (UBS, 2017). Los procesos de concentración geográfica se han profundizado en el caso de la producción de vehículos eléctricos. Asia se consolida como la *factory* más grande, mientras que Europa y Estados Unidos iniciaron tardíamente su proceso de incorporación a la producción a gran escala de productos vehículos eléctricos y sus componentes (Calabrese, 2016). El nodo sudamericano, por su parte, tiene una participación casi nula tanto en la producción como en el consumo de este tipo de vehículos (IEA, 2020).

B. Centralidad de los actores: estrategias, funciones y vínculos

Las RGP están integradas por actores heterogéneos, con distintas capacidades y que, consecuentemente, cumplen distintas funciones al interior de la red: empresas, organizaciones estatales y no estatales. Las relaciones al interior de la red son de naturaleza jerárquica, ya que algunos actores tienen poder para coordinar, fijar estándares y modificar su estructura y dinámica. Además de estudiar las capacidades y las funciones desempeñadas por los actores a lo largo de distintas etapas productivas, así como las relaciones que se establecen entre ellos, la literatura de las RGP ha buscado comprender la naturaleza y las motivaciones estratégicas que impulsan el accionar de dichos actores en su propósito de crear y capturar valor.

Para comprender las oportunidades y los desafíos que enfrentan las políticas tecno-productivas de los países del triángulo del litio es fundamental conocer quiénes son los actores que integran las RGP vinculadas a las BiL, cuáles son sus estrategias y mediante qué mecanismos controlan y coordinan sus actividades al interior de la red. En lo que se refiere a las empresas, las mismas se pueden clasificar de acuerdo con el papel y el tipo de actividad que desempeñan al interior de las RGP. En el Cuadro 1 se incluye la clasificación de empresas propuesta por Coe y Yeung (2015), que será utilizada en el estudio.

El papel de control y coordinación de las RGP está ejercido por empresas multinacionales, que son aquellas con mayor capacidad de agencia. Las mismas operan de manera directa, a través su red de subsidiarias distribuidas en distintas locaciones, o mediante alianzas con otras empresas. Las empresas multinacionales pueden movilizar y utilizar distintos tipos de recursos, armar alianzas, influir sobre los procesos de creación de estructuras regulatorias. A través de sus acciones crean y dan forma a las RGP que moldean las estructuras que regulan las dinámicas de la competencia al interior de la red. Sus prioridades y decisiones estratégicas tienen una influencia decisiva sobre las trayectorias de desarrollo del resto de los actores o sobre sus posibilidades de *upgrading* —en términos de la literatura de cadenas globales de valor “CGV” (Humphrey y Schmitz, 2002; Morrison y otros, 2008).

Cuadro 1
Empresas en las RGP

Actor	Principales funciones	Actividad
Empresas líderes	Coordinación y control	Definición de productos y mercados
Socios estratégicos	Soluciones parciales o completas a empresas líderes	Co-diseño y desarrollo de productos o servicios avanzados
Proveedores especializados (específicos de la industria)	Provisión para apoyar a empresas líderes y/o sus socios estratégicos	Módulos, componentes o productos de alto valor
Proveedores especializados (multi-industrias)	Provisión crítica para empresas líderes y/o sus socios estratégicos	Bienes y servicios intermedios interindustriales
Proveedores genéricos	Proveedores de suministros a través de transacciones de mercado	Productos y servicios estandarizados y de bajo valor
Clientes clave	Transferencia de valor a empresas líderes	Consumo intermedio o final

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Coe, N. M. y H. W. Yeung (2015), "Global production networks: Theorizing economic development in an interconnected world". Oxford University Press.

Las empresas líderes pueden decidir concentrarse en funciones estratégicas de definición de productos, servicios y estándares, delegando en terceros la responsabilidad por las actividades de diseño original, manufactura y la logística asociada. En ese caso, se asocian con empresas que desempeñan el papel de socios estratégicos. La relación entre ambos actores es de mutua dependencia.

Los socios estratégicos trabajan con una variedad de proveedores independientes de bienes intermedios y servicios. Algunos están especializados en industrias específicas, mientras que otros son genéricos y participan en distintos sectores. Aquellos que producen bienes no estandarizados podrían eventualmente convertirse en socios estratégicos de las empresas líderes. Finalmente, se encuentran los clientes clave, que son empresas que consumen los bienes y servicios producidos al interior de la red.

En el caso de las RGP de la industria automotriz tradicional, las empresas líderes desempeñan fundamentalmente funciones de diseño, ensamblaje final y mercadeo. Algunas partes y componentes, por ejemplo, la carrocería o los motores, también suelen ser producidos internamente. Sin embargo, la producción de la mayor parte de los componentes, que explican entre el 50 y el 70% del costo del vehículo, es responsabilidad de sus proveedores. Estos se organizan, en general, en torno a tres anillos. Los proveedores que se ubican en el primer anillo son aquellos especializados en los componentes más complejos: operan directamente con las automotrices y comparten con ellas funciones de diseño. Los proveedores del segundo anillo trabajan en la fabricación de partes elaborados por los del anillo superior o, directamente, por las automotrices, mientras que los del tercer anillo son proveedores de partes más básicas y estandarizadas (Humphrey y Memedovic, 2003; Frigant y Layan, 2009; Dicken, 2011; Frigant y Miollan, 2014).

La configuración técnica de los vehículos eléctricos supone un cambio muy profundo en este esquema organizativo. El tren motriz tiene un 60% menos de componentes que aquel de un vehículo con motor de combustión interna³. En los vehículos eléctricos, la BiL pasa a ser el componente crítico del sistema (UBS, 2017). El corazón de las RGP es ocupado por la alianza estratégica conformada por la empresa automotriz y los fabricantes de celdas de baterías. Asimismo, la provisión de ciertos recursos críticos para la producción de las celdas de baterías, como el litio y el cobalto, asume un papel destacado que no está presente en la producción automotriz convencional (Lebedeva y otros, 2016).

Como se ha señalado, también participa de las RGP una variedad de actores que no desempeñan actividades productivas que pueden tener una incidencia importante sobre la estructura y dinámica de la red. En el Cuadro 2 se incluyen los principales actores, sus funciones, actividad y áreas de influencia.

³ Véase para más información: www.evreporter.com/ev-powertrain-components/ (acceso el 17/09/2020).

Cuadro 2
Otros actores de las RGP

Actor	Principales funciones	Actividad	Área de influencia
Estados	Promoción y regulación	Propiedad, política industrial, innovaciones, reglas de mercado	Mercados de capitales, tierra y trabajo. Impuestos. Asuntos sociales y ambientales
Organizaciones internacionales	Reglas globales, acuerdos y regulaciones	Sanciones y códigos de conducta internacionales	Finanzas, trabajo, ética de negocios, ambiente
Agrupaciones sindicales	Gobernanza de la empresa y presiones sobre ella	Negociación colectiva	Salarios y condiciones de trabajo
Consumidores	Compradores de bienes y servicios finales	Preferencias y elecciones	Limitada, si no es a través de acciones colectivas
Organizaciones de la sociedad civil	Asegurar el cumplimiento de responsabilidad social corporativa	Lobby y sanciones sociales	Ética, igualdad de género y sustentabilidad ambiental

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Coe, N. M. y H. W. Yeung (2015), *“Global production networks: Theorizing economic development in an interconnected world”*. Oxford University Press.

Entre estos actores, las organizaciones estatales juegan sin duda un papel destacado. Su capacidad para dictar normas que regulan el comportamiento de los distintos agentes que operan en su territorio, sus competencias políticas y recursos para promover actividades de aprendizaje tecnológico y, aun para actuar como productores directos a través de empresas estatales le brindan un gran poder de influencia sobre la configuración de las RGP.

En el campo particular de los recursos naturales, el papel de los Estados es particularmente importante. Esto se debe al anclaje territorial de los recursos, que lo diferencia de otras actividades productivas que pueden cambiar de territorios. Las condiciones de acceso a los recursos están reguladas por distintos actores estatales que, como se discutirá debajo, establecen las condiciones de acceso, la política impositiva, las condiciones ambientales, etc. La influencia del Estado no solo es ejercida mediante las regulaciones que determinan las modalidades para su explotación, sino también de la posibilidad de participar directamente en el proceso productivo mediante empresas estatales.

Entre los actores no estatales que se ven involucrados directa o indirectamente en la explotación de recursos naturales, se deben considerar especialmente las comunidades que habitan en las zonas aledañas a los recursos, así como también a las organizaciones ambientalistas. Estos grupos han ganado capacidad de negociación colectiva, potenciada no solo por mayores niveles de organización interna sino, en muchos casos, por el reconocimiento de normativa internacional, como es el caso del Convenio sobre Pueblos Indígenas y Tribales (No. 169) de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), que establece el principio de la consulta previa libre e informada a pueblos indígenas sobre medidas que puedan afectarlos.

C. Marcos normativos multi-escala

Por su naturaleza transnacional, las RGP operan en territorios que están regulados por distintos tipos de marcos normativos, cuya configuración es definida en distintos niveles de gobernanza (supranacional, nacional, subnacional, local). Los temas sujetos a regulación comprenden un amplio abanico de temas, que van desde aspectos impositivos y laborales hasta aquellos vinculados al medioambiente. Por ejemplo, a escala nacional, los países establecen medidas orientadas a generar condiciones propicias para la atracción de inversiones. Sin embargo, ello debe realizarse respetando los acuerdos alcanzados en el marco de acuerdos internacionales, como aquellos alcanzados en la Organización Mundial de Comercio (OMC). El margen de libertad que los acuerdos internacionales ofrecen a los países para dictar normas y políticas a escala nacional ha sido conceptualizado por algunos autores como “espacio de política” (Page, 2007).

En el caso de los recursos naturales, los gobiernos nacionales y subnacionales se enfrentan también a la necesidad de alcanzar un delicado equilibrio que debe ofrecer condiciones orientadas a motivar inversiones y, al mismo tiempo, generar condiciones para capturar una porción mayor de la renta generada por los recursos. En general, mientras que la primera motivación gana fuerza durante períodos de precios relativamente bajos de los recursos —lo que conduce a promesas de estabilidad fiscal y baja carga impositiva—, la segunda prevalece cuando los precios de los recursos son más elevados, trayendo consigo un mayor nacionalismo (Bremmer y Johnston, 2009).

Durante el súper ciclo de materias primas experimentado por los países sudamericanos entre 2000 y 2015 (De la Torre y otros, 2016), se han desplegado políticas tecno-productivas para promover la generación de eslabonamientos en torno a las actividades de explotación del recurso (Dietsche, 2014). Entre las iniciativas adoptadas a tal fin, se destacan en particular, la creación de empresas estatales (Dantas y Bell, 2009; Dantas y Bell, 2011; Djeflat y Lundvall, 2016; Montenegro, 2018) y el establecimiento de reglas sobre contenido local (Adewuyi y Ademola, 2012; Teka, 2012; Ovadia, 2014; Ablo, 2015; Ayentimi, 2016).

En el caso de los países del triángulo del litio, las iniciativas de los países han llegado lejos, ya que se han propuesto avanzar en la localización de actividades productivas que llegan a la fabricación de celdas de baterías (Obaya y Pascuini, 2020). Este tipo de políticas públicas tecno-productivas entran en tensión con la configuración de las RGP definidas a partir de las decisiones estratégicas de las empresas multinacionales que las lideran. En su intención de localizar eslabonamientos productivos en torno al recurso, los países establecen normas que limitan la movilidad del capital e influyen sobre la organización geográfica de la red, afectando las posibilidades de apropiación de renta que las empresas tendrían en condiciones de mayor libertad. El análisis de las distintas políticas tecno-productivas adoptadas por los países con recursos críticos resulta clave para comprender las decisiones estratégicas que adoptan las empresas líderes con relación a sus decisiones de inversión y al desarrollo de tecnologías para explotar depósitos alternativos sobre los cuales puedan ejercer mayor control.

D. Anclaje territorial

El proceso productivo en tiempos de globalización ha estado lejos de asumir una naturaleza “desterritorializada” o “sin fronteras”. Por el contrario, la geografía y la “institucionalidad” de los territorios conservan un papel central en la estructura y dinámica de las RGP (Dicken, 2011). En este sentido, las actividades productivas vinculadas con la explotación de recursos naturales tienen dos características particulares que las diferencian de otras: en primer lugar, están indisolublemente ancladas en el territorio donde se encuentran los recursos, contrastando con la naturaleza “escurridiza” (slippery) del capital en las actividades manufactureras y los servicios en el proceso de globalización (Markusen, 1996); y, en segundo lugar, tienen un impacto ambiental que afecta no solo la disponibilidad futura del recurso sino al entorno donde se encuentra el mismo (Katz, 2020). Este último punto concierne, en particular, a las comunidades que habitan en las inmediaciones de las áreas de explotación y que, además, pueden ver afectadas las actividades que desarrollan, en particular, como consecuencia de una menor disponibilidad de agua (Jerez y otros, 2021).

El abanico de cuestiones que se abren a partir de estas consideraciones es muy amplio. Desde la perspectiva productiva, la naturaleza de las actividades desarrolladas en el territorio donde se encuentran los recursos se ve afectada por distintos factores, entre los que se encuentra la disponibilidad de capacidades locales.

Otra implicancia del anclaje territorial sobre la dimensión productiva de la explotación de los recursos naturales concierne al modo en que el entorno local afecta el proceso de producción. Las condiciones físicas, biológicas y ambientales de la región específica donde tiene lugar dicho proceso presentan desafíos que deben ser resueltos. Cada territorio exige innovaciones —desde cambios muy pequeños a transformaciones más profundas— que pueden conducir a modificaciones en la configuración productiva (Andersen y otros, 2018; Katz, 2020). En el caso del litio, el desarrollo de dichas innovaciones requiere

comprender las características hidrogeológicas y la composición de los salares, así como también las condiciones ambientales y climáticas que afectan el proceso de evaporación. Estas características no solo cambian en función del área geográfica, sino también entre salares y, aún más, dentro del mismo salar. En el caso del Estado Plurinacional de Bolivia, por ejemplo, la composición química del salar de Uyuni, así como también las condiciones climáticas de la región, han presentado problemas para la producción de carbonato de litio que aún están en vías de resolución (Calla, 2014). A estas presiones “intrínsecas” de la actividad productiva para localizar procesos productivos, se suman aquellas normas y políticas, referidas anteriormente, orientadas a generar eslabonamientos productivos en torno a la explotación del recurso, con el propósito de generar valor agregado y empleo en sus territorios.

En relación con la cuestión del impacto ambiental y el vínculo con las comunidades, debe destacarse que ambos temas se han vuelto cada vez más relevantes para las industrias extractivas, debido a una combinación de factores entre los que se incluyen una mayor preocupación por temas ambientales y la formalización de derechos de ciertos colectivos sociales. El caso del litio no ha sido la excepción, puesto que en los tres países se ha registrado —en distinta medida— un aumento en los niveles de conflictividad (Argento, 2018; Argento y Puente, 2019; Jerez y otros, 2021). En términos generales, los avances han sido más importantes en el tema comunitario. Los mayores niveles de conflictividad han condicionado la implementación de proyectos productivos y, en algunos casos, exigido nuevos tipos de arreglos normativos y económicos —como en el caso de Chile, por ejemplo (Poveda, 2020). En relación con los temas ambientales, la agenda se encuentra más atrasada. Tanto en Argentina como en Chile se están visibilizando ciertos riesgos vinculados a la explotación de salares que no han sido debidamente considerados hasta el momento, por ejemplo, la alteración del balance hidrogeológico en los humedales, lodos aluviales, lagunas y demás fuentes hídricas (Liu y otros, 2019).

II. Diseño de la investigación de las RGP de BiL

Para abordar los objetivos planteados, el estudio se estructurará en cuatro partes, donde se articulan las dimensiones de análisis discutidas anteriormente:

A. Mapeo de la estructura y de los principales circuitos de las RGP de BiL

Aquí se analizará la posición relativa de los tres países de la región en las redes globales de producción de BiL. Se examinará la evolución de su dotación de recursos, así como sus capacidades para convertir dichos recursos en bienes que puedan realizarse en el mercado. Asimismo, se analizará la dinámica del volumen de producción y de los destinos de los flujos de exportaciones de sales de litio a través del tiempo.

El análisis incluirá también a países no productores de compuestos de litio que, sin embargo, cuentan con recursos. Esto permitirá evaluar escenarios sobre la estructura de este mercado en el mediano y largo plazo. Con este propósito, se analizarán los recientes hallazgos que podrían conducir a un aumento de la base de recursos, así como los avances tecnológicos que aspiran a permitir la explotación en depósitos no convencionales (ej. geotermiales). En este apartado se analizarán también las dinámicas de precios de las principales sales de litio.

En esta parte del estudio, se analizará la distribución geográfica de los patrones de producción y consumo en los segmentos productivos de las RGP. Este análisis permitirá destacar el papel preponderante que juega la “factoría” Asia en relación con Europa y Norteamérica.

Cuadro 3
Análisis de la estructura y circuitos de las RGP de BiL

Nodos de la red	Categoría de análisis	Dimensiones de análisis e indicadores	Fuentes
Sales de litio	Dotación de recursos	Evolución de recursos y reservas identificados	USGS
	Producción	Evolución de la producción. Costos de producción estimados	USGS Informes de empresas
	Inserción comercial	Evolución de exportaciones Principales destinos de exportaciones	Datos Estadísticos de las Naciones Unidas sobre el Comercio de Productos Básicos (UN COMTRADE).
	Potenciales competidores	Caracterización de proyectos Desarrollos tecnológicos para explotación	Informes de empresas Prensa
	Mercado	Evolución precios Modalidades de compraventa en mercado Iniciativas para creación de mercado	COMTRADE Fastmarkets London Metal Exchange
Electrodos, celdas, baterías y vehículos	Patrones de producción y consumo	Distribución geográfica de producción y consumo	Informes sectoriales Informes de empresas Global EV Outlook

Fuente: Elaboración propia.

B. Identificación de los principales actores productivos, análisis de sus estrategias y formas de articulación

Esta parte del informe tiene como propósito examinar los flujos analizados con anterioridad a la luz de las estrategias y las modalidades de vinculación entre los principales actores que integran las RGP de baterías de ion de litio. Se buscará entender, especialmente, cómo los emprendimientos activos (o en fase avanzada) en la explotación de salares en los países del triángulo del litio participan de estas redes globales, y de qué manera las modalidades de participación condicionan su evolución futura.

Se identificarán los actores líderes de las redes y sus socios estratégicos. Se analizarán en cada caso las modalidades a través de las cuales se hace efectiva la alianza entre ellos y las principales configuraciones de red que prevalecen.

Cuadro 4
Análisis de actores, estrategias y configuración de redes

Nodos de la red	Categoría de análisis	Dimensiones de análisis e indicadores	Fuentes
Todos	Mapeo y caracterización de actores	Identificación de actores clave y de sus estrategias Caracterización de funciones	Bibliografía especializada Fuentes secundarias
	Configuración de la red	Modalidades de articulación y formas de vinculación entre actores	Bibliografía especializada Fuentes secundarias

Fuente: Elaboración propia.

C. Marco normativo, políticas tecno-productivas y gobernanza local

En esta sección se analizarán los marcos normativos y las políticas tecno-productivas adoptadas por los países que lideran los distintos segmentos de las RGP de baterías de ion de litio. En lo que se refiere a aquellos especializados en la producción de celdas y vehículos eléctricos, se analizarán los incentivos a la

producción y consumo de estos productos. En particular, se destacan ciertas iniciativas a nivel nacional, como el programa Vehículos de Nueva Energía (VNE), en China, y la Alianza Europea de Baterías a nivel supranacional.

En los países del triángulo del litio, se analizarán las configuraciones normativas que regulan la actividad litífera y las políticas tecno-productivas puestas en marcha para alcanzar los objetivos estratégicos planteados en relación con su participación en las RGP de las BiL. En particular, se hará foco en las iniciativas para la producción local de productos intermedios hasta llegar a las BiL.

En esta parte del trabajo, también se analizarán aspectos vinculados a la dimensión territorial de las RGP en los países del triángulo del litio, en particular en lo que se refiere a los modos de vinculación con comunidades locales. En particular, se analizarán las tensiones con las comunidades con relación a los temas ambientales (especialmente, el agua) y los instrumentos mediante los cuales los gobiernos y las empresas han buscado abordar dichas tensiones.

Cuadro 5
Análisis del marco normativo, las políticas tecno-productivas y la gobernanza local

Nodos de la red	Categoría de análisis	Dimensiones de análisis e indicadores	Fuentes
Electrodos, celdas, baterías y vehículos	Marcos normativos y políticas tecno-productivas vinculadas a la electro-movilidad en la Tríada y Sudamérica	Regulaciones e incentivos para la transición a electro movilidad Regulaciones e incentivos para producción de BiL (y sus componentes) y vehículos eléctricos	Normativa Documentos gubernamentales Bibliografía especializada
Sales de litio	Marco normativo sobre explotación de litio	Condiciones de acceso, explotación y uso de litio	
	Políticas tecno-productivas para desarrollo local de actividades vinculadas al litio	Regulaciones e incentivos para desarrollo de actividades vinculadas a industria litífera	
	Vínculos con comunidades locales	Procesos para obtención de consentimiento previo, libre e informado Intermediación de vínculo con operadoras mineras	

Fuente: Elaboración propia.

D. Discusión

En base al análisis anterior, el estudio concluye con una discusión en la que se intentarán identificar las principales oportunidades y desafíos que enfrentan los países del triángulo del litio para mejorar las condiciones para la creación de valor, la captura de renta y la diversificación productiva a nivel subregional o regional de las RGP. Asimismo, examinarán áreas en las que los países del triángulo del litio podrían profundizar su cooperación para mejorar su participación al interior de las redes de producción.

Segunda parte: estructura y principales circuitos productivos de las RGP de BiL

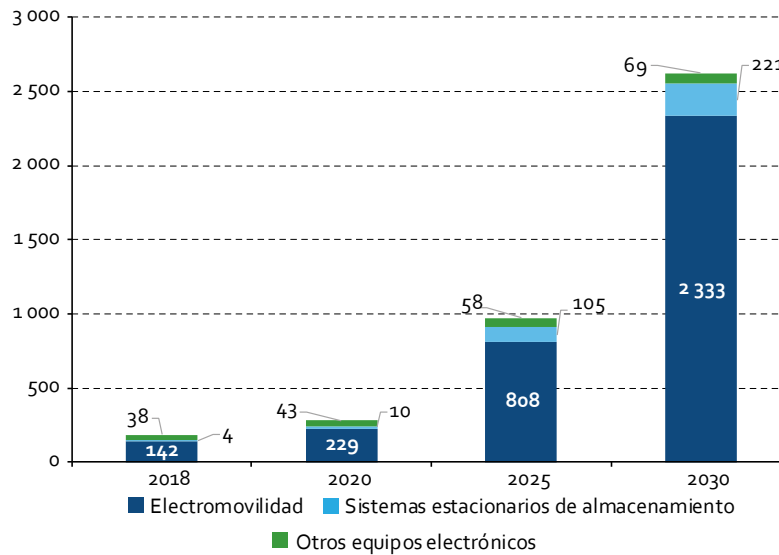
III. La batería de ion litio y sus componentes

A. La demanda global de litio traccionada por la producción de vehículos eléctricos

El fuerte crecimiento en la demanda de BiL durante los últimos años ha sido impulsado, principalmente, por la electromovilidad. Las baterías requeridas para este tipo de aplicaciones representaron el 77% de la demanda total de baterías en 2018, y llegarían al 89% en 2030 (Gráfico 2). Asimismo, el mercado muestra un ritmo acelerado de crecimiento, que rondaría el 25% anual durante este período (World Economic Forum, 2019).

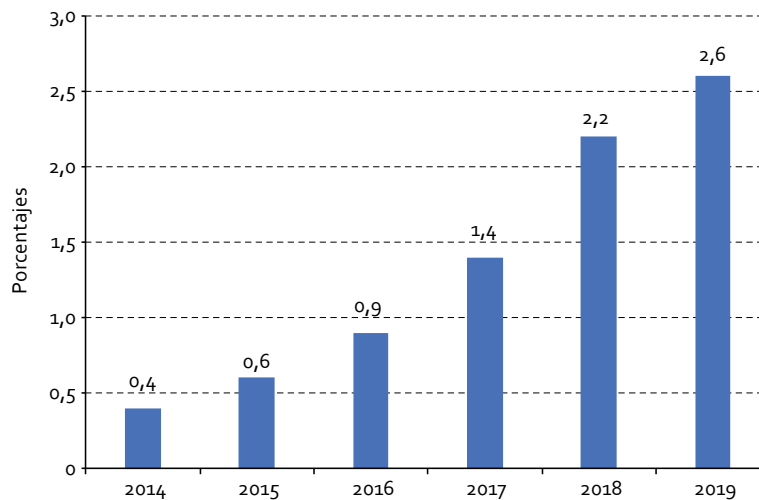
Este desempeño se vincula con la creciente penetración de los vehículos eléctricos, que lentamente se afianzan como alternativa a los vehículos de combustión interna para reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Como se observa en el Gráfico 3, la tasa de penetración de vehículos eléctricos en el mercado automotriz ha crecido un 650% entre 2014 y 2019. En el marco de los esfuerzos globales por combatir el cambio climático, un creciente número de gobiernos ha implementado incentivos a la producción y el consumo de vehículos eléctricos que han contribuido a la adopción de esta forma de movilidad (LaRocca, 2020) —ver capítulo VII, parte A.

Gráfico 2
Demanda mundial de batería, por aplicación, entre 2018 y 2030
 (En gigavatios hora)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base del World Economic Forum (2019), "A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030. Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation". Geneva, World Economic Forum/Global Battery Alliance.

Gráfico 3
Tasa de penetración de vehículos eléctricos, entre 2014 y 2019
 (Vehículos eléctricos/vehículos a combustión interna)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de McKinsey & Company, 2019. [base de datos en línea] www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/expanding-electric-vehicle-adoption-despite-early-growing-pains#.

La difusión de la electromovilidad también ha sido impulsada por los avances tecnológicos en el campo de las BiL, en aspectos tales como los requerimientos de alta densidad energética, la seguridad, el ciclo de vida y el rango de temperatura de funcionamiento (Eshetu y otros, 2019). Los nuevos desarrollos han permitido reducir considerablemente el precio de las baterías, que en la configuración de los vehículos eléctricos explican más del 50% del costo de producción. Una condición necesaria para la masificación

de los vehículos eléctricos es la reducción aún mayor del precio de las baterías. De acuerdo con ciertas estimaciones, una vez que el costo se ubique alrededor de los US\$ 100 por kWh, el precio de los vehículos eléctricos se igualaría con los de combustión interna (Lutsey y Nicholas, 2019). Se estima que hacia 2030, la tasa de penetración de vehículos eléctricos se encontraría entre un 24%, en un escenario pesimista, y un 32% en un escenario optimista, mientras que en 2035 se ubicaría entre 41% y 56% (Hofer, 2020).

Las cifras presentadas en el último reporte de la Agencia Internacional de Energía (IEA) dan cuenta de la expansión de los vehículos eléctricos en el mercado mundial, tanto en términos de volumen como de variedad, apoyadas en las reducciones de costos y mejoras en las BiL (Cuadro 6).

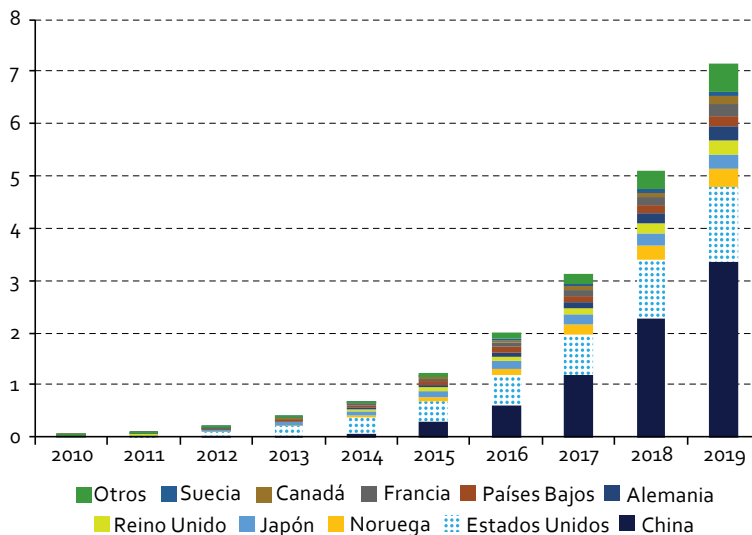
Cuadro 6
Crecimiento de la industria de vehículos eléctricos

Concepto	2010	2019
Cantidad de vehículos eléctricos	17 000	7 200 000
Cantidad de modelos en el mercado	70	250
Costos de las baterías	Disminución en más del 85%	
Densidad de energía	Entre 20% y 100% de incremento	

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de IEA (2020), "Global EV Outlook 2020-Entering the decade of electric drive?". Paris, Francia.

Sin embargo, debe señalarse que el avance de la electromovilidad está muy concentrado en términos geográficos, especialmente en China. El crecimiento de la flota de vehículos comenzó a acelerarse en 2010, a partir de volúmenes muy pequeños, inferiores a las 9.000 unidades a nivel mundial. Por entonces, Estados Unidos era el principal mercado para este tipo de vehículos, En 2015, cuando se superó el millón de unidades, China explicaba el 23,7% de la flota mundial, mientras que Estados Unidos daba cuenta del 32,7%. El año siguiente, China superó a este país, llegando a representar el 46,7% de la flota mundial en 2019, más de 25 puntos porcentuales por encima de Estados Unidos.

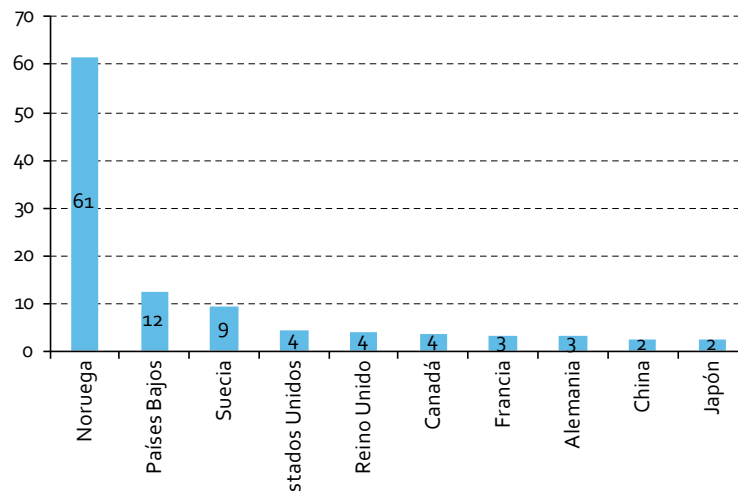
Gráfico 4
Flota de vehículos eléctricos^a por país, entre 2010 y 2019
(En millones de vehículos)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de IEA (2020), "Global EV Outlook 2020 - Entering the decade of electric drive?". Paris, Francia.
^aIncluye vehículos híbridos enchufables y eléctricos.

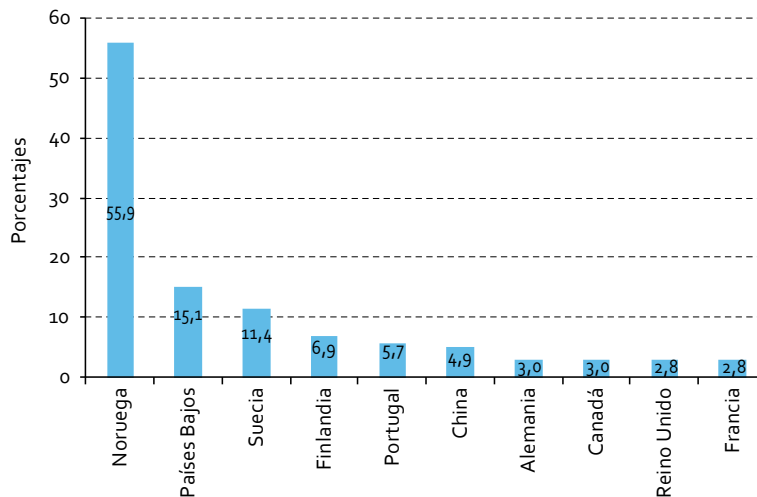
Si se considera la flota en relación con la población de cada uno de los países, se llega a un panorama distinto. En primer lugar, se destaca el caso de Noruega por encima del resto, con una flota de 61 vehículos cada 1000 habitantes (Gráfico 5). En 2020, gracias a una combinación de factores estructurales y fuertes políticas de incentivos (Ingeborgrud y Ryghaug, 2019), los vehículos eléctricos explicaron casi el 56% de las ventas totales de vehículos en este país en 2019 (Gráfico 6), Noruega es seguido por países con pequeña población y políticas muy favorables a la electromovilidad, como los Países Bajos y Suecia. Entre los países de mayor población, la flota de vehículos es todavía relativamente pequeña. Se observa en estos casos que en América del Norte es sustancialmente mayor que en China y Japón, donde se producen las celdas de BiL.

Gráfico 5
Flota de vehículos eléctricos en relación con la población, países seleccionados, 2019
(En número de vehículos cada mil habitantes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de IEA (2020), "Global EV Outlook 2020 - Entering the decade of electric drive?". Paris, Francia.

Gráfico 6
Cuota de mercado de vehículos eléctricos, países seleccionados, 2019
(Vehículos eléctricos/ventas totales de automóviles)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de IEA (2020), "Global EV Outlook 2020 - Entering the decade of electric drive?". Paris, Francia.

En América Latina, la flota de vehículos eléctricos es muy pequeña. Las ventas anuales de los países para los que hay información disponible son mínimas en relación con las ventas totales de vehículos (Cuadro 7). Como se discutirá en el capítulo VII, parte A, las políticas de promoción de la electromovilidad en estos países son aún muy incipientes, en comparación con los países de ingresos más elevados.

Cuadro 7
Argentina, Brasil, Chile y México: flota y ventas anuales de vehículos eléctricos
(vehículos híbridos enchufables y eléctricos de batería), 2019

País	Flota total	Ventas anuales
Argentina	s.d.	1 548 ^a
Brasil	3 000	1 910
Chile	700	300
México	4 700	720

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de IEA (2020), "Global EV Outlook 2020 - Entering the decade of electric drive?". París, Francia.

^a Corresponde a vehículos híbridos (enchufables y no enchufables) y eléctricos (SIOMAA 2021).

B. Sistemas de Almacenamiento Estacionario de Energía

Cabe destacar que, además de su aprovechamiento en vehículos eléctricos, las BiL representan una fuente importante de energía electroquímica para sistemas de almacenamiento de energía estacionarios. De acuerdo con ciertas estimaciones, el mercado de las baterías para sistemas de almacenamiento de energía a nivel mundial tiene una proyección de crecimiento de US\$ 2.900 millones en 2020 a US\$ 12.100 millones en 2025 a una tasa del 32,8% entre 2020 a 2025⁴.

Su creciente uso está asociado a la expansión de las energías renovables. Sin embargo, estas energías alternativas aún enfrentan desafíos importantes para consolidarse como una fuente de generación en la matriz energética de la mayor parte de los países. A pesar de un rápido incremento, en 2018 las energías renovables solo representaban el 11% de la demanda global. Por ejemplo, al depender de condiciones ambientales, su generación no es constante. Las conexiones directas de fuentes de energía renovables a las redes pueden provocar cambios impredecibles y desestabilizar las redes eléctricas limitando sus niveles de penetración (Lennon y otros, 2019).

Por ello, el aumento en el uso de energías renovables representa una potencial demanda de BiL que son utilizadas para almacenar energía a nivel residencial o en unidades más grandes para proporcionar servicios integrados a las redes y, así controlar las fluctuaciones de la fase de generación (Vetter y otros, 2019). Adicionalmente, los sistemas de almacenamiento de energía estacionarios constituyen un recurso clave para mantener la capacidad de reserva de las redes eléctricas, especialmente cuando se presenta una gran demanda de carga de energía (Ke y Wu, 2019).

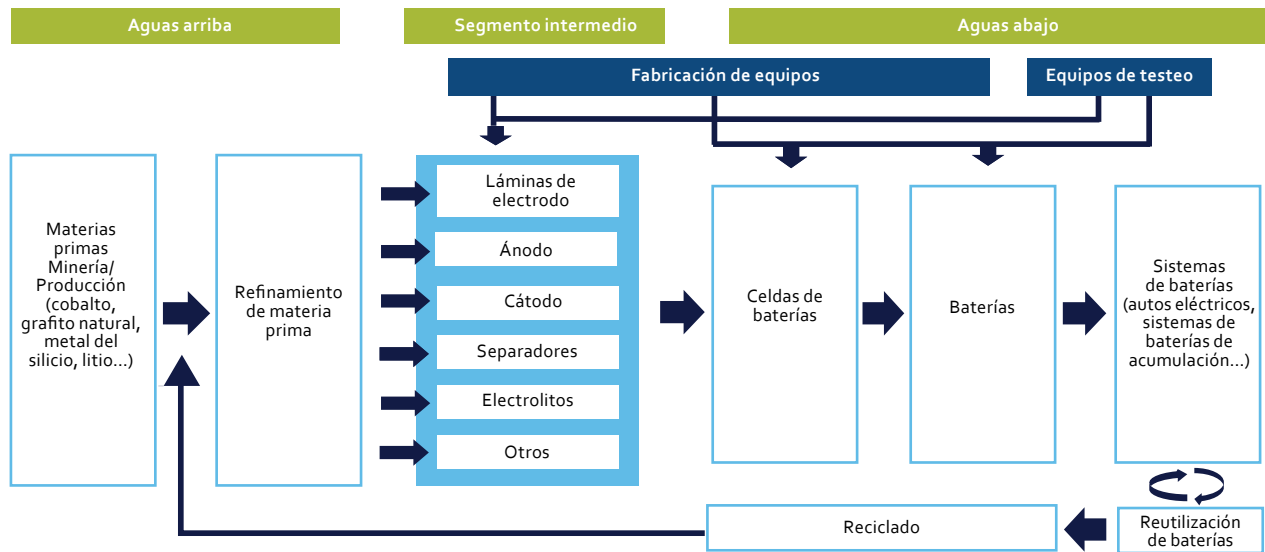
A nivel regional, se observa que, a finales de 2017, América Latina y el Caribe contaba con una capacidad solar instalada de 3.700 MW, que representaba solo el 1% del total de la capacidad para generación eléctrica. En el campo de la energía eólica, la capacidad era 19.720 MW, un 5% de la capacidad total (Paredes, 2017). El potencial de expansión de energías renovables en América Latina ha sido interpretado por los países productores de litio, en particular Argentina y en el Estado Plurinacional de Bolivia, como una fuente potencial de demanda que permita motorizar los procesos de industrialización del carbonato de litio producido en sus territorios. Iniciativas como el Programa PERMER en Argentina que ha proporcionado energía eléctrica renovable a más de 100.000 personas de ingresos bajos en áreas rurales o el programa Electricidad para Vivir con Dignidad en el Estado Plurinacional de Bolivia que ha alcanzado un 73% de cobertura en áreas rurales (Lorio y Sanin, 2019), pueden beneficiarse a partir de la incorporación de BiL en fuentes renovables como una solución eficiente para zonas aisladas o incluso de manera domiciliar totalmente descentralizada.

⁴ Ver para mayor detalle: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/battery-energy-storage-system-market-112809494.html?gclid=EAlalQobChMI-5-yg9W87AIVkYaRChoAuwrUEAAYASAAEGkIJ_D_BwE.

C. La red global de producción de las baterías de ion de litio

El Diagrama 1 ilustra los principales segmentos del proceso productivo de una BiL, con foco sobre el papel que tiene el litio en dicho proceso. El triángulo del litio tiene una presencia significativa en el segmento “aguas arriba”, correspondientes a las fases de extracción y concentración del recurso, en primer lugar, y de procesamiento, en segundo orden. Este segmento presenta un volumen de negocios mucho más pequeño que las actividades intermedias y aguas abajo (AUSTRADE, 2018). No obstante, los márgenes de rentabilidad estimados son considerablemente mayores (Fact.MR, 2019).

Diagrama 1
Nodos del proceso de producción de una batería de ion de litio



Fuente: Elaboración propia.

Como se describe en el capítulo IV, en Argentina, Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia el litio se encuentra en salmueras concentradas en salares continentales⁵. Los otros grandes protagonistas de este segmento son Australia y, especialmente, China. Mientras que el primero obtiene el litio a partir de depósitos de mineral de roca, China se especializa en la conversión de este mineral concentrado en plantas localizadas en su territorio. Este último país también produce compuestos de litio a partir de recursos propios.

El segmento intermedio de las RGP corresponde a la producción de los componentes de la batería. El cátodo es aquel que utiliza litio como principal insumo. El cátodo ha concentrado la mayor parte de las investigaciones y los esfuerzos de desarrollo relacionados con la batería, por su papel determinante en el rendimiento y los costos de esta. En los segmentos aguas abajo se ubican la producción de celdas y paquetes de baterías. En este conjunto de actividades, China también ocupa un papel muy importante, ya que concentra la mayor parte del volumen de producción, junto con Japón y República de Corea, que son protagonistas en la producción de cátodos y celdas. Tanto en los segmentos intermedios como aguas arriba el volumen de negocios es mucho más grande que en las actividades que explotan el recurso. Sin embargo, los márgenes de beneficio se reducen significativamente. Los países productores de recursos en segmentos aguas arriba no desarrollan actividades a escala industrial en segmentos intermedios o aguas abajo.

⁵ En Argentina, también se encuentran recursos en mineral de roca. Sin embargo, estos no se encuentran contabilizados entre los datos oficiales y no se encuentra autorizada su explotación.

Una actividad que va progresivamente adquiriendo relevancia en las RGP de baterías de ion de litio es el reciclado de baterías. Su desarrollo permitiría que el proceso gane circularidad y, además, que los países productores de baterías reduzcan su nivel de dependencia respecto a los proveedores de litio. Las técnicas para lograr niveles de recuperación eficiente se encuentran aún en fase de desarrollo, especialmente en China, Estados Unidos y Europa, donde la preocupación por el aprovisionamiento ha ido en aumento a través de los años (Kalantzakos, 2020). La propuesta de Directiva sobre baterías presentada por la Comisión Europea en diciembre de 2020 otorga un papel central al ciclo de producto y la circularidad de la producción de baterías⁶.

⁶ Véase para más detalles: https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2019-2024/sinkevicius/announcements/commissioner-sinkevicius-speech-press-conference-batteries-proposal-10-december-2020-brussels_en.

IV. Recursos y compuestos de litio

A. Recursos y reservas

Lejos de ser un recurso escaso, el litio ocupa la posición 25 entre los elementos más abundantes de la tierra (Taylor y McLennan, 1985). El mayor desafío para los productores de compuestos de litio, sin embargo, es encontrarlo en depósitos que permitan alcanzar niveles altos de concentración con procesos económicamente rentables. De ello dependen, en gran medida, los costos operativos del proyecto.

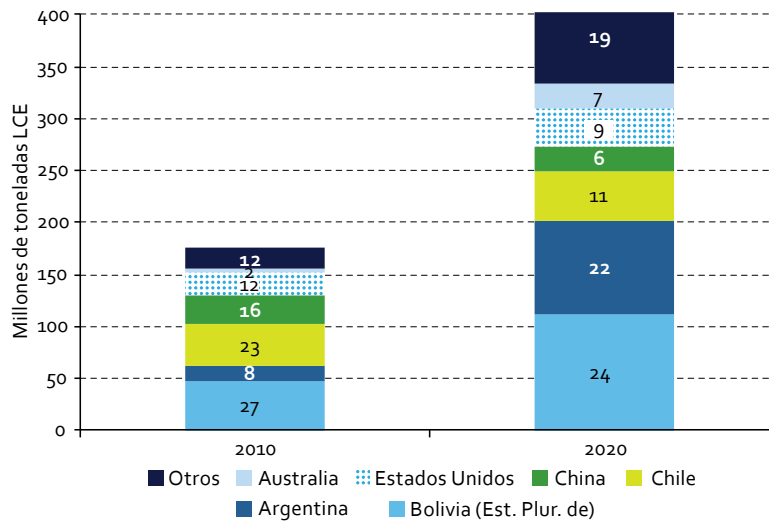
Entre 2010 y 2020, los recursos identificados de litio han aumentado un 261%, como consecuencia del crecimiento en las tareas de exploración incentivadas por el precio y las perspectivas de demanda. En términos absolutos, han pasado de 175 millones (mn) de toneladas LCE a 457 mn de toneladas LCE (Gráfico 7). La participación del triángulo del litio se ha mantenido estable en 58%. Sin embargo, se registran cambios en el peso de los países al interior de esta, entre los que cabe destacar el aumento de Argentina, que pasó de representar el 8% al 22% de los recursos, en detrimento de Chile, cuya participación se redujo de 23% a 11%. Uno de los factores que explica esta dinámica es la intensa actividad exploratoria desarrollada en Argentina, favorecida por un marco normativo orientado a atraer inversores privados para explorar nuevos recursos. En cuanto al Estado Plurinacional de Bolivia, se destaca el salto de 9 a 21 mn de toneladas LCE de recursos (USGS, 2020). El aumento, que tuvo lugar en 2020, se basa en un estudio reciente que cubre el 64% del salar de Uyuni⁷ que actualiza las estimaciones realizadas en la década del ochenta por la Universidad Mayor de San Andrés y la Office de la Recherche Scientifique Technique Outre Mer (ORSTOM) (Daza, 2017).

Otra dinámica que cabe destacar durante este período es el aumento de la participación de países que no son productores, que tienen depósitos pequeños o de tipo “no tradicional”, que pasó de 12% a 19%. En 2010, esta lista estaba integrada por Brasil, el Congo, Serbia y Canadá (USGS, 2011). En 2019, se incorporaron Alemania, México, República Checa, Mali, Rusia, España, Portugal, Perú, Austria, Finlandia, Kazakstán y Namibia (USGS, 2021)⁸.

⁷ Documento disponible [en línea] [https://www.ylb.gob.bo/archivos/notas_archivos/echazu_reseva_de_lito_uyuni_2019_\(002\).pdf](https://www.ylb.gob.bo/archivos/notas_archivos/echazu_reseva_de_lito_uyuni_2019_(002).pdf).

⁸ Fuentes alternativas extraídas de distintas fuentes pueden encontrarse en Christmann y otros. (2015).

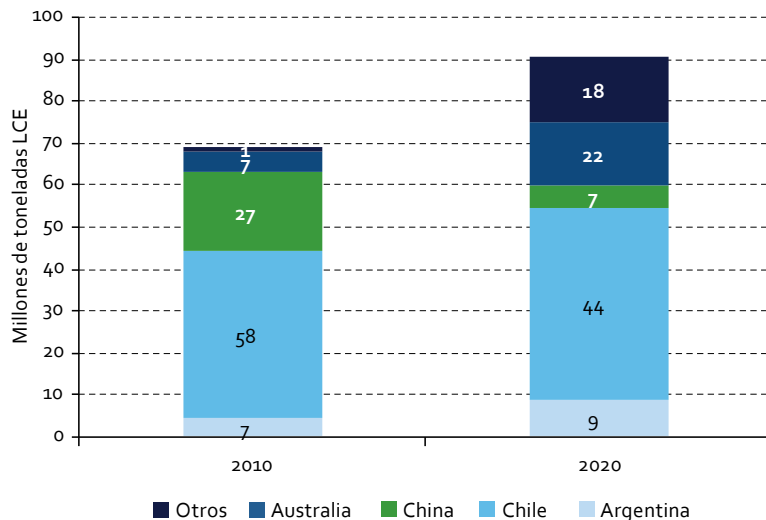
Gráfico 7
Evolución de los recursos de litio y participación de los países, 2010 y 2020
(En millones de toneladas LCE y porcentaje)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base estadística de U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries.

En lo que respecta a las reservas —es decir aquellos recursos cuya viabilidad de explotación ha sido probada en términos técnicos y económicos—, es mayor la participación de los países con una trayectoria más extensa y un volumen de producción más importante. Se destaca particularmente el caso de Chile, donde casi el 96% de los recursos han sido probados como reservas. En Australia, las reservas corresponden al 73% de los recursos. En cambio, en Argentina, donde los salares son de menor tamaño y la actividad exploratoria es más incipiente, la relación reservas-recursos es solo del 10%. En el Estado Plurinacional de Bolivia, no se ha realizado una certificación de reservas. En parte, ello puede explicarse porque la estrategia estatal de explotación del recurso se ha basado en el financiamiento autónomo otorgado por el Banco Central del Estado Plurinacional de Bolivia. Esto ha permitido que el país no haya requerido por el momento financiamiento corporativo internacional apalancado en reservas para avanzar con las inversiones necesarias para explotar el salar (Obaya y Pascuini, 2020).

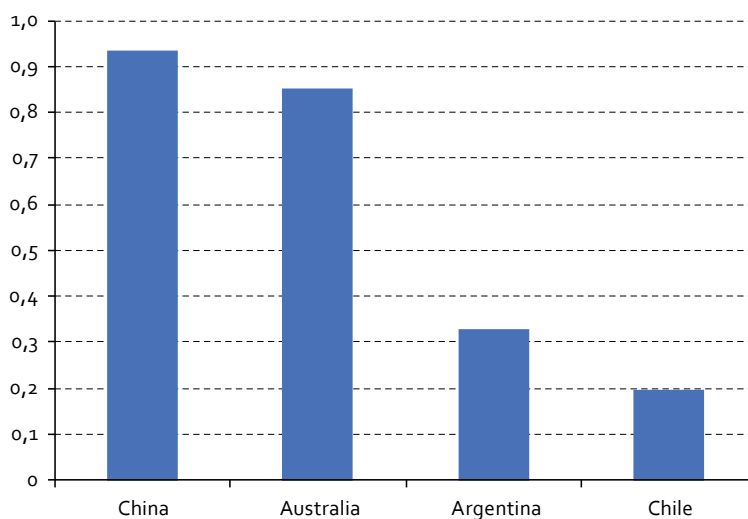
Gráfico 8
Evolución de las reservas de litio y participación de los países, 2010 y 2020
(En millones de toneladas LCE y porcentaje)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base estadística de U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries.

Es importante destacar, sin embargo, que la posesión de reservas no asegura por sí sola la explotación del recurso. Como se observa en el Gráfico 9, la relación producción sobre reservas en Argentina y Chile se encuentra muy por debajo de China y Australia.

Gráfico 9
Relación producción sobre reservas, 2020
(En porcentaje)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base estadística de U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries.

Los recursos de litio se encuentran en distintos tipos de depósitos. En el Cuadro 8 se identifican tres grandes grupos: pegmatitas, salmueras y rocas sedimentarias. En el caso de los países del triángulo, los recursos identificados se concentran en salares continentales —aunque en Argentina, hay también en recursos en pegmatitas, en las provincias de Córdoba y San Luis. Los salares continentales explican el 58% de los recursos mundiales de litio. Las rocas pegmatitas representan el 26%, mientras que el 16% restante corresponde a otros tipos de depósitos (COCHILCO, 2020). Hasta el momento, los depósitos no tradicionales no han sido explotados a escala industrial. Entre estos se incluyen pizarras negras en Canadá, salmueras en campos petroleros en Canadá y Estados Unidos, greisen/aplita en Francia, arcilla (hectorita, polilithionita) en México, arcilla (hectorita) en Estados Unidos, sedimento lacustre alojado en Serbia, y salmuera geotermal en Estados Unidos.

Los salares tienen concentraciones de litio que son mucho mayores a las que se encuentran en las rocas pegmatitas. El promedio de recursos de litio en salmueras es de 1,4 toneladas métricas (calculado sobre la base de 23 depósitos identificados) contra 0,3 toneladas relevadas en 58 depósitos de roca. Este factor, junto al menor costo operativo de explotación, posiciona a los salares como la opción más conveniente para la explotación de largo plazo (Christmann y otros, 2015). Sin embargo, como se discutirá debajo, la explotación de salares presenta mayores desafíos técnicos que los depósitos de mineral de roca que se encuentran en Australia, que contribuyen a explicar la mayor capacidad de respuesta de este país al crecimiento de la demanda mundial.

Cuadro 8
Tipos de depósito

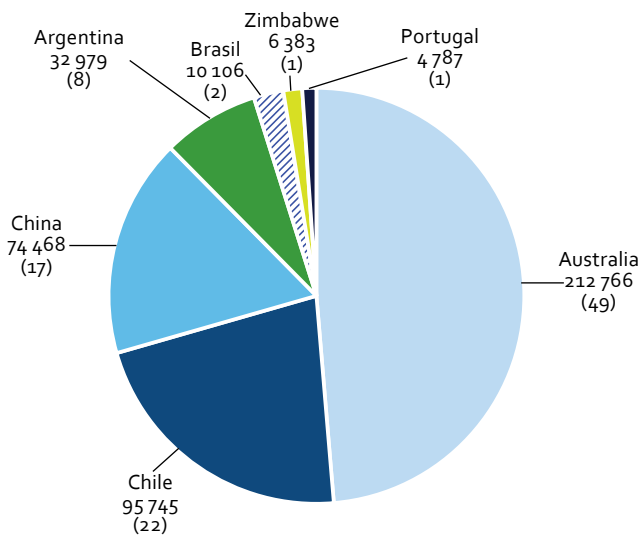
Tipo	Tipos de depósitos	Participación a nivel mundial	Estado natural	Ubicación de mayores depósitos
Pegmatitas	Espodumeno, petalitas, lepidolitas, amblogonita y eucryptita	26%	Roca dura (a partir de magma cristalizado bajo superficie terrestre)	Australia, Estados Unidos, República del Congo, Canadá
Salmueras	Continental (salares), geotermales y petroleros	66%	Salmueras (arenas, agua y sales minerales)	Triángulo del litio (Argentina, Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia)
Rocas sedimentarias	Arcillas, toba volcánica, rocas evaporitas lacustres	8%	Rocas minerales de esmectita (arcilla), jaradita (evaporita lacustre)	Estados Unidos, México, Serbia (Jadar), Perú (Fachani)

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de COCHILCO (2020), "Oferta y demanda de litio hacia 2030". C. C. d. Cobre, COCHILCO, Santiago.

B. Producción

La producción de litio se concentra en Australia, Chile, China y Argentina. De acuerdo con las estimaciones de USGS, estas cuatro locaciones explicaron, en 2020, más del 95% de la producción mundial, con un fuerte dominio de Australia, que explica casi el 50% de la producción en mina (Gráfico 10). La fuerte concentración geográfica de la producción de litio es uno de los motivos que ha llevado a los principales países productores de BiL a incluir este insumo en una lista de elementos críticos. A partir de ello, han comenzado a desplegar estrategias que les permitan asegurarse a través de distintos medios un aprovisionamiento ininterrumpido del recurso (Kalantzakos, 2020).

Gráfico 10
Distribución de la producción mundial de litio, 2020
(En toneladas de LCE y porcentaje)^{a b}



Fuente: Elaboración propia, sobre la base estadística de U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries.

^a Estimación realizada por el autor.

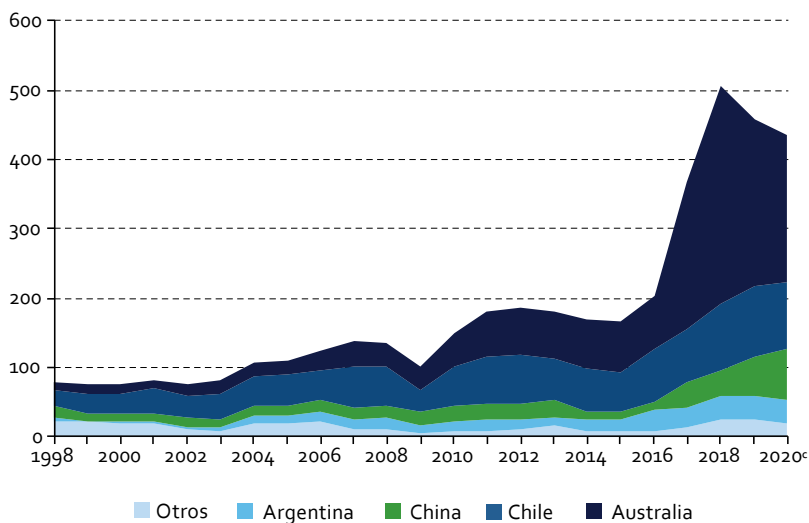
^b Excluye a Estados Unidos.

Aunque la concentración geográfica de la producción es un fenómeno que ha caracterizado a la industria del litio a lo largo de su historia, durante la segunda mitad del siglo XX, la participación relativa de cada país ha cambiado a través de los años. La irrupción en el mercado de la empresa

chilena SQM, a mediados de los años 90s, quebró el equilibrio vigente. Hasta entonces, tres compañías mantenían un oligopolio cooperativo: Cypress Foote Mineral Company⁹, FMC Corporation¹⁰ y Sons of Gwalia (Maxwell, 2015)¹¹.

Como se observa en Gráfico 11, durante la década de los 2000, Chile tuvo una participación promedio del 40% en la producción mundial de litio, mientras que la de Australia se mantuvo en torno al 23%. Allí, aparecieron China y Argentina, cuyas participaciones se ubicaron en 15% y 9%, respectivamente. Durante la década de 2010, el liderazgo cambió: la participación de Chile cayó al 31%, mientras que la de Australia aumentó al 44%. Entre 2015 y 2020, cuando comienza a registrarse un aumento importante de la demanda —y, consecuentemente de los precios—, la brecha entre los dos países se amplió: Australia explicó el 50% de la producción, mientras que el país sudamericano alcanzó un piso de 26%.

Gráfico 11
Evolución de la producción de compuestos de litio, entre 1998 y 2020
(En miles de toneladas de LCE)^{a,b}



Fuente: Elaboración propia, sobre la base estadística de U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries.

^a Valor estimado para el año 2020.

^b Excluye a Estados Unidos.

^c Estimado.

Durante todo este período, el Estado Plurinacional de Bolivia no tuvo producción de compuestos de litio a gran escala. En 2008, el gobierno lanzó una política de explotación e industrialización de los recursos evaporíticos del salar de Uyuni. Desde entonces, se ha avanzado en el desarrollo de procesos productivos, construcción de infraestructura y acumulación de capacidades para llevar adelante la explotación. La producción se mantiene a nivel de planta piloto. La planta industrial se encuentra en proceso de construcción (Obaya 2019).

Son múltiples los factores que contribuyen a explicar la dinámica australiana durante los últimos años, por un lado, y la dificultad de los países del triángulo del litio para aumentar su oferta productiva, por el otro. Uno de los más relevantes es el tiempo de desarrollo técnico que exige un proyecto basado en

⁹ En 1998, Chemetall GmbH, subsidiaria de Metallgesellschaft A.G. adquirió Cyprus Foote Minerals Co. Las operaciones de esta última en la Sociedad Chilena del Litio formaban parte del acuerdo. En 2004, Rockwood Specialties Group, una subsidiaria especializada en productos químicos y de materiales avanzados de la compañía estadounidense Rockwood Holdings Inc. adquirió Chemetall. Otra gran compañía estadounidense, Albemarle Corporation, adquirió Rockwood en julio de 2014.

¹⁰ La actual división especializada en litio de la firma FMC es Livent.

¹¹ Talison Minerals adquirió las divisiones de litio, estaño y tántalo de Son of Gwalia en 2005. Más tarde, en 2013, Tianqi compró a Talison. Hacia finales de aquel año, Rockwood adquirió el 49% de la participación en la firma.

depósitos de salares, que se ubica entre 7 y 10 años (López y otros, 2019). Este argumento vale especialmente para Argentina y para el Estado Plurinacional de Bolivia. En el primer caso, los recursos de litio en el país se distribuyen en distintos salares de dimensión relativamente pequeña. La hidrogeología y la composición química de cada uno de ellos varía y, por lo tanto, los procesos productivos requieren ajustes específicos para cada caso. Asimismo, las tenencias de los salares están distribuidas entre un gran número de empresas junior que, en muchos casos, no tienen trayectoria en el trabajo con salmueras. En el caso boliviano, el salar de Uyuni presenta una composición química compleja para su explotación: la concentración media de litio es menor a la de otros salares de la región, la razón magnesio/litio es muy elevada, y las tasas de evaporación son menores debido a la temporada húmeda que atraviesa la región (Calla Ortega, 2014).

Otro factor que explica las mayores dificultades para desarrollar proyectos en salares es el mayor nivel de inversiones y gastos en capital (CAPEX, por siglās en inglés: *capital expenditure*) que se requieren en relación con los proyectos basados en mineral de roca. Más adelante, se discutirá un tercer factor que también incide en el desarrollo de los proyectos: el marco normativo. Al interior del triángulo del litio, el Estado Plurinacional de Bolivia y Chile tienen sistemas normativos que restringen, a través de distintos mecanismos, la inversión en el desarrollo de salares o el aumento de los niveles de producción (Obaya y Pascuini, 2020).

Recuadro 1
Procesos de producción de carbonato de litio

Proceso de producción de carbonato de litio en salares

El litio se encuentra disuelto en unas pocas partes por millón en la salmuera. El proceso utilizado en la actualidad es comúnmente denominado método "evaporítico". La salmuera es bombeada desde el salar hacia pozas donde el litio se va concentrando por acción de la evaporación solar, el viento y la aplicación de reactivos. El ciclo completo toma entre 12 y 24 meses, dependiendo de las condiciones climáticas (por ejemplo, la presencia de lluvias tiene un impacto negativo, ya que diluye la salmuera). Una vez que se han alcanzado niveles de concentración de alrededor de 6000 partes por millón, el concentrado es procesado en una planta de recuperación. Durante el proceso se remueven las impurezas a través de un proceso químico hasta la obtención de carbonato de litio^a.

Proceso de producción de concentrado de espodumeno

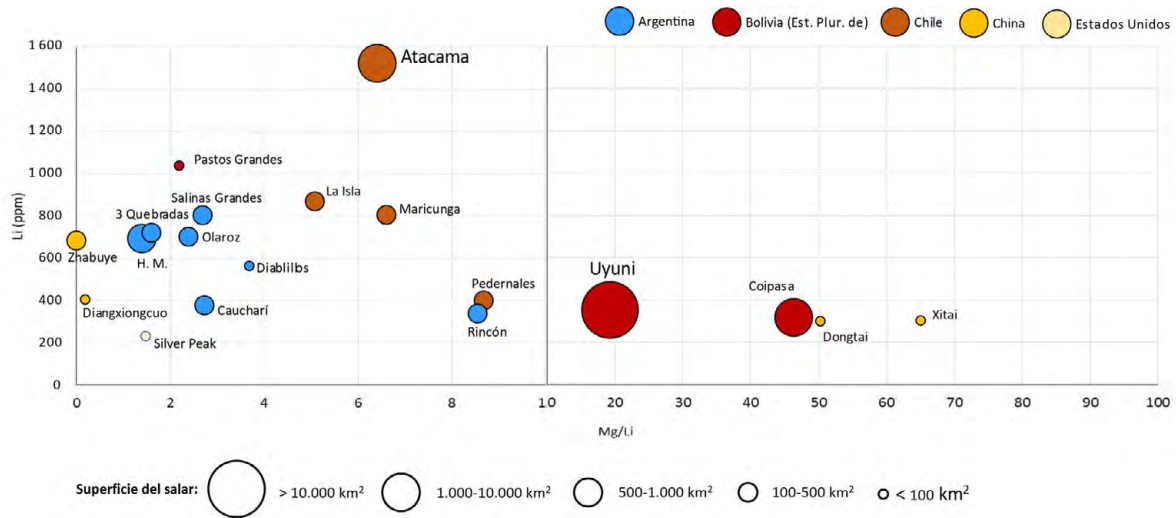
A diferencia del método evaporítico, que es identificado como un proceso productivo más cercano a la industria química, el método de producción en depósitos de mineral de roca se encuadra dentro de la minería tradicional. El material de espodumeno se tritura y clasifica. Luego se realiza un proceso de flotación para obtener un concentrado de espodumeno con un contenido de óxido de litio de 6-6,5%. El concentrado natural se transforma mediante un proceso de calcinación en una forma denominada Beta. La mezcla de sulfato de litio obtenida, el mineral residual y el exceso de ácido se envían a un estanque de lixiviación para obtener soluciones de sulfato de litio. Mediante distintos procedimientos de purificación, concentración y tratamiento con carbonato de sodio se obtiene el carbonato de litio.

Fuente: elaboración propia con base en Flexer y otros (2018); y Tran y Luong (2015).

^a Existen distintos métodos en proceso de desarrollo que aspiran a reemplazar o mejorar el método evaporítico. Ver, por ejemplo, Tran y Luong (2015); Flexer y otros (2018); Xu y otros (2020).

El tipo de depósito tiene una incidencia significativa sobre los costos operativos. En el caso de los salares del triángulo del litio, los costos de producción —excluyendo regalías e impuestos— son inferiores a los depósitos de mineral de roca que se encuentran en Australia. El salar de Atacama, en Chile, donde operan Albemarle y SQM son aquellos con menores costos. La región donde se encuentra el salar presenta un clima muy árido, con tasas muy elevadas de evaporación y una alta concentración de litio. Sin embargo, existe una notable heterogeneidad entre los costos de explotación de los distintos salares. En gran medida, ello es consecuencia de la composición química de los salares. Algunos de los parámetros que tienen incidencia sobre los costos operativos son el nivel de concentración de litio y la relación magnesio/litio (Gráfico 12), También las características climáticas de la región, fundamentalmente los niveles de precipitaciones, ya que afectan los costos a través de su incidencia sobre el proceso de evaporación. Asimismo, debe considerarse que el proceso de explotación de salares conlleva un proceso de aprendizaje más complejo que ralentiza la curva de crecimiento de la producción y la disminución de costos operativos.

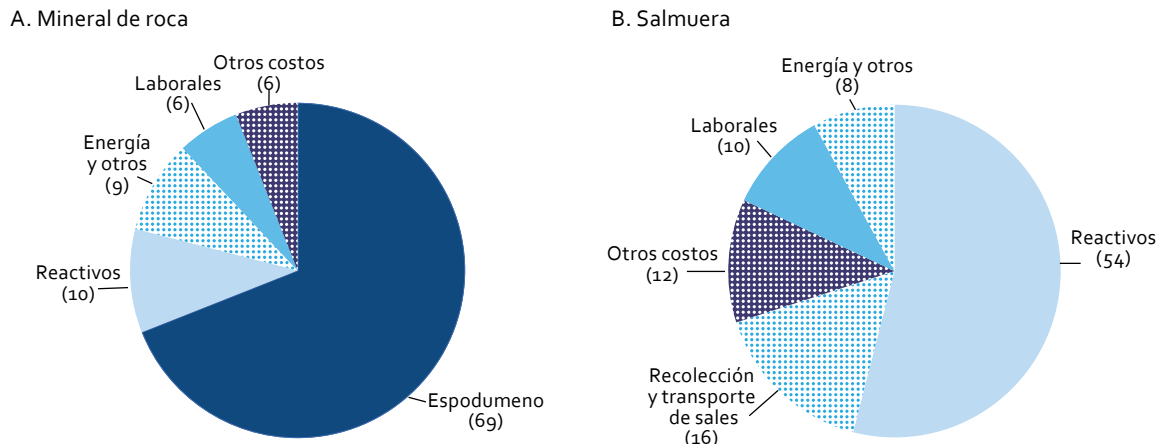
Gráfico 12
Composición química de los salares: concentración de litio versus relación magnesio-litio
 (En partes por millón)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base del Ministerio de Energía y Minería (MINEM, 2018) "Situación actual y perspectivas". MINEM de la República Argentina.

La estructura de costos para la producción de carbonato de litio es muy distinta en cada tipo de depósito. En el caso de los salares, el peso más significativo recae sobre los reactivos, que explican el 54% del costo total. En el caso del mineral de roca, el concentrado de espodumeno representa el principal insumo para la producción: se requieren aproximadamente 8 toneladas para producir 1 tonelada de carbonato de litio. Las plantas de conversión de concentrado de espodumeno obtenido en Australia se localizan en China. Debido a la importancia de este insumo, la integración vertical del segmento mina-planta de conversión resulta importante para los productores de compuestos de litio. De hecho, con la excepción del proyecto Greenbushes, la puesta en marcha de las plantas de producción de concentrado de espodumeno en Australia desde 2016 ha sido posible gracias a acuerdos de compra anticipada con empresas que realizan la conversión a precursores químicos —*off-take agreements*— (Benchmark Mineral Intelligence, 2019).

Gráfico 13
Estructura de costos de producción de carbonato de litio a partir de mineral de roca y salmuera
 (En porcentaje)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de COCHILCO (2020), "Oferta y demanda de litio hacia 2030". C. C. d. Cobre. Santiago, Cochilco; en base a datos de Tianqi.

Un punto importante, que será discutido más adelante, concierne a las empresas que controlan la producción de concentrado y compuestos de litio. Más allá de la localización geográfica de los emprendimientos, el origen de las empresas es un indicador de la capacidad de los países productores de celdas de ejercer cierto control sobre el aprovisionamiento de insumos. Se registran en la industria distintas modalidades de vinculación que difieren notablemente en las distintas regiones y que serán profundizados más adelante. En el caso de Australia, las empresas de capital nacional tienen participación en todos los emprendimientos locales —en algunos casos compartidos con empresas como Ganfeng y Albemarle. La única excepción corresponde a Greenbushes, la operación más grande del país, controlada por una empresa china y estadounidense. Sin embargo, en el caso de la producción australiana de concentrado de espodumeno, el proceso de conversión tiene lugar en plantas localizadas en China que, como se ha señalado, tienen *take-off agreements* con las empresas productoras.

En el caso de Chile, con el ingreso de Tianqi en la propiedad de SQM, los dos emprendimientos operativos en el Salar de Atacama cuentan con participación de países con producción de derivados de litio: Estados Unidos y China. En el caso argentino, ninguno de los proyectos operativos cuenta con empresas de capital nacional (con la excepción de la empresa pública Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (JEMSE), como socio minoritario sin intervención en la gestión), Esta situación no solo concierne a los proyectos operativos, sino también a todos aquellos que están en proceso de desarrollo en distintos niveles. Como se discutirá, esta situación está asociada al marco normativo que regula el recurso en el país, muy orientado a la captación de inversiones extranjeras (Secretaría de Minería, 2020).

Finalmente, en el caso chino, la producción nacional está totalmente controlada por empresas locales. Ello va en línea con la estrategia del país, que busca asegurar una porción de las necesidades de insumo mediante producción local.

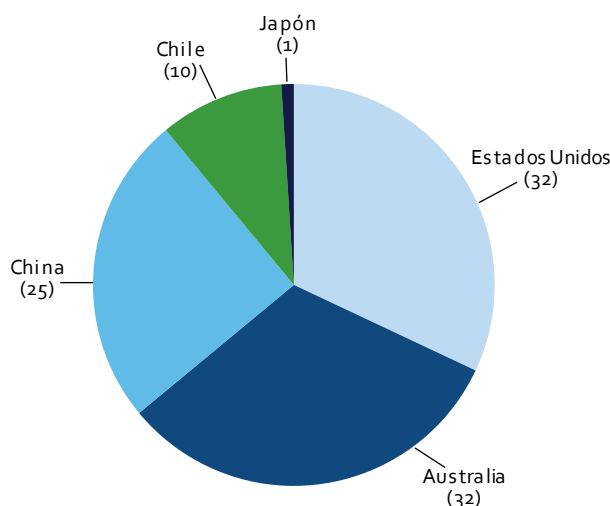
Cuadro 9
Operaciones activas en la producción de concentrado de espodumeno y compuestos de litio en Australia, Chile, China y Argentina

País	Operación	Empresas propietarias	Localización	Capacidad productiva
Australia	Greenbushes	Talison Lithium Pty Ltd Propietarias: Tianqi Lithium 51% (China) Albemarle 49% (Estados Unidos)	Western Australia	120 000 t LCE
	Mt Marion	Propietarias: Mineral Resources Ltd. 50% (Australia) Ganfeng Lithium Co. Ltd. 50% (China)	Western Australia	50 500 t LCE
	Wodgina	Albemarle Corp. 60% (Estados Unidos) Mineral Resources Ltd. 40% (Australia)	Western Australia	56 750 t LCE
	Pilgangoora-Pilbara	Pilbara Minerals Ltd (Australia)	Western Australia	41 600 t LCE
	Mt Cattlin	Galaxy Resources Ltd. (Australia)	Western Australia	24 000 t LCE
	Pilgangoora-Altura	Altura Mining Ltd. (Australia)	Western Australia	27 750 t LCE
	Bald Hill	Alita Resources (Australia)	Western Australia	10 000 t LCE
	Chile	Atacama-SQM	Sociedad Química y Minera de Chile S.A. (SQM) Propietarias: SQM (Chile) Tianqi Lithium Corp 25,86% (China)	Región de Antofagasta
Atacama-Albemarle		Albemarle Corp. (Estados Unidos)	Región de Antofagasta	44 000 t LCE
China	Yichun	Yichun Tantalum Co Ltd (China)	Jiangxi	n.d.
	Chaerhan Lake	Qinghai Salt Lake Industry Co. (China)	Qinghai	15 000 t LCE
	East Taijinair	Western Mining Group (China)	Qinghai	n.d.
	Zhabuye	Tibet Mining Development Co., Ltd. (China)	Tibet	5 000 t LCE
Argentina	Salar del Hombre Muerto	Livent Corp. (Estados Unidos)	Catamarca	22 500 t LCE
	Salar de Olaroz	Sales de Jujuy Propietarias: Orocobre Ltd. 66,5% (Australia) Toyota Tsusho Corp. 25% (Japón) Jujuy Energía y Minería SE (JEMSE) 8,5% (Argentina)	Jujuy	17 500 t LCE

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información oficial de empresas.

El Gráfico 14 muestra la capacidad productiva de concentrado de espodumeno, carbonato e hidróxido de litio a partir de salares y mineral de roca por capital de origen de las empresas propietarias¹². Los resultados difieren mucho de aquellos presentados anteriormente en el Gráfico 10, que mostraba la participación en la producción de acuerdo con el país donde tenía lugar la producción. En este caso, Estados Unidos gana una presencia importante, en particular gracias al papel de Albemarle en Australia y Chile. También China aumenta su participación, gracias a la presencia en estos mismos países. Como se ha señalado, en el caso de Australia, si bien las empresas de capital nacional controlan una parte significativa de la producción, se trata mayormente de concentrado de espodumeno que luego es procesado en China, lo que daría a este último país el control de los compuestos utilizados en el proceso de fabricación de BiL. Chile y Argentina, los países del triángulo del litio, ven reducida su participación sustancialmente cuando se considera la propiedad de las empresas (en el caso de este último casi desaparecen por completo).

Gráfico 14
Capacidad de producción de concentrado de espodumeno, carbonato de litio e hidróxido de litio a partir de salares y mineral de roca desagregado por capital de origen de las empresas propietarias
(En porcentaje)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Datos Estadísticos de las Naciones Unidas sobre el Comercio de Productos Básicos (UN COMTRADE) e informes de empresas operadoras.

Los principales compuestos que se utilizan como precursores para la fabricación de material activo para los cátodos de baterías de ion-litio son el carbonato de litio y el hidróxido de litio. Lejos de ser bienes no diferenciados (comúnmente referidos como *commodities*), en ambos casos existen variedades de productos con calidades y niveles de precio distintos. Un criterio de clasificación común se refiere al nivel de pureza del compuesto, medido en contenido de litio. Por ejemplo, en el caso del carbonato de litio, el grado técnico tiene un contenido mínimo de litio de 99%, mientras se considera grado batería a partir de 99,5%. Cada uno de estos tipos de compuestos se utiliza en la elaboración de distintos productos (Cuadro 10). Aún dentro del grado batería existen distintos niveles de pureza. Las especificaciones exigidas por los productores de baterías tienden a ser cada vez mayores (por encima del 99,9%), especialmente a medida que aumenta la calidad de la batería. Asimismo, las especificaciones técnicas de los compuestos de litio incluyen otros atributos, entre los que se incluyen, por ejemplo, el tamaño de las partículas o niveles máximos de impurezas específicas como sodio, calcio o magnesio.

¹² No se incluyen las plantas de conversión de concentrado de espodumeno, mayormente situadas en China.

Cuadro 10
Usos de principales compuestos de litio

Concepto	Carbonato de litio	Hidróxido de litio
Técnico	Vidrio y cerámica; fundición continua de acero; fundición de aluminio.	Grasas para automóviles, aviones, vagones de trenes, equipos agrícolas o maquinaria.
Batería	Baterías primarias y secundarias de ion-litio	Cátodos (especialmente con alto contenido de níquel),

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Christmann, P., E. Gloaguen, J.-F. Labbé, J. Melleton y P. Piantone (2015), "Global lithium resources and sustainability issues". En: A. Chagnes and J. Swiatowska (editors), *Lithium Process Chemistry. Resources, Extraction, Batteries, and Recycling*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.

C. Comercio

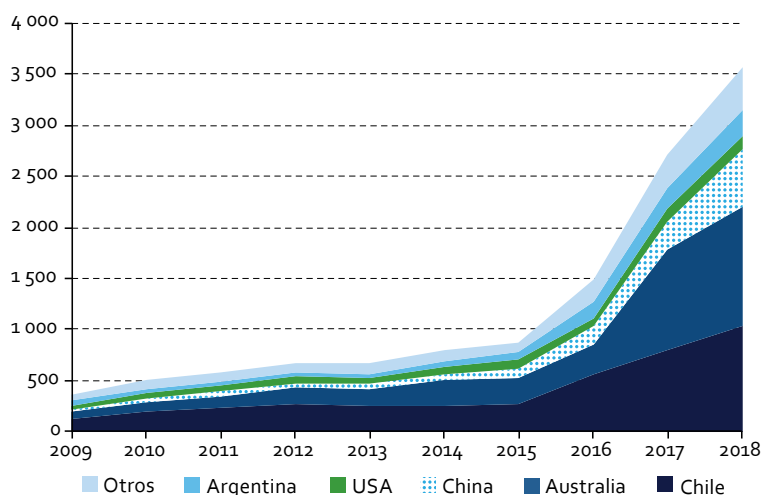
1. Exportaciones

El proceso de fabricación de BILs está marcado por una división del trabajo muy clara entre países, de acuerdo con su patrón de especialización productiva. Por un lado, se encuentran aquellos países especializados en segmentos aguas arriba en el proceso de producción. En el caso del litio, esto corresponde a los productores de concentrado de espodumeno y compuestos de litio (fundamentalmente carbonato e hidróxido de litio), ya sea a partir de salmueras en salares continentales o de la conversión del concentrado. Por otro lado, se encuentran los países focalizados en los segmentos intermedios y aguas abajo, correspondientes a la producción de componentes para la producción de BILs, la producción de celdas, paquetes de baterías y las actividades de reciclado.

La única excepción relevante respecto a este esquema "bipolar" corresponde a China, que ha desarrollado una estrategia dirigida a favorecer la localización en su territorio de un gran número de actividades de la cadena de producción de BILs. En el caso de las actividades aguas arriba la estrategia combina la explotación de depósitos locales con la importación de compuestos de litio y de concentrado de espodumeno para su conversión en plantas locales. Como se verá en la sección siguiente, en gran medida el comercio se da entre empresas controladas por capitales chinos o con aquellas empresas mineras con las que las plantas de conversión chinas han firmado acuerdos de compra anticipada.

Este esquema de división del trabajo al interior de la cadena de producción explica que la evolución del comercio internacional de concentrado de espodumeno y compuestos de litio siga una curva similar a la de producción de estos bienes. En el período comprendido entre 2009 y 2018 las exportaciones mundiales de estos productos se multiplicaron casi por 10. Con la parcial excepción de China, prácticamente el total de lo producido se exporta a los países donde continúa el proceso de producción de BILs.

Gráfico 15
Exportaciones de concentrado de espodumeno, carbonato de litio e hidróxido de litio, 2009 y 2018^a
(En millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Datos Estadísticos de las Naciones Unidas sobre el Comercio de Productos Básicos (UN COMTRADE).

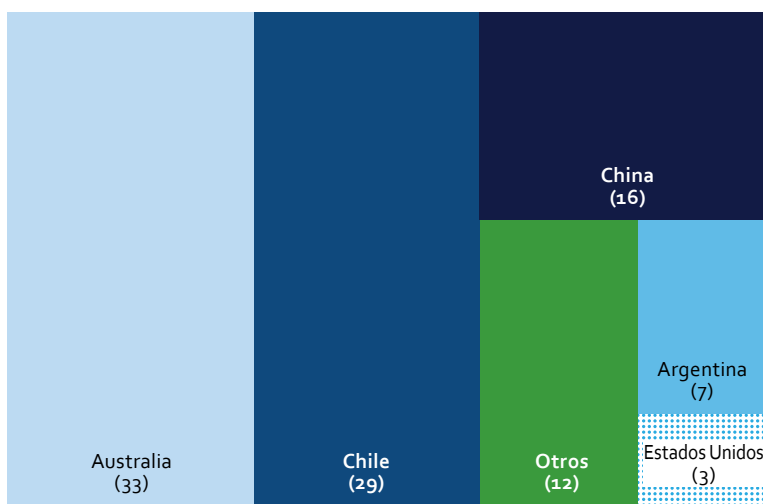
^a Se consideraron las siguientes líneas arancelarias del sistema armonizado. Carbonato de litio 2836.91; óxido e hidróxido de litio 2825.20. En el caso de concentrado de espodumeno, no existe una línea específica para el producto. Siguiendo a LaRocca (2020), se consideró la línea arancelaria 2530.90, correspondiente a otros minerales.

La participación de los países en el total de exportaciones difiere de su participación en el volumen de producción global de litio. Mientras que la brecha entre Australia y Chile en términos de producción alcanzó los 43 puntos porcentuales en 2018 —Australia explicó el 62% de la producción y Chile el 19%—, la diferencia en las exportaciones se redujo a 4 puntos porcentuales aquel mismo año (Gráfico 16), Chile, por su parte, exporta sus compuestos de litio a un valor entre 4,4 y 5,6 veces superior a Australia. Esta diferencia se explica fundamentalmente por el valor unitario de los bienes exportados que, en el caso de Australia, es sustancialmente inferior por tratarse de concentrado de espodumeno (Gráfico 17),

Respecto a la composición de la canasta exportadora, presentada en este último gráfico, cabe destacar que la inserción de Argentina y Chile se basa fundamentalmente la exportación de carbonato de litio, reproduciendo así su patrón de especialización productiva. China, en cambio, se especializa en la producción y exportaciones de hidróxido de litio, fundamentalmente a partir del procesamiento del concentrado de espodumeno australiano. Esto podría tener implicancias en el futuro de la región, puesto que las nuevas tecnologías de cátodo, como se discutirá más adelante, hacen uso de hidróxido de litio. Por ello, se espera que la demanda por este tipo de compuesto aumente más que aquella correspondiente al carbonato de litio.

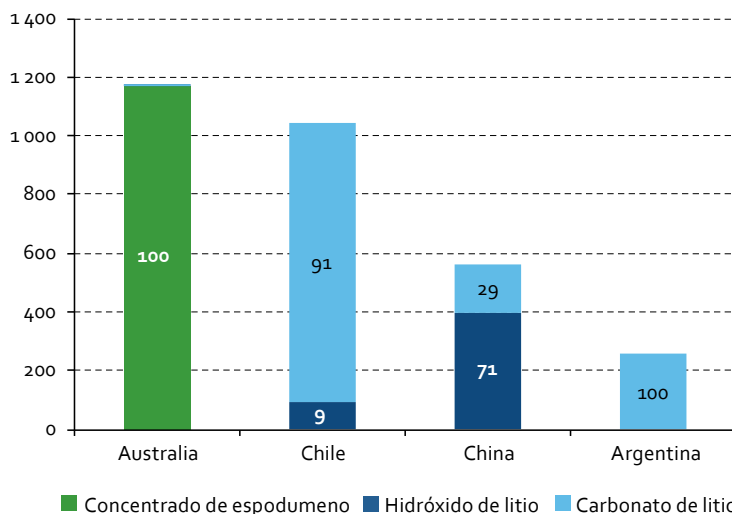
Cabe destacar también que las exportaciones de Chile tienen un valor unitario promedio que es 51% mayor al valor de las argentinas (Gráfico 18), Esto podría explicarse por distintos factores. En primer lugar, una porción de las exportaciones chilenas corresponde a hidróxido de litio, cuyo precio es mayor al del carbonato de litio. En segundo lugar, puede especularse que la calidad del carbonato de litio exportado por las empresas que operan en Argentina sea de menor calidad. En tercer lugar, podría darse el caso que la porción de las exportaciones explicada por comercio de tipo intra-firma (es decir, entre subsidiarias que pertenecen a la misma empresa) sea mayor en las exportaciones argentinas. Podría presumirse que el valor del comercio de ese tipo se realiza en niveles inferiores a los que prevalecen en los acuerdos entre empresas no vinculadas.

Gráfico 16
Participación de países en las exportaciones mundiales de litio, 2018
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Datos Estadísticos de las Naciones Unidas sobre el Comercio de Productos Básicos (UN COMTRADE) e Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) de la República Argentina.

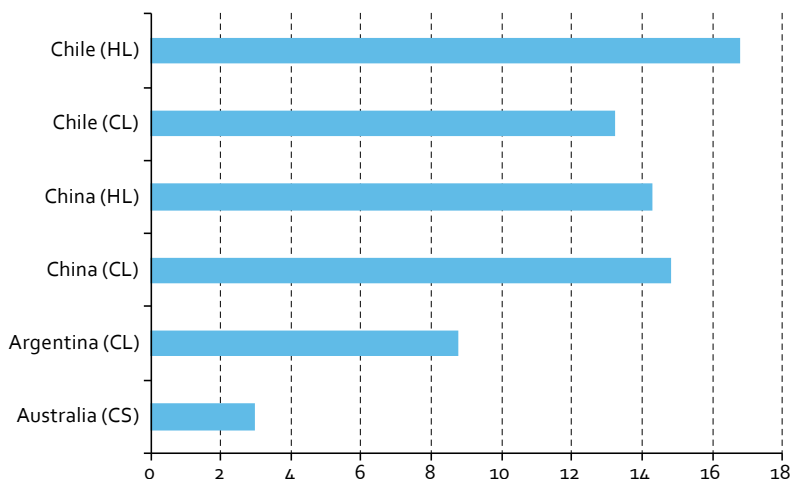
Gráfico 17
Composición de las exportaciones de litio, países seleccionados, 2018
(En millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Datos Estadísticos de las Naciones Unidas sobre el Comercio de Productos Básicos (UN COMTRADE) e Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) de la República Argentina.

Nota: Los valores dentro de las columnas indican la composición de dicho valor en porcentajes de acuerdo con el producto exportado.

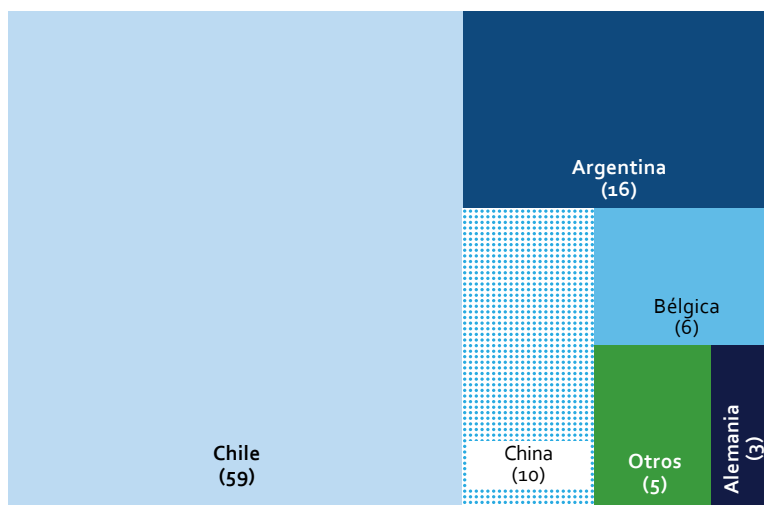
Gráfico 18
Valor unitario de las exportaciones de concentrado de espodumeno y sales de litio, 2018
(En dólares por kilo)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Datos Estadísticos de las Naciones Unidas sobre el Comercio de Productos Básicos (UN COMTRADE).
 Nota: HL: hidróxido de litio y CL: carbonato de litio.

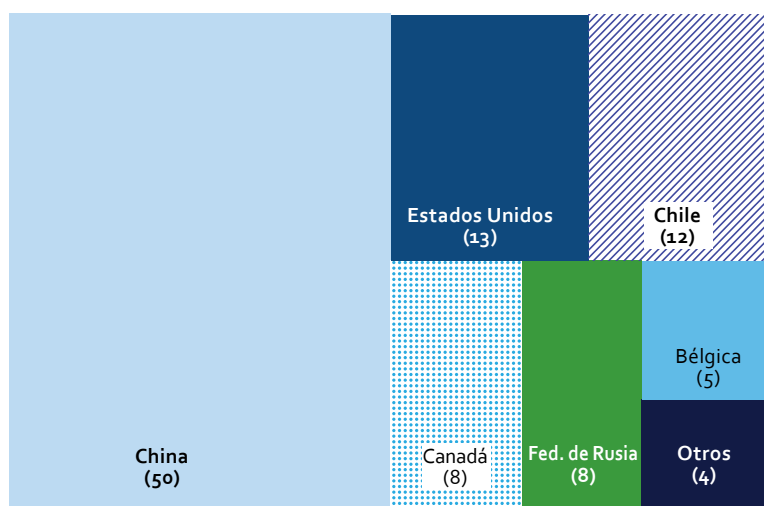
En el caso del carbonato de litio y del hidróxido de litio, los mercados están dominados por Chile (59% de las exportaciones de 2018) —Gráfico 19— y China (50%) —Gráfico 20—, respectivamente. A diferencia de Argentina y Australia, que están especializados en solo un producto, estos países tienen además cierta presencia en el mercado del producto que elaboran en menor cantidad: Chile representó el 12% del mercado mundial de hidróxido de litio en 2018, mientras que China explicó el 10% del mercado de carbonato de litio.

Gráfico 19
Participación en las exportaciones mundiales de carbonato de litio, 2018
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Datos Estadísticos de las Naciones Unidas sobre el Comercio de Productos Básicos (UN COMTRADE).

Gráfico 20
Participación en las exportaciones mundiales de hidróxido de litio, 2018
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Datos Estadísticos de las Naciones Unidas sobre el Comercio de Productos Básicos (UN COMTRADE).

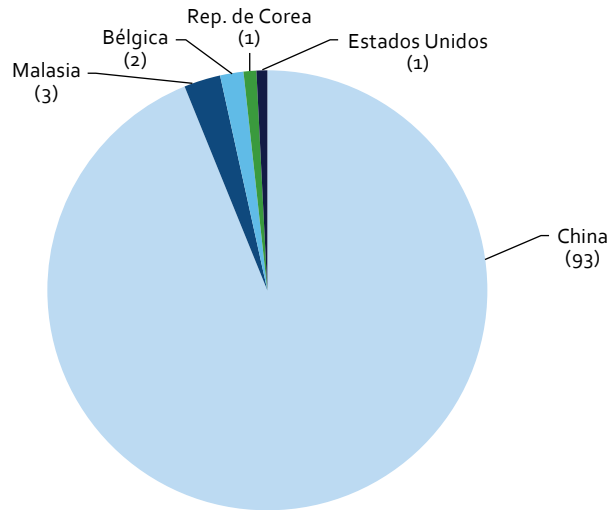
2. Importaciones

Por el lado de las importaciones, el mercado también muestra elevados niveles de concentración geográfica. Esto refleja la preponderancia de los países asiáticos en las actividades de producción de material catódico para BILs. El mercado de concentrado de espodumeno se explica fundamentalmente por la relación bilateral entre Australia y China. En 2018, este país explicó el 93% de las exportaciones australianas de este producto, un aumento considerable, si se tiene en cuenta que en 2014 este porcentaje era del 53,9%¹³. El fuerte crecimiento del comercio tuvo lugar a partir de la entrada en operaciones de

¹³ Debido a las dificultades para conseguir información sobre las importaciones mundiales de concentrado de espodumeno, se ha optado por analizar la participación de distintos países en las exportaciones australianas de este producto.

la mina Greenbushes, en Australia. Como se ha señalado, en China se concentran la mayor parte de las plantas de conversión de concentrado de espodumeno del mundo que tienen participación accionaria en las minas australianas o acuerdos de compra anticipada con las empresas que operan allí.

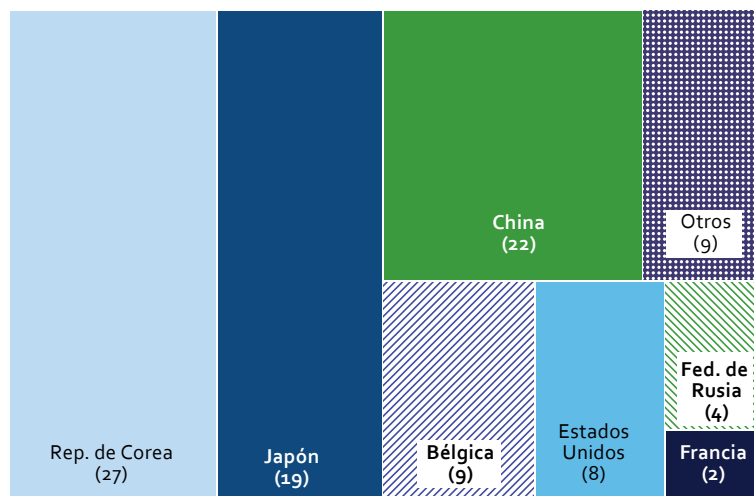
Gráfico 21
Participación de países en las exportaciones australianas de concentrado de espodumeno, 2018
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Datos Estadísticos de las Naciones Unidas sobre el Comercio de Productos Básicos (UN COMTRADE).

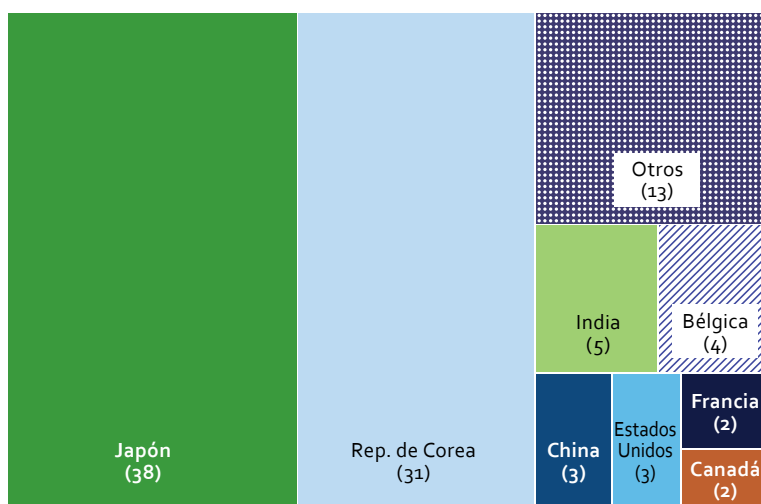
En lo que se refiere al carbonato de litio, Corea, China y Japón explican de manera conjunta el 68% de las importaciones mundiales (Gráfico 22), En el caso del hidróxido de litio, los tres países alcanzan el 72% (Gráfico 23), En este último caso, el peso de China es relativamente insignificante (3%), Esto se debe a que China es un gran productor y exportador de hidróxido de litio, gracias al control de las plantas de conversión de concentrado de espodumeno (Gráfico 20).

Gráfico 22
Participación de países en importaciones mundiales de carbonato de litio, 2018
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Datos Estadísticos de las Naciones Unidas sobre el Comercio de Productos Básicos (UN COMTRADE).

Gráfico 23
Participación de países en importaciones mundiales de hidróxido de litio, 2018
 (En porcentajes)



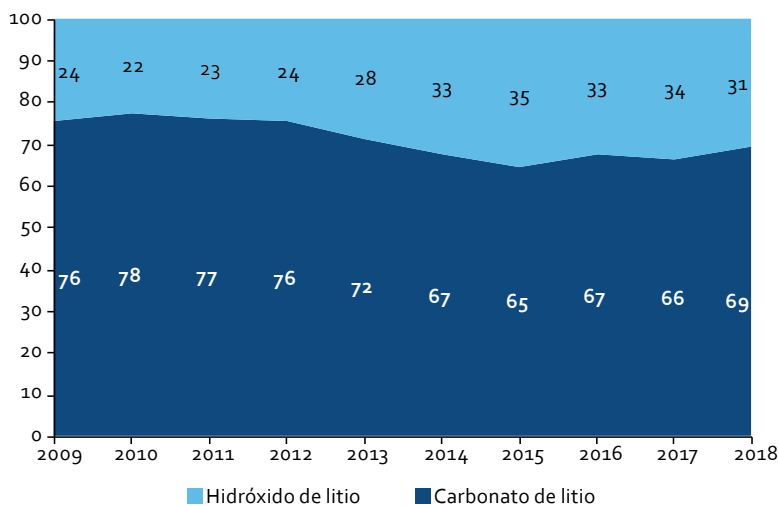
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Datos Estadísticos de las Naciones Unidas sobre el Comercio de Productos Básicos (UN COMTRADE).

Con relación al peso relativo de cada uno de los compuestos de litio en el comercio internacional, se observa un crecimiento del hidróxido de litio durante los últimos años. En el período 2009-2018 el peso de este compuesto pasó de 24% a 31%, mientras que, consecuentemente, el peso del carbonato de litio se redujo de 76% a 69% (Gráfico 24). Este proceso está vinculado, sobre todo, al aumento en la demanda de hidróxido de litio para la producción de aquellas baterías que utilizan níquel en su cátodo. Esta tecnología tiene la ventaja de lograr una mayor densidad de energía en comparación con otras como la de litio ferro fosfato (LFP por siglas en inglés: *lithium ferro phosphate*). En China, los subsidios a la producción se están reorientando de esta última tecnología en favor de aquellas que utilizan cátodos con níquel. Algunas proyecciones para el período 2018-2027 indican un crecimiento de 10-14% para el carbonato de litio y 25-29% para el hidróxido¹⁴.

La elaboración de hidróxido de litio a partir de depósitos en salares presenta desventajas para los países del triángulo del litio. En primer lugar, la producción de hidróxido de litio a partir de salmueras se realiza a partir de carbonato de litio (Grageda y otros, 2020). Este proceso es más costoso que aquel que se realiza directamente a partir de concentrado de espodumeno en las plantas de conversión chinas. En segundo lugar, el almacenamiento y transporte de hidróxido de litio, especialmente su forma micronizada, presenta ciertos desafíos a nivel técnico que tiende a favorecer la co-localización de plantas de producción y de material activo. SQM es la única empresa que tiene capacidad productiva (13.500 t LCE anuales) para elaborar este producto en la región.

¹⁴ <https://www.argusmedia.com/en/news/1836977-lithium-hydroxide-demand-to-overtake-carbonate-aabc>.

Gráfico 24
Participación del carbonato y el hidróxido de litio en comercio mundial
(En porcentaje)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Datos Estadísticos de las Naciones Unidas sobre el Comercio de Productos Básicos (UN COMTRADE).

D. Precios

Durante las últimas tres décadas, el mercado de compuestos de litio se ha caracterizado por su opacidad. Aunque durante los últimos años, la competencia se ha intensificado como consecuencia de la entrada de nuevos jugadores, los procesos de determinación de precio son poco transparentes (ver Recuadro 2). A diferencia de otros recursos mineros, los compuestos de litio no son comercializados a través de centros de negocios como el London Metals Exchange (LME). Los contratos son confidenciales y los precios varían, por ejemplo, de acuerdo con la especificidad técnica del producto, el volumen y los plazos de venta.

Recuadro 2 El mercado de compuestos de litio en perspectiva histórica

Maxwell (2015) realiza un análisis de la evolución de la estructura del mercado de litio para comprender los niveles de transparencia en los precios de los compuestos de litio. Según su análisis, el ingreso de SQM en 1998 rompió el equilibrio vigente hasta entonces, cuando aproximadamente el 80% de la producción global estaba explicada por tres compañías —Cypress Foote Mineral Company, FMC Corporation y Son of Gwalia— que operaban como un monopolio cooperativo. Bajo este esquema, que se remonta a la década de 1960, los precios de referencia eran publicados por los mismos productores.

La irrupción de la empresa chilena transformó el mercado en un oligopolio no-cooperativo y se inauguró un período de secretismo en los precios. El ingreso de SQM redujo los precios en cerca del 50%, presionando a otros productores a seguir el mismo camino. Los compradores fueron obligados a mantener la confidencialidad respecto a las características de sus contratos y la industria perdió los precios de referencia que había tenido durante años. Desde entonces, las compañías productoras comenzaron a publicar los precios en términos de variaciones porcentuales. Con el aumento en el número de productores que tuvo lugar desde 2012, el mercado se ha vuelto más competitivo y se ha ganado una mayor transparencia en relación con los precios.

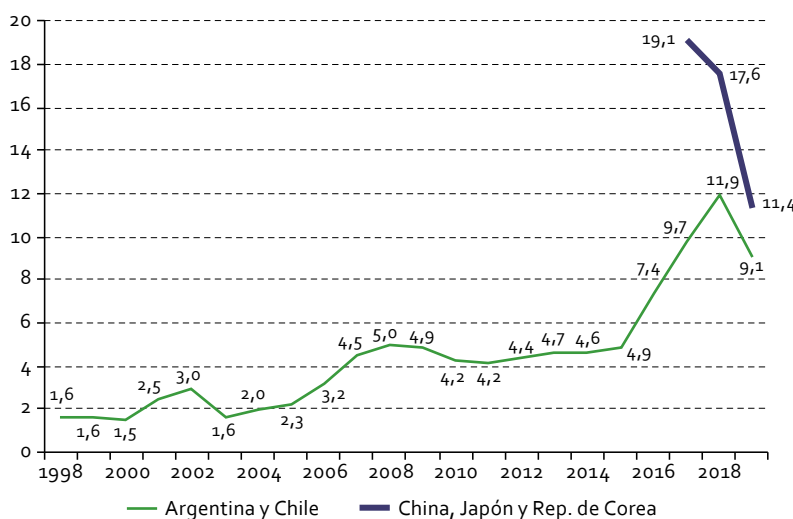
Fuente: Elaboración propia con base en Maxwell, P. (2015), "Transparent and opaque pricing: The interesting case of lithium". *Resources Policy*, 45, 92-97.

Actualmente, los precios de referencia son estimados por empresas especializadas, en base a contactos individuales con participantes involucrados en la compraventa del recurso. Por ejemplo, la consultora especializada en materias primas Fastmarkets ha desarrollado un sistema de información regular de referencia sobre el precio de distintos compuestos de litio que publica desde 2017. Sus

reportes incluyen 25 precios de referencia, de acuerdo con el producto (carbonato de litio, hidróxido de litio, concentrado de espodumeno), el mercado de destino (China, Japón, República de Corea, Estados Unidos, Europa), la calidad del producto, el tipo de transacción (spot, contrato) y la moneda (yuan, dólares estadounidenses)¹⁵. La identificación de precios de referencia es considerada una condición necesaria para el proyecto de desarrollo de un mercado de futuros que lleva adelante LME¹⁶.

Para tener una perspectiva de más largo plazo sobre la evolución de los precios, aquí hemos estimado el precio del carbonato de litio a partir de la relación entre el valor FOB (acrónimo del término en inglés: *Free On Board*, “libre a bordo, puerto de carga convenido” y las cantidades de las exportaciones declaradas en Argentina y Chile durante las últimas dos décadas. Como se observa en el Gráfico 25, es posible reconocer distintos niveles de precio a través del tiempo. El primer nivel se extiende hasta mediados de la década del 2000 y se ubica en torno a los US\$ 2.000 por tonelada. Durante este período, las baterías aún eran un nicho entre los usos de compuestos de litio, ya que representaban menos del 10% de la demanda. El siguiente nivel comprende el período que va de 2006 a 2015, con valores en torno a los US\$ 4.500 por tonelada. Aquí, comienza a crecer la demanda de compuestos para baterías, que llegan a representar alrededor del 30% de la demanda. Desde entonces, los precios escalaron fuertemente alcanzando valores promedio de US\$ 12.000 por tonelada. Durante el pico del mercado, algunas empresas cerraron contratos por la venta de carbonato de litio por encima de los US\$ 25.000 por tonelada (Bohlsen, 2018).

Gráfico 25
Precios de exportación de carbonato de litio en Argentina y Chile^a (FOB) y precios spot de carbonato de litio grado batería en China, Japón y República de Corea^b
(Dólares por kilo)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Datos Estadísticos de las Naciones Unidas sobre el Comercio de Productos Básicos (UN COMTRADE) e Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) de la República Argentina y Fastmarkets.

^a El precio es calculado en base al promedio ponderado del valor FOB y las cantidades de exportaciones de carbonato de litio.

^b Fuente: Fastmarkets.

Si se toman los valores estimados por Fastmarkets para el carbonato de litio grado batería en los principales mercados de destino, se observa que el precio unitario registrado por las aduanas de Argentina y Chile se encuentra por debajo del precio promedio del mercado (Gráfico 25). Como se ha señalado, esto puede deberse a múltiples factores: las exportaciones desde estos países corresponden en parte a productos que no alcanzan el grado batería; una gran porción de las exportaciones corresponde a ventas

¹⁵ Más información sobre los productos de referencia y la metodología de cálculo en <https://www.fastmarkets.com/Media/Files/PRA/FMV2/pdfs/methodology/Price-specifications/fm-mb-lithium.pdf>.

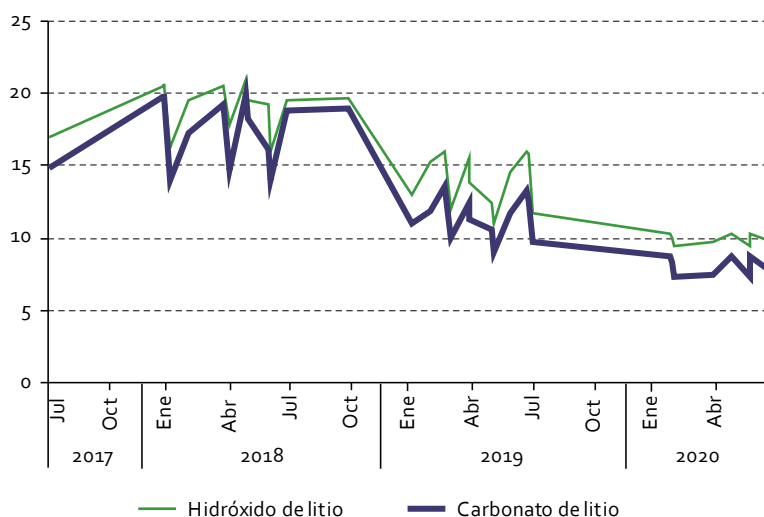
¹⁶ El primer tipo de contrato de futuros lanzado por LME corresponde al hidróxido de litio. Para ver información sobre la iniciativa, véase: <https://www.lme.com/en-GB/Metals/Minor-metals/Lithium-prices#tabIndex=0>.

realizadas a través de contratos a plazo, que tienen precios por debajo de los valores *spot*; una parte las exportaciones corresponden a comercio intra-firma, que se realiza por debajo de los valores de mercado.

La evolución reciente está vinculada a un crecimiento sostenido de la demanda, principalmente con origen en productores de insumos para BILs para vehículos en Asia, y a restricciones por parte de la oferta para hacer frente a esa demanda. A partir de 2015, el comportamiento del mercado dio cuenta de la incapacidad de satisfacer el fuerte crecimiento de la demanda proveniente de China. Esta tensión se redujo con la entrada en funcionamiento de nuevas minas en Australia. Sin embargo, el nuevo equilibrio de precios se mantuvo en valores superiores a los de 2015 (Barrera, 2019).

Considerando los precios de referencia publicados por Fastmarkets, se aprecia que el carbonato de litio ha tenido, en general, un precio inferior al hidróxido de litio (Gráfico 26). Desde 2019, la brecha entre los precios de ambos productos se ubicó por encima del 20%. Aun cuando ciertos analistas sostienen que esta diferencia se mantendrá en el corto plazo —principalmente debido a las restricciones de oferta que enfrenta el hidróxido—, existen dudas sobre la evolución en el largo plazo. Algunos sostienen que el aumento de la producción de hidróxido de litio, los menores costos para su elaboración a partir del concentrado de espodumeno, así como las dificultades para su almacenamiento podrían llevar a una convergencia entre ambos precios (Barrera, 2019).

Gráfico 26
Evolución reciente del precio del carbonato de litio y el hidróxido de litio
(En dólares por kilo)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Fastmarkets.

Notas: a Carbonato de litio con pureza mínima de 99,5%, grado baterías, precio spot CIF en China, Japón y República de Corea; y b Hidróxido de litio mono hidrato con pureza mínima de 56,5%, grado batería, precio spot CIF (acrónimo del término en inglés: *Cost, Insurance and Freight*, "Coste, seguro y flete, puerto de destino convenido") en China, Japón y República de Corea.

E. Desarrollo de nuevos proyectos

La creciente demanda de compuestos de litio proyectada para las próximas décadas y el incremento de los precios de estos productos ha motivado un fuerte aumento en las actividades de exploración para el desarrollo de nuevos emprendimientos. Este proceso se ha dado tanto entre los principales productores de litio —Argentina, Australia, Chile y China— así como también entre productores menores —como Brasil. Asimismo, grandes regiones fabricantes de vehículos, como la Unión Europea y Estados Unidos, que no cuentan con producción de litio a gran escala, han reforzado sus actividades de exploración y la investigación en métodos que permitan extraer y procesar litio a escala industrial de depósitos con bajos niveles de concentración. Estas iniciativas están motivadas, en gran medida, por los factores que han llevado a incluir al litio entre la lista de elementos críticos en ambas regiones (Kalantzakos 2020).

En esta sección, se presentarán los desarrollos que se encuentran con un mayor grado de avance, tanto en los países del triángulo del litio (Capítulo IV, parte E, inciso 1) como en países fuera de la región (Capítulo IV, parte E, inciso 2). En el Diagrama 2 y el Cuadro 11 se presentan algunas clasificaciones y definiciones básicas sobre las distintas etapas del desarrollo de proyectos mineros, con particular referencia al caso del litio, que serán utilizadas a lo largo del documento.

Diagrama 2
Clasificaciones y definiciones básicas sobre el desarrollo de proyectos mineros



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 11
Etapas de un proyecto minero

Concepto	Exploración generativa	Exploración intermedia	Exploración avanzada	Ingeniería de perfil Diagnóstico (Evaluación Económica Preliminar o PEA)	Ingeniería Conceptual (Prefactibilidad)	Ingeniería Básica (Factibilidad)
Objetivo	Concebir ideas y criterios para el hallazgo de un depósito minero Fotos satelitales, informes, mapas Modelos para la predictibilidad de hallazgos mineros Relaciones comunitarias Declaración IA	Trabajos de terreno para identificar "blanco". Aplicación estudios geo científicos Primeros datos de superficie Preparación de malla para perforaciones y otras Relaciones comunitarias.	Perforaciones para identificar y delinear hallazgo Muestreo, test metalúrgicos Modelo geológico de estimación de recursos/reservas Relaciones comunitarias Evaluación de impacto ambiental	Uso de datos aproximados para delimitar el cuerpo mineral y sentar escenarios productivos Selección de equipos/maquinarias Cotizaciones preliminares Otros permisos Consultas con la comunidad	Selección de un escenario productivo. Datos confiables, oficiales. Mayor valor agregado Instalaciones formales. Procesos explícitos Otros permisos Consultas con la comunidad	Actividades destinadas a optimizaciones y/o cambios menores. Informes Finales Todos los permisos obtenidos Consultas con la comunidad
Inventario	Anomalías	Prospecto	Depósito	Recursos Inferidos Recursos Indicados	Recursos Inferidos Recursos Indicados Recursos Medidos	Reservas Probables Reservas Probadas
Financiamiento	Capital de riesgo			Mercado		

Fuente: Elaboración propia.

1. Nuevos desarrollos en el triángulo del litio

El Cuadro 12 resume la información básica sobre los proyectos más avanzados en los países del triángulo del litio. Su concreción redundaría en un aumento significativo de la capacidad productiva de la región. Sin embargo, como se indica, se verifican distintos niveles de desarrollo. Asimismo, hay algunos factores que han ralentizado la marcha de las inversiones o, directamente, llevado a la suspensión de los proyectos: en primer lugar, la desestabilización de la situación macroeconómica en Argentina, que motivó la implementación de control de capitales y otras medidas que afectan los modelos de inversión y negocios de las operadoras; en segundo lugar, la pandemia del Covid-19 y las medidas sanitarias adoptadas para su mitigación han implicado restricciones a las operaciones de las empresas.

Argentina es el país con mayor cantidad de proyectos en desarrollo. Se encuentra en curso la ampliación de dos explotaciones que ya están operativas (Minera del Altiplano y Sales de Jujuy), la construcción de dos proyectos nuevos, 10 proyectos que han superado la fase de análisis de factibilidad, 6 en fase de exploración avanzada y más de 40 proyectos en fase temprana de desarrollo (Secretaría de Minería, 2020). El alto número de iniciativas se puede explicar por dos factores. El primero es de naturaleza geológica: existen 23 salares en la región de la Puna con concentraciones de litio que permitirían su explotación en condiciones económicamente rentables (Secretaría de Minería, 2020). El segundo factor es de tipo normativo: Argentina es el país de la región con un régimen más abierto para el ingreso de empresas a las actividades de exploración y explotación de salares (Obaya y Pascuini, 2020). Otro rasgo distintivo de Argentina respecto a sus vecinos es que todos los proyectos están liderados por empresas extranjeras. La única excepción es la participación accionaria de la empresa provincial JEMSE en Sales de Jujuy.

En el Estado Plurinacional de Bolivia, el proyecto más avanzado para producir compuestos de litio está liderado por la empresa pública Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB), en el salar de Uyuni. El mismo cuenta con una planta piloto, mientras que se ha iniciado —con importantes demoras— la construcción de una planta industrial con capacidad de producción anual de 15.000 t LCE. En 2018, YLB creó una empresa mixta con la empresa alemana ACI Systems (ACISA) que tenía como finalidad la producción anual de 30.000 t LCE de hidróxido de litio a partir de la salmuera residual que quedaría disponible de los procesos de producción desarrollados por YLB (Obaya 2019). El contrato de asociación, sin embargo, quedó sin efecto, ya que el Decreto Supremo Nro. 3738, que establecía la creación de la empresa mixta, fue abrogado por el ex Presidente Evo Morales en noviembre de 2019. El presidente Luis Arce, quien asumió la presidencia en octubre de 2020, deberá decidir si reanuda la asociación con ACISA o cambia el modelo de negocios para YLB.

En el caso de Chile, SQM y Albemarle anunciaron la expansión de su capacidad productiva en el país, a partir de los nuevos contratos firmados con la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) (Poveda, 2020). Asimismo, las empresas públicas mineras, Corporación Nacional del Cobre (CODELCO) y la Empresa Nacional de Minería (ENAMI), que tienen tenencias en salares otorgadas antes de las restricciones impuestas por el marco normativo chileno, manifestaron su interés por iniciar la búsqueda de socios estratégicos con quienes llevar adelante la explotación.

Cuadro 12
Proyectos^a en desarrollo en el triángulo del litio^b

País	Proyecto	Compañía	Origen de la compañía	Capacidad Prevista	Estado
Argentina	Ampliación Salar del Hombre Muerto	Livent	Estados Unidos	6 000 t LCE (adicionales)	En construcción
	Ampliación Salar de Olaroz	Orocobre	Australia	25 000 t LCE (adicionales)	En construcción
		Toyota	Japón		
		JEMSE	Argentina		
	Olaroz -Cauchari	Ganfeng Lithium	China	40 000 t LCE	En construcción
		Lithium Americas Corp	Canadá		
	Centenario-Ratones	Eramet	Francia	24 000 t LCE	En construcción (suspendida)
	Sal de los Ángeles	NextView New Energy Lion HK Ltd (Tibet Sumit)-Hanaq	China, Hong Kong	25 000 t LCE	Factibilidad en curso Planta piloto
	Sal de Vida	Galaxy Resources Ltd.	Australia	25 000 t LCE	Factibilidad Planta Piloto Ingeniería de pozas de producción en curso
	Salar del Rincón	Rincon Ltd.	Australia	25 000 t LCE 50 000 t LCE	Factibilidad Planta demostración
	Pastos Grandes	Millennial Lithium	Canadá	24 000 t LCE	Factibilidad Planta piloto
	Tres Quebradas	Neo Lithium Ltd.	Canadá	20 000 t LCE	Prefactibilidad (mayo 2019) Factibilidad en proceso Planta piloto alcanzó nivel de pureza (99,1%)
	Sal de Oro	Posco	República de Corea	25 000 t LCE	Exploración avanzada Planta Piloto
Rincon Lithium Project	Argosy Minerals Ltd. (77,5%) + Privados	Australia	10 000 t LCE	(PEA) Evaluación económica previa Planta piloto	
Estado Plurinacional de Bolivia	Salar de Uyuni	YLB	Estado Plurinacional de Bolivia	15 000 t LCE (carbonato de litio)	Planta Piloto
		ACISA	Alemania	30 000 t LCE (hidróxido de litio)	En construcción
Chile	Ampliación de planta química La Negra	Albemarle	Estados Unidos	42 500 t LCE (adicionales)	En construcción
	Salar del Carmen (ampliación)	SQM	Chile	40 000 t LCE (adicionales)	Aprobación ambiental otorgada
	Planta carbonato de litio (ampliación)	SQM	Chile	110 000 t LCE (adicionales)	En desarrollo

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de informes oficiales de empresas.

^a Los proyectos se han demorado por las restricciones impuestas por los gobiernos nacionales para hacer frente a la pandemia del Covid-19.

^b La información relevada corresponde a noviembre de 2020.

2. Desarrollos en países fuera del triángulo del litio

Fuera del triángulo del litio se identifica un gran número de proyectos en desarrollo. Australia, el mayor productor del mundo, tiene solo un proyecto en estado avanzado para el cual se realizó el estudio de factibilidad. Sin embargo, su avance se encuentra en suspenso, y las empresas propietarias, Wesfarmers y SQM, anunciaron que la decisión sobre la inversión se tomaría en el primer trimestre de 2021¹⁷.

En lo que respecta a otros países fuera del triángulo del litio, se observa un amplio número de iniciativas mucho más heterogéneas, tanto con relación al tipo de depósito, así como también a su grado de avance (Cuadro 13). Por tratarse mayormente de proyectos basados en recursos “no tradicionales”, aumenta notablemente el grado de incertidumbre sobre su factibilidad económica. En estos casos, el litio se encuentra en menores niveles de concentración y, en algunos casos, se requiere el desarrollo de nuevos procesos productivos, como en los casos de las arcillas, la jadarita o las salmueras hidrocarbúferas. Resulta difícil, por lo tanto, especular sobre la posibilidad de que estas iniciativas se materialicen efectivamente en proyectos productivos.

Entre los proyectos identificados, cabe destacar que siete de ellos se encuentran en los tres países de América del Norte: Canadá, Estados Unidos y México. Esto responde, en gran medida, al interés por lograr un mayor nivel de aprovisionamiento interno para la industria automotriz de aquella región, con menor dependencia de fuentes externas —y, en especial, de China. La consideración del litio como elemento crítico, ha hecho que distintas agencias del gobierno de los Estados Unidos, como el Departamento de Energía o el USGS, se hayan orientado al desarrollo del recurso.

Más allá de los proyectos incluidos en el Cuadro 13, existen otras iniciativas en estado menos avanzado de desarrollo. Entre ellas, cabe destacar algunas que tienen lugar en Europa. En el marco de la Alianza Europea de Baterías, los países de la región están buscando desarrollar fuentes locales de insumos para la producción de batería, además de asegurarse el aprovisionamiento por parte de países ricos en recursos fuera de la región. Sin embargo, varios factores ponen a Europa en situación de desventaja frente a otras regiones. En primer lugar, los depósitos presentan menores concentraciones de litio que, por ejemplo, los salares sudamericanos. En segundo lugar, las regulaciones ambientales son muy estrictas, en particular con referencia a la minería. Por ello, se requiere desarrollar métodos, en particular en el caso de los depósitos en roca, cuyo impacto ambiental se adecúe a los estándares vigentes.

En este marco, por ejemplo, la iniciativa europea para la innovación en energías sustentables, EIT InnoEnergy, se ha asociado con una *start-up* especializada en la exploración de litio, Vulcan Energy Resources Limited, con el propósito de desarrollar en Alemania la primera explotación de litio neutral en carbono en el mundo. El emprendimiento se desarrollará en depósitos de salmuera geotermal en las regiones de Baden-Wurtemberg¹⁸ y Renania-Palatinado. Parte de la energía generada será utilizada para alimentar el proceso mismo de explotación, mientras que el exceso de energía será un subproducto que se podrá reinyectar en la red¹⁹.

En Finlandia, la empresa Keliber recibió en marzo de 2020 financiamiento de la agencia estatal Business Finland para desarrollar un proyecto para producir hidróxido de litio en Suecia. Los recursos probables y probados de la mina en la región de Ostrobothnia Central alcanzan los 9,3 millones de toneladas de LCE. La empresa prevé producir 15.000 toneladas LCE anuales de hidróxido de litio.

Más allá de la Unión Europea, en el Reino Unido, la empresa Cornish Lithium busca recuperar la antigua explotación minera de Cornwall, a partir de la explotación de litio en depósitos de agua termal²⁰. A tal fin, ha desarrollado un método de extracción directa y construirá una planta piloto. El proyecto recibió financiamiento de un fondo del gobierno británico, el Faraday Institute, para el desarrollo de tecnología de baterías.

¹⁷ Fuente: <https://www.reuters.com/article/us-wesfarmers-projects-mtholland/australias-wesfarmers-defers-lithium-project-investment-decision-idUSKBN1ZM1A0>.

¹⁸ Cabe destacar que esta región también alberga a la firma ACISA, que creó una asociación estratégica con YLB para explotar el salar de Uyuni, en Bolivia.

¹⁹ Más información en <https://v-er.com/zero-carbon-lithium/>.

²⁰ Más información en <https://www.cornishlithium.com/>.

Cuadro 13
Proyectos en desarrollo seleccionados fuera del triángulo del litio

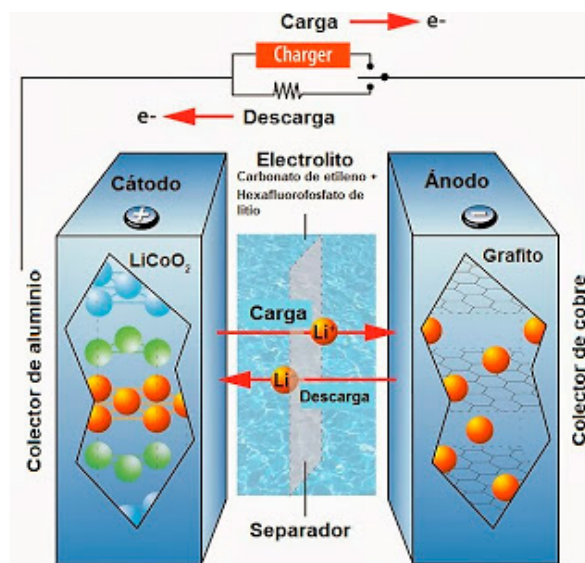
Ubicación	Proyecto	Compañía	Estado	Capex (mn US\$)	Capacidad anual de producción (t LCE)	Recurso mineral	Recursos medidos e indicados
Mt Holland (Australia)	Mt Holland	Wesfarmers (Australia) SQM (Chile)	Estudio de factibilidad realizado (decisión de inversión en 2021)		45 000 t LCE de hidróxido de litio	Pegmatita	94,2 mt LCE (probados y probables)
Minas Gerais (Brasil)	Mibra	AMG Lithium	En operación con ampliación proyectada	50	5 000 t LCE (ampliación proyectada a 13.500)	Pegmatita	0,53 Mt LCE
Nevada (Estados Unidos)	Clayton Valley	Cypress Development Corp.	Prefactibilidad	493	27 400	Arcilla	5,2 Mt LCE
	Thacker Pass	Lithium Americas	Prefactibilidad	581 (Fase 1)	30 000	Arcilla	5,98 Mt LCE
	Clayton Valley Lithium Project	Pure Energy Minerals	Evaluación económica preliminar	297	10 000	Salmuera	0,22 Mt LCE
Arkansas (Estados Unidos)	Lanxess Project	Standard Lithium	Evaluación económica preliminar	437	20 900	Salmuera hidrocarburífera	3,14 Mt LCE (indicados)
Sonora (México)	Sonora Lithium	Bacanora Lithium (+ Ganfeng)	Factibilidad	419,6 (Fase 1)	17 500	Arcilla	5,04 Mt LCE
Alberta (Canadá)	Leduc Reservoir	E3 Metals Corp	Exploración Avanzada	-	-	Salmuera hidrocarburífera	-6,7 Mt- LCE (inferido)
Quebec (Canadá)	Authier	Sayona Mining Limited	Factibilidad	91	13 000	Pegmatita	0,43 Mt LCE
Puno (Perú)	Falchani Lithium	Plateau Energy Metals	PEA (Evaluación económica preliminar)	586,9 (Fase 1)	23 000	Toba	0,78 Mt LCE
Mačva, Serbia	Jadar Lithium	Río Tinto	Análisis de factibilidad en curso	-	-	Jadarita	6,2 Mt LCE

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de informes oficiales de empresas.

V. Baterías y sus componentes

El Diagrama 3 ilustra los principales componentes de una BiL: los electrodos (cátodo y ánodo), el electrolito y un separador. Durante el proceso de carga, los iones de litio se mueven del electrodo positivo (cátodo) y fluyen hacia el electrodo negativo (ánodo). El proceso de descarga se produce cuando los iones fluyen de regreso hacia el cátodo. El desplazamiento de los iones de litio se da a través del electrolito, que es el medio orgánico —en la tecnología actual, de composición líquida— que proporciona las vías conductoras para el movimiento de los iones (Cheng y otros, 2019; Duan y otros, 2020). El separador es una fina membrana porosa que permite la transferencia de iones de litio al tiempo que evita el contacto físico de los electrodos evitando cortocircuitos (Sharova y otros, 2020).

Diagrama 3
Principio operativo de una batería de ion litio (BiL)

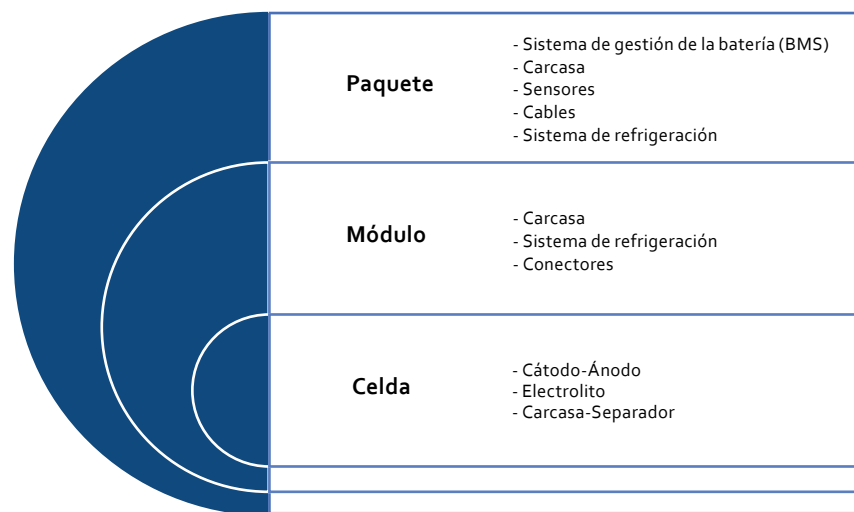


Fuente: Argonne National Laboratory.

La energía es generada por el movimiento de iones de litio al interior de la batería. Si bien el litio es el elemento clave para el funcionamiento de la batería, su fabricación requiere otros componentes como el cobalto, el grafito y el níquel. Algunos de ellos tienen, al igual que el litio, un carácter crítico para los fabricantes de BiL, en particular debido a la concentración geográfica de su provisión.

La integración de los componentes incluidos en el Diagrama 3 —cátodo, ánodo, electrolito y separador— forman una celda de la batería. La agrupación de varias celdas de baterías conforma un módulo, que incorpora una carcasa, los sistemas de refrigeración y los conectores. Para el caso de vehículos eléctricos, los módulos se agrupan en un “paquete de baterías”, que incluye una carcasa exterior, un sistema de gestión y control de la batería, sensores y sistema de refrigeración (Huisman y otros, 2020b) — Diagrama 4.

Diagrama 4
Paquetes de baterías, módulos y celdas para vehículos eléctricos



Fuente: Huisman, J., T. Ciuta, F. Mathieux, S. Bobba, K. Georgitzikis and D. Pennington (2020b), RMIS, raw materials in the battery value chain: final content for the Raw Materials Information System: strategic value chains: batteries section., Joint Research Centre (European Commission).

A. Electrodo

Las celdas de las BiL constan de dos electrodos. El electrodo negativo (ánodo) es donde los iones de litio se almacenan durante el proceso de carga. La mayoría de las baterías utilizan grafito como principal componente del ánodo, ya que este elemento tiene una estructura estable. Existen nuevos desarrollos que buscan reemplazar el grafito por litio metálico o silicio cuyos resultados son muy alentadores para su uso en la próxima generación de BiL, especialmente para vehículos eléctricos (Wu y Kong, 2018).

Desde el inicio de la comercialización de BiL en los años '90, la tecnología del ánodo se ha desarrollado menos que la del cátodo. Este último es el que contiene los compuestos de litio y determina la capacidad y el voltaje de la BiL. A partir de la creciente demanda y de la exigencia por mejorar el rendimiento de las celdas, los esfuerzos de las empresas y de la comunidad científica se han concentrado en el desarrollo de innovaciones en cátodos, buscando, por ejemplo, reducir la resistencia interna y aumentar la densidad energética en las celdas de la batería (Sharova y otros, 2020).

El cátodo está compuesto de óxidos metálicos o fosfatos que dan lugar a varias combinaciones posibles que tienen una incidencia significativa sobre distintos atributos de la batería. No existe una combinación de

elementos única para la producción de un tipo de cátodo ideal, ya que la elección dependerá de las condiciones demandas por el producto al que esté destinado la batería. Por ejemplo, el óxido de níquel manganeso litio (LMNO, por siglas en inglés: *Lithium manganese nickel oxide*) es un cátodo con alto rendimiento, bajo costo de fabricación y bajo impacto ambiental, pero todavía presenta desafíos debido a su corto ciclo de vida, lo representa un límite a su comercialización a gran escala (Liang y otros, 2020). El Cuadro 14 presenta los principales tipos de cátodo en BiL, con sus principales aplicaciones y características.

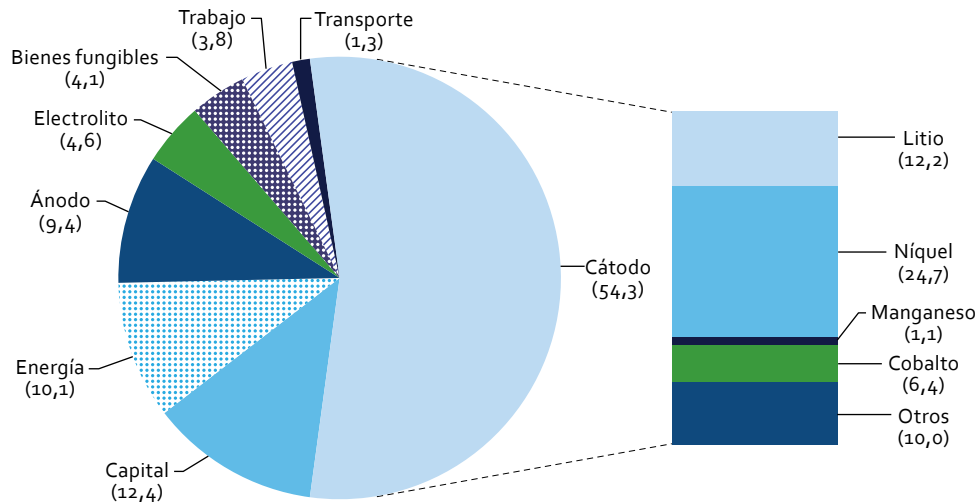
Cuadro 14
Principales aplicaciones y características de los principales tipos de cátodos

Tipo de cátodos	Aplicaciones	Características
Óxido de Cobalto Litio (LCO)	Teléfonos móviles, laptops, cámaras	Ventajas: - Alta energía específica y rendimiento. Desventajas: - Baja resistencia y estabilidad ante altas temperaturas. - Vulnerable a la fluctuación de precios de cobalto. - Posibles impactos ambientales negativos si la batería no es reciclada adecuadamente.
Óxido de Manganeso Litio (LMO)	Dispositivos médicos, herramientas de trabajo	Ventajas: - Alto rendimiento y resistencia al calor. Desventajas: - Deficiente ciclos de carga-descarga.
Óxido de Níquel Manganeso Cobalto Litio (NMC)	Bicicletas eléctricas, equipos médicos, vehículos eléctricos	Ventajas: - Alta capacidad energética. - Procesos continuos de carga-descarga. - Bajo costo gracias al reducido contenido de cobalto. Desventajas: - Seguridad
Fosfato de Hierro Litio (LFP)	Herramientas portátiles, vehículos eléctricos	Ventajas: - Estabilidad térmica y baja probabilidad de sobrecarga. Desventajas: - Menor densidad energética. - Alto costo en relación a potencia
Óxido de Níquel Cobalto Aluminio Litio (NCA)	Equipos médicos, industriales, vehículos eléctricos	Ventajas: - Alta densidad energética. - Alta resistencia térmica. Desventajas: - Mayores costos de producción.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de López y otros (2019); Pilot (2019) y Fact.MR (2019).

Otro de los motivos por los cuales el foco innovador se ha concentrado sobre el cátodo es de naturaleza económica. El Gráfico 27 presenta la estructura de costos de una celda con tecnología NMC. En este caso, el cátodo representa el 54% del costo total. En esta instancia del desarrollo de la industria, donde la competencia se basa en gran medida en la reducción de precios, esta variable es determinante para una mayor penetración en el mercado.

Gráfico 27
Desglose del costo estimado de una celda NMC y de su cátodo en función a sus componentes
 (En porcentajes)



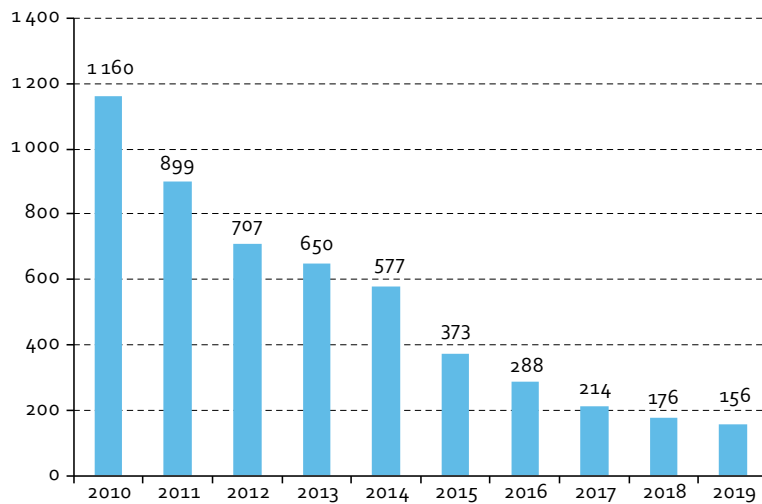
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Hofer, J. (2020), "The future of energy storage: cobalt and lithium markets strategic view". Benchmark Mineral Intelligence Contact, London, UK.

Además de los aspectos técnicos y económicos, la disposición de materias primas y los factores ambientales juegan un papel importante en la selección de una tecnología de cátodo. Por ejemplo, hay un creciente interés por reducir el contenido de cobalto, debido a su impacto medioambiental y a que el suministro se encuentra en permanente riesgo debido a la alta dependencia de la República Democrática del Congo, que controla el 65% de la oferta global (Azevedo y otros, 2018). La tendencia a reducir el uso de cobalto ha llevado a aumentar el contenido de otros elementos como el níquel, cuyo suministro está más diversificado que el cobalto. Australia, Canadá, Rusia y Finlandia figuran como los principales productores de minerales y concentrados de níquel (Scott y Ireland, 2020). La utilización de níquel permite disminuir los costos de producción, aumentando, al mismo tiempo, la densidad de energía y la capacidad de almacenamiento. Como se ha discutido, la creciente preferencia por el níquel tiene incidencia sobre los países productores de litio, ya que los cátodos que utilizan esta tecnología demandan hidróxido de litio y no carbonato de litio (que es el producto elaborado a menor costo en la producción a base de salares).

La industria de BiL utiliza el kilovatio-hora (kWh) como unidad de energía para expresar el consumo y la capacidad de carga de la batería. Desde 2010, el costo por kWh ha disminuido cerca de un 87%. Expertos y analistas de la industria de BiL estiman que una vez que el precio de las baterías se sitúe por debajo de los US\$ 100 kWh, se igualará el precio de venta de vehículos eléctricos con los de combustión interna (Lutsey y Nicholas, 2019). Según algunas proyecciones, eso podría ocurrir hacia 2025, cuando se estima que podría alcanzarse un costo de US\$ 94/kWh en 2025 (Goldie-Scot, 2019).

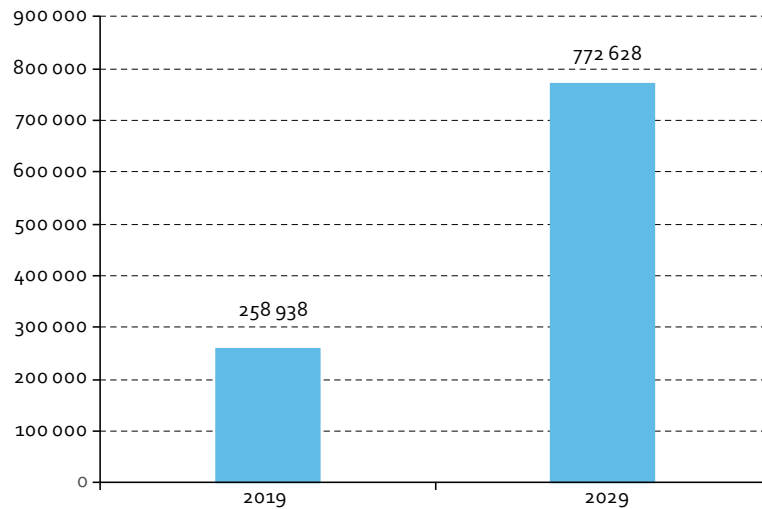
A partir de la creciente penetración de los vehículos eléctricos, se proyecta una tasa de crecimiento anual del valor del mercado de cátodos del 11,6% entre 2019 y 2029. En línea con esto, se prevé un crecimiento que podría alcanzar un 300% en el volumen de producción de cátodos para el mismo período (Fact.MR, 2019).

Gráfico 28
Costo de energía, entre 2010 y 2019
 (En dólares por kWh)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Goldie-Scot, L. (2019), "A Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices". BloombergNEF [disponible en línea] <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>.

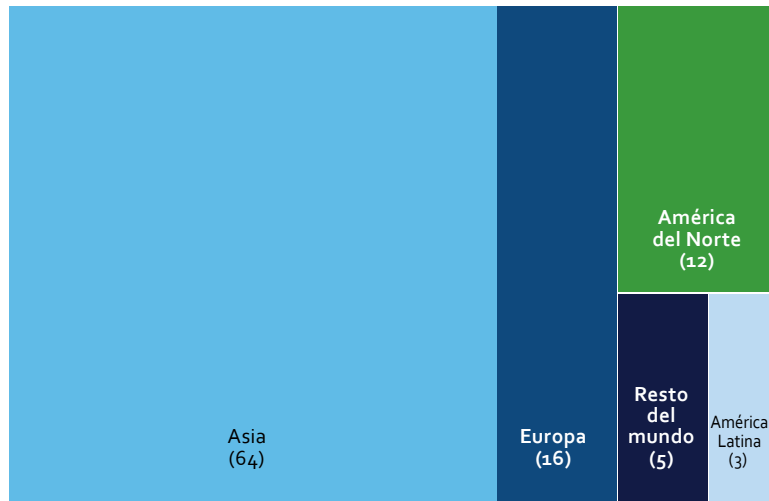
Gráfico 29
Volumen de cátodos para BiL, 2019 y 2029
 (En toneladas)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Fact.MR (2019), "Lithium-ion battery cathode market forecast, trend analysis & competition tracking-Global Market Insights 2019 to 2029". Reporte en línea: <https://www.factmr.com/report/3816/lithium-ion-battery-cathode-market>.

En cuanto a su distribución geográfica, la producción de cátodos está fuertemente concentrada en Asia: China, Japón y la República de Corea son los principales productores.

Gráfico 30
Valor de producción de cátodos de BiL por región, 2019
 (En porcentajes)

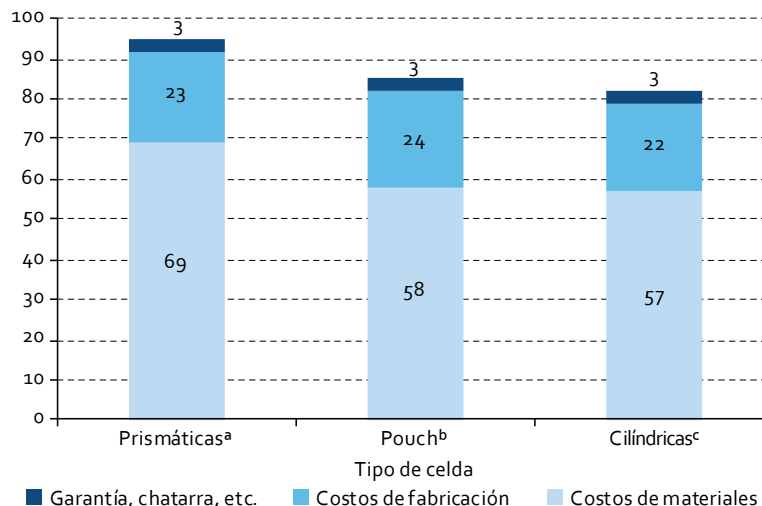


Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Fact.MR (2019), Lithium-ion Battery Cathode Market Forecast, Trend Analysis & Competition Tracking - Global Market Insights 2019 to 2029: 170.

B. Celdas

Actualmente, existen en el mercado tres formatos principales de celdas: prismáticas, cilíndricas y *pouch*. Las celdas prismáticas se lanzaron a principios de la década de 1990. Su capacidad varía desde algunos amperios-hora para teléfonos celulares o computadoras portátiles hasta cientos de amperios-hora para vehículos eléctricos. Aunque su fabricación puede resultar más costosa, este tipo de celdas mejora la utilización del espacio y permite un diseño flexible (Li y otros, 2019) —Gráfico 31. Las celdas *pouch* se lanzaron en 1995, ofreciendo una alternativa simple, flexible y liviana que hace más eficiente el uso del espacio y logra una eficiencia de empaque (Li y otros, 2019). Finalmente, las celdas cilíndricas son una de las tecnologías más avanzadas. Empresas líderes como Tesla Motors, Panasonic y Samsung las utilizan por su fácil fabricación, alta capacidad y otros beneficios (Dong y otros, 2019).

Gráfico 31
Estructura de costos de celdas para vehículos eléctricos, 2017
 (En dólares por kWh)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Bernhart, W. (2019), "Challenges and opportunities in lithium-ion battery supply". En: A. Eftekhari (ed.), *Future Lithium-ion Batteries*, Royal Society of Chemistry.

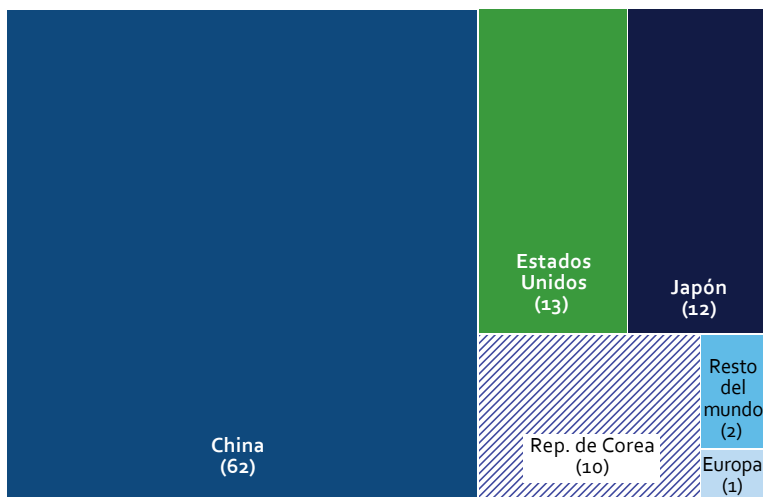
^a BMW i3 G2
^b Chevy Volt.
^c Tesla 21700.

Las empresas que operan en este segmento de la cadena requieren inversiones que rondan entre US\$ 70 y 80 mil millones (Hofer, 2020). En la actualidad, el mercado está dominado por empresas asiáticas como CATL y BYD de China, LG Chem y Samsung SDI de República de Corea, y Panasonic de Japón.

A medida que la cadena de valor se desplaza aguas abajo, se observa una mayor concentración geográfica de la producción, con un mayor predominio de países asiáticos. Como se observa el Gráfico 30, la capacidad productiva total de celdas de China, República de Corea y Japón supera el 84%. La elevada participación de cada uno de los países se explica, en gran medida, por su trayectoria. En el caso de Japón, la fuerte capacidad productiva del país se explica por la trayectoria de la industria de la electrónica de consumo desde los tempranos años noventa. Asimismo, el apoyo del sector público fue muy importante. Los gobiernos de Japón y República de Corea jugaron un papel significativo al apoyar asociaciones público-privadas para llevar adelante proyectos de I+D en BiL, así como también proveyendo financiamiento a bajo costo para el establecimiento de plantas manufactureras. El gobierno chino decidió seguir los pasos de sus vecinos y promovió el desarrollo de capacidad productiva en BiL mediante subsidios a las actividades de I+D, incentivos impositivos, requisitos de contenido local y restricciones a las exportaciones.

Estados Unidos es el único país con capacidad productiva relevante fuera del continente asiático. En este caso, el lugar de este país se explica, fundamentalmente, por la reciente construcción de la gigafactory de Tesla en el estado de Nevada (Mayyas y otros, 2019). Europa ha iniciado un fuerte programa de desarrollo de la industria de baterías en 2017, con la Alianza Europea de Baterías. El mismo reúne a los principales actores europeos de la industria de BiL desarrollando distintos tipos de actividades a lo largo de la cadena de valor de BiL, con el propósito de desarrollar una industria capaz de competir con Asia y América del Norte.

Gráfico 32
Capacidad productiva de celdas para BiL, 2018
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Mayyas, A., D. Steward y M. Mann (2019), "The case for recycling: Overview and challenges in the material supply chain for automotive li-ion batteries". *Sustainable Materials and Technologies*, 19, e00087.

Debe destacarse, sin embargo, que se registran variaciones importantes en la participación de cada país en función del uso de las celdas (Cuadro 15). Resulta notable, en particular, la diferencia en la participación relativa de China según se trate de celdas para baterías de automóviles eléctricos (44%) o para otros usos (90%). El resto de los países tiene una participación muy pequeña en aplicaciones que no corresponden a la electromovilidad.

El caso de Europa resulta muy llamativo, ya que es la única de las grandes regiones productoras de vehículos que no tiene capacidad productiva de celdas para electromovilidad. Como se discutirá más adelante, este es uno de los factores que han llevado a la formación de la Alianza Europea de Baterías que

ha apoyado la producción de la gigafactory Northvolt en Suecia. Las operaciones deberían comenzar en 2021 y su capacidad productiva llegaría a 32 GWh en 2024²¹. LG Chem, en Polonia, sería otra de las empresas que comienzan a producir celdas en la región (Huisman y otros, 2020a). En este caso, la empresa coreana recibió un apoyo del gobierno polaco de €95 millones. Esta medida se encuentra bajo investigación de la Comisión Europea con el objeto de verificar que respete las regulaciones sobre apoyo estatal de la Unión Europea (European Commission, 2020).

Cuadro 15
Capacidad productiva de celdas para BiL por aplicación, 2018

País	Capacidad productiva de BiL para vehículos eléctricos (MWh)	Porcentaje de la capacidad total	Capacidad productiva de BiL para otras aplicaciones (MWh)	Porcentaje de la capacidad total
China	50 670	44%	67 564	90%
Japón	19 414	17%	3 065	4%
República de Corea	17 874	16%	673	1%
Estados Unidos	22 016	19%	2 750	4%
Europa	2 400	2%	226	0%
Resto	2 110	2%	1 000	1%
Total	114 484	100%	75 278	100%

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Mayyas, A., D. Steward y M. Mann (2019), "The case for recycling: Overview and challenges in the material supply chain for automotive li-ion batteries". *Sustainable Materials and Technologies*, 19, e00087.

Esta concentración geográfica de productores en Asia refleja, en gran medida, las estrategias de integración vertical y asociación estratégica entre empresas productoras de electrodos, celdas y vehículos eléctricos. El propósito de estas es reducir el costo en los insumos y tener mayor control sobre las cadenas de suministro.

C. Los módulos y paquetes de baterías

Como se ha visto en el Capítulo III, los módulos están integrados por varias celdas, cuyo número varía de acuerdo con las preferencias del productor y con el tipo de celda. Dado que la celda explica alrededor del 75% del costo de los paquetes (Coffin y Horowitz, 2018), la reducción en el costo de las mismas y, especialmente del cátodo resulta esencial para fabricar baterías más accesibles. La producción de los paquetes de baterías es la última etapa de la producción de BiL. Incluye conexiones eléctricas y equipos de refrigeración que pueden ser ensamblados a mano o mediante equipos automatizados. De acuerdo con estimaciones del Argonne National Laboratory, este es el segmento de la cadena productiva de BiL donde menos valor se agrega: un 11% del costo total de la batería corresponde al módulo (Coffin y Horowitz, 2018).

Una particularidad del paquete de BiL para vehículos eléctricos es que su fabricación tiende a realizarse cerca del lugar de producción de los vehículos, ya que el costo de transporte de los paquetes de baterías, que son más voluminosos y pesados que las celdas o los módulos, resulta muy elevado (Coffin y Horowitz, 2018). Las estrategias de las empresas automotrices difieren. Mientras que algunas compran paquetes a proveedores independientes, otras crean joint ventures con productores de celdas. Son pocas las que participan del diseño y la fabricación como parte de una estrategia de control sobre los paquetes de celdas (Lebedeva y otros, 2016).

Como se discutirá en la próxima parte del informe, durante los últimos años un número creciente de fabricantes de automóviles adquiere las celdas de empresas con una gran capacidad de producción,

²¹ <https://northvolt.com/production>.

en términos de volumen. Ello les permite adaptar el diseño y las características del producto. Asimismo, los fabricantes de celdas tienden a desarrollar estrategias de integración vertical (aguas arriba) en la cadena de valor o realizar acuerdos con los proveedores de material catódico o insumos de litio con el propósito de bajar los costos de fabricación, manteniendo la flexibilidad del diseño y los componentes solicitados como los dispositivos de seguridad, las interconexiones eléctricas, la carcasa y el ensamblaje (Rosina, 2018).

D. Reciclaje de baterías

La difusión masiva del uso de vehículos eléctricos contribuirá a reducir las emisiones de CO₂ y la contaminación producida por los vehículos de combustión interna. No obstante, un aspecto que debe ser tomado en cuenta es que las BiL utilizadas por este tipo de vehículos eventualmente necesitarán ser reemplazadas una vez cumplida su vida útil. Dependiendo de las características de cada tipo de batería solicitada por los fabricantes de vehículos eléctricos, éstas pueden durar entre 7 a 10 años (Zeng y otros, 2019), o incluso hasta 20 años (Turcheniuk y otros, 2018). En este sentido, la producción de vehículos eléctricos junto con la acumulación de sus baterías que entran en desuso genera un desafío cada vez más importante en términos ambientales.

A su vez, estas baterías contienen elementos que tienen valor y que, en algunos casos, como se ha discutido, son considerados críticos por algunas regiones. En este marco, uno de los desafíos dentro de la industria de BIL es encontrar formas de reutilizar las baterías fuera de servicio (Zeng y otros, 2019).

A nivel global se estima que para el año 2030 existirían alrededor de 15 millones de toneladas acumuladas de BiL en desuso, provenientes principalmente de los vehículos eléctricos²².

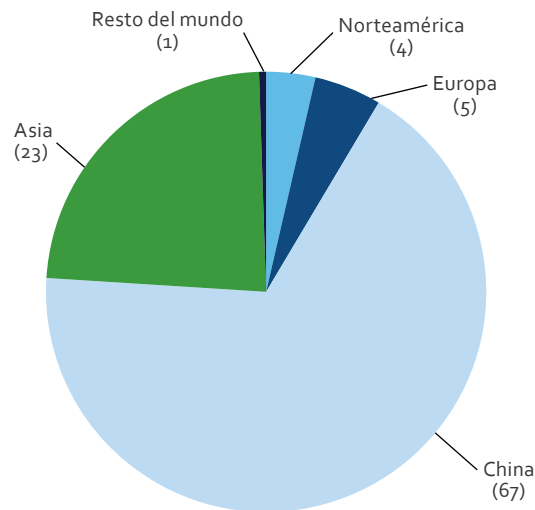
Las alternativas que se exploran en la actualidad para afrontar esta situación contemplan la posibilidad de extender la vida útil de las BiL, considerando otros usos, como el almacenamiento de energía vinculado a fuentes renovables. Una de las posibilidades es que las baterías puedan reutilizarse para la generación de energía fuera de las redes interconectadas, en áreas rurales o en países en desarrollo (World Bank, 2020). La opción de "re-utilización" es preferida en términos de la gestión de residuos frente a la opción del reciclado. Sin embargo, esta alternativa no siempre es técnica o económicamente viable.

El proceso de reciclaje presenta importantes desafíos, entre los que se encuentran, por ejemplo, las restricciones a la automatización impuesta por la heterogeneidad de baterías o los peligros asociados al manejo de los materiales reactivos (Harper y otros, 2019; World Bank, 2020). La investigación en el área de reciclaje de baterías se encuentra muy relegada respecto a otras del proceso de fabricación de baterías. De acuerdo con Moreno y Marín (2019), las patentes relacionadas con el reciclado de litio representan solo el 0,07% del total de patentes solicitadas con relación a compuestos de litio entre 1990 y 2014. Más del 80% de estas patentes fueron solicitadas después de 2010, lo que indica que se trata de un tema emergente. China ha sido el país con mayor participación en esta actividad.

No obstante, existen avances en el área. Durante los últimos años, la industria del reciclaje de BiL ha crecido de la mano de empresas que, asociadas con fabricantes de automóviles, recolectan y reciclan este tipo de baterías alcanzando niveles de recuperación del 58% (Pagliaro y Meneguzzo, 2019). El siguiente gráfico presenta el consumo potencial de reciclaje según las distintas regiones geográficas, en la cuales se observa una clara predominancia de China.

²² <https://li-cycle.com/>.

Gráfico 33
Mercado global de reciclaje de BiL por región
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de BIS Research (2020), "Global lithium-ion battery recycling market: focus on technology, chemistry, end source, and regional analysis", BIS Research: <https://www.researchandmarkets.com/>.

En cuanto al aspecto normativo, a nivel global, se vienen desarrollando estándares y regulaciones para las prácticas de reciclaje y reutilización de BiL. China y Europa son los líderes regulatorios en la actualidad, dejando a los países en desarrollo muy atrás. En diciembre de 2020, la Comisión Europea ha presentado un proyecto de directiva sobre baterías que incluye requerimientos sobre el ciclo de producto de las BiL y el contenido de elementos provenientes del reciclaje²³. En el caso de América Latina, el reciclaje de baterías suele estar cubierto por regímenes más amplios de gestión de residuos sólidos cuyos datos no son muy alentadores. Solo el 55% de éstos se gestiona adecuadamente en rellenos sanitarios con importantes fallas en su recolección y la inexistencia de regímenes regulatorios, así como infraestructura para el reciclaje (World Bank, 2020).

²³ Ver para más información: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_2311.

Tercera parte: actores productivos, estrategias y articulación de redes a nivel mundial

VI. Análisis de redes: actores, estrategias y vínculos

La organización de las redes globales de producción de BiL muestra un gran dinamismo, en particular cuando se trata de baterías que están destinadas a la manufactura de vehículos eléctricos. Esto se debe fundamentalmente a que se trata de una red en proceso de formación, que está dejando detrás su condición de nicho y va a camino a consolidarse como una alternativa a los vehículos tradicionales de combustión interna. En este proceso, la mayor parte de las grandes empresas automotrices tradicionales juegan un papel aún marginal. En el mercado tienen mayor presencia los nuevos jugadores como Tesla, de los Estados Unidos, y algunas empresas chinas. Con la excepción de ciertas marcas alemanas, Europa tiene aún una posición menor en la electromovilidad.

La condición de mercado emergente no se refiere sólo al volumen de negocios o a la tasa de penetración de los vehículos eléctricos, sino también al desarrollo tecnológico. Los costos de los paquetes de batería han bajado sostenidamente durante los últimos años. En 2010, el valor promedio era de US\$ 1160 kWh (Gráfico 28). Las estimaciones publicadas por Benchmark Mineral Intelligence, en diciembre de 2020, indican que aquellas que tienen como destino a las grandes automotrices ya alcanzan un valor de US\$ 100 kWh²⁴, que es considerado el umbral a partir del cual el precio de los vehículos eléctricos se equipararía con los tradicionales a combustión interna. Sin embargo, según se estima, aún habrá que esperar hasta 2024 aproximadamente para que ese sea el precio promedio para la industria.

El desplazamiento de los vehículos tradicionales trae aparejada una reorganización profunda de las redes de producción que caracterizaba a las redes de producción automotrices (Sturgeon y otros, 2008; Sturgeon y otros, 2009). Alrededor del 70% de los componentes de un vehículo eléctrico son distintos a los de un vehículo tradicional²⁵. Gran parte de los componentes que integran los vehículos tradicionales

²⁴ Ver enlace para más información: <https://www.benchmarkminerals.com/membership/lithium-ion-battery-cell-prices-fall-to-110-kwh-but-raw-material-risk-looms-large/>.

²⁵ Para más información ver documento disponible: <https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/fsev/compare.pdf>.

dejarían de existir, comenzando por el tren de potencia, en particular el motor y la transmisión, que es el que representa la parte más grande del costo del vehículo. Mientras que un tren de potencia de un vehículo tradicional tiene alrededor de 2000 componentes, un vehículo Tesla tiene solo 17²⁶.

Esta reconfiguración tendrá implicancias importantes para los países con una industria automotriz importante y abrirá oportunidades para aquellos que tengan competencias en la producción de los insumos y componentes de vehículos eléctricos. El dinamismo de esta industria en proceso de desarrollo permite observar el surgimiento de distintas configuraciones de redes entre las empresas productoras de vehículos y nuevos jugadores en la industria, que son aquellos que controlan las tecnologías críticas para los vehículos eléctricos, especialmente, los productores de celdas y de cátodos, que son componentes esenciales de las BiL. A diferencia de los grandes proveedores tradicionales de la industria automotriz, los nuevos proveedores estratégicos provienen de la industria electrónica y la química, con poca trayectoria en el sector. Estos proveedores tienen competencias en las tecnologías críticas para la expansión de la electromovilidad y aún muestran niveles de concentración considerables, tanto en términos geográficos como de número de empresas.

Las distintas modalidades de alianza entre empresas de las RGP llegan incluso hasta las materias primas utilizadas en la producción de BiL, como el litio. Los actores clave en los segmentos intermedios y aguas arriba buscan asegurar la estabilidad de su cadena de suministro. La importancia de los productores de insumos basados en recursos naturales es un rasgo novedoso que también distingue a la industria automotriz tradicional de aquella que lidera la electromovilidad. El carácter crítico de insumos como el litio, el cobalto o el grafito ha puesto en el centro del desarrollo de la industria la necesidad de asegurarse la provisión de estos bienes. Este papel que juega el litio en la red de producción de BiL explica en gran medida el interés de los países con una dotación abundante de este recurso por expandirse aguas abajo, especialmente fomentando la producción de celdas de baterías en sus propios territorios.

El Cuadro 16 presenta una caracterización de las principales tipos de empresas que forman parte de la de producción de BiL para la industria automotriz —con foco en el litio— siguiendo la clasificación propuesta por Coe e Yeung (2015). Las posiciones asignadas consideran todos los segmentos de las RGP, desde la producción de materias primas hasta los vehículos eléctricos y el reciclado de baterías. Sin embargo, si el análisis se limitara a un segmento determinado, las posiciones cambiarían. Así, por ejemplo, al interior del segmento aguas arriba, los productores de compuestos de litio ocupan la posición de empresa líder, mientras que los mineros que elaboran concentrados de espodumeno son sus proveedores especializados.

Cuadro 16
Actores que participan de la red de producción de baterías de ion de litio para la industria automotriz

Actor	Posición	Principales funciones	Principal actividad	Principales empresas
Empresas automotrices	Líder	Coordinación y control de la red	Definición de producto y de mercados de destino	Tesla, BYD, BAIC, BMW
Productores de celdas de BiL	Socio estratégico	Provisión de soluciones estratégicas a empresas líderes	Desarrollo de la tecnología y producción de BiL	Panasonic, CATL, LG Chem
Productores de material catódico	Productores especializados (específicos de la industria)	Provisión de insumos estratégicos para producción de celdas	Desarrollo y producción de material catódico para la producción de BiL	Umicore, Sumitomo, BASF
Productores de compuestos de litio	Productores especializados (múltiples industrias)	Provisión de insumos estratégicos para producción de cátodos	Producción de compuestos de litio	Albemarle, Ganfeng, Tianqi, SQM, Livent
Reciclado de baterías de litio				Nippon Recycle Center Corp, Umicore, Ganfeng, Accurec, Glencore, SungEel MCC

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Coe, N. M. y H. W. Yeung (2015), "Global production networks: Theorizing economic development in an interconnected world". Oxford University Press.

²⁶ Ver siguiente enlace al respecto: <https://fas.org/sgp/crs/misc/IF11101.pdf>.

Es importante destacar que, más allá de la posición estructural que las empresas ocupan al interior de las RGP, las modalidades de articulación entre ellas y las dinámicas que se desarrollan al interior de la red varían en función de las estrategias que adoptan —en particular las empresas líderes. Por ello, sin desconocer la influencia de los factores estructurales, el enfoque analítico propuesto se focaliza sobre la intencionalidad de las empresas y su capacidad de agencia. Entre los factores que influyen sobre las decisiones estratégicas de las empresas y, en última instancia sobre la dinámica de las RGP, se encuentran las dinámicas competitivas que deben enfrentar, así como los recursos y capacidades —tecnológicos, organizacionales, financieros, etc. — que tienen a disposición (Coe y Yeung, 2015).

Como se analizará en los casos de estudio seleccionados, las estrategias admiten distintas formas de vinculación, que incluyen modalidades de control, coordinación e intercambio de mercado, tanto a nivel intra-firma como entre distintas empresas. La estrategia de coordinación intra-firma se basa en la internalización y consolidación de actividades de creación de valor al interior de la misma empresa. Esta estrategia puede desarrollarse cualquiera sea el lugar que ocupa la empresa al interior de las RGP. Como se verá en los casos analizados debajo, es muy común en el segmento aguas arriba, donde las grandes empresas químicas productoras de compuesto de litio han buscado expandirse controlando directamente la producción en salares o mineral de roca. Pero también se verifica entre los productores de celdas de BiL que avanzan hacia el segmento intermedio, internalizando la producción de cátodos. Este es el caso, por ejemplo, de LG Chem o Samsung SDI. El proceso de expansión hacia esos segmentos puede darse a través de inversiones en nuevas instalaciones o de fusiones y adquisiciones con otras empresas que tengan capacidades en las actividades que se desea incorporar.

Uno de los mecanismos más extendidos al interior de las RGP es la asociación entre empresas. Esto supone distintas formas de colaboración o coevolución entre las partes involucradas. Estas asociaciones pueden formalizarse, por ejemplo, a través *joint-venture* o inversiones conjuntas. Uno de los rasgos centrales que justifican este tipo de acuerdos es la complementariedad entre las empresas, en términos de sus recursos y capacidades. Cuanto más diferenciados e intensivos en conocimiento sean los bienes y servicios involucrados, mayor es el interés de las empresas líderes por construir relaciones de cooperación de largo plazo con otras empresas. En varios de los casos observados aquí, tal como ocurre en la industria automotriz tradicional, el vínculo exige la co-locación de actividades. Esto no solo se orienta a disminuir los costos mediante la simplificación de la logística y la reducción de stocks, sino que también favorece la cooperación en el desarrollo de productos.

Se observan también formas de interacción entre empresas que son más cercanas a las transacciones de mercado. En los casos aquí analizados, estos vínculos se cristalizan, por ejemplo, en contratos de compra a plazo. Este tipo de acuerdo puede involucrar a distintos tipos de actores al interior de la red, por ejemplo, empresas líderes y proveedores especializados de cátodos y compuestos de litio, o entre productores de concentrado de espodumeno y empresas que operan plantas de conversión. El objetivo para los clientes es dar estabilidad a la cadena de aprovisionamiento de insumos considerados críticos mientras que, por el lado de los productores, estos acuerdos contribuyen a garantizar un mercado estable y evitar las fluctuaciones de precios a las que están sometidas los mercados de materias primas.

El marco analítico de Coe y Yeung (2015) reconoce también una forma de vinculación definida como control inter-firma. Contrariamente a la coordinación intra-firma, bajo esta modalidad la empresa externaliza ciertas actividades, tercerizándolas a proveedores especializados o contratistas, ejerciendo sobre ellos un fuerte control sobre la calidad de los productos y sobre los procesos productivos. En algunos casos, este control se refuerza mediante el financiamiento de las inversiones del proveedor. Los motivos por los que una empresa adopta este camino pueden relacionarse con la intención de la empresa de mantener una determinada conducta financiera o una cierta relación costo-calidad, que se vería afectada por la intervención en actividades para las cuales no tiene capacidades. En las redes analizadas en este documento no se han identificados casos claros de vinculaciones que implicaran controles inter-firma. Esto puede explicarse por las metodologías de mapeo utilizadas, basadas en fuentes de información pública, como anuncios e informes presentados por las empresas. Esta estrategia de identificación ha permitido relevar aspectos formales de los vínculos al interior de la red, pero presenta limitaciones para identificar cláusulas de carácter confidencial o formas de control informal que afectan el vínculo entre las partes.

En las secciones que siguen se realiza un mapeo de redes. Una mayor comprensión de la estructura y de las formas de vinculación al interior de estas redes es necesaria para comprender las oportunidades y obstáculos que los países del triángulo del litio tienen para expandir las actividades vinculadas las RGP de BiL. En el Capítulo VI, parte A, el foco de análisis son las redes que operan en los segmentos aguas arriba de las RGP de baterías de ion de litio. En el Capítulo VI, parte B, se examinan las redes de producción que operan en los segmentos intermedios y aguas abajo. La segmentación de las redes se realiza fundamentalmente para poder examinar con mayor detalle las dinámicas que tienen lugar entre los proveedores especializados que operan en salares o en minas de litio en mineral de roca y que tienen un vínculo más estrecho con procesos en desarrollo en el triángulo del litio. De ningún modo esta distinción significa que los tres segmentos identificados operen de manera independiente. Por el contrario, como se verá debajo (y, en particular, en la sección dedicada a los segmentos aguas abajo), se identifican actores que participan de todos los segmentos de la red.

A. Redes en segmentos aguas arriba de las redes globales de producción de BiL

Como se ha visto en el Capítulo IV, parte B, la producción de litio a nivel de mina —es decir excluyendo la conversión de concentrado de espodumeno— se concentra en cuatro países: Australia, Chile, Argentina y China. Esta sección presenta un mapeo de las redes organizadas en torno a los proyectos activos en los tres primeros países (Cuadro 17). De este modo, queda cubierta cerca del 78% de la producción total proveniente de salares y mineral de roca.

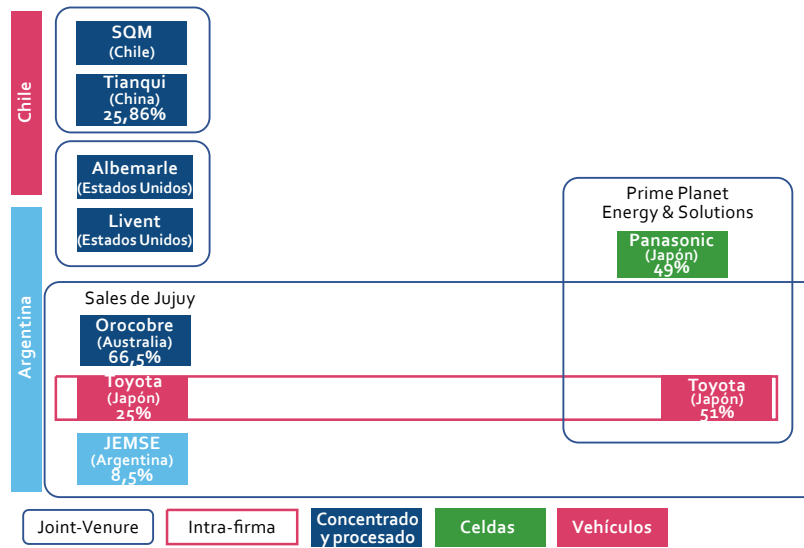
Cuadro 17
Proyectos mapeados en análisis de redes

Tipo de depósito	País	Operación
Mineral de Roca	Australia	Greenbushes
		Mt Marion
		Wodgina
		Pilgangoora-Pilbara
		Mt Cattlin
		Pilgangoora-Altura
Salar	Chile	Atacama-SQM
		Atacama-Albemarle
	Argentina	Salar del Hombre Muerto
		Salar de Olaroz

Fuente: Elaboración propia.

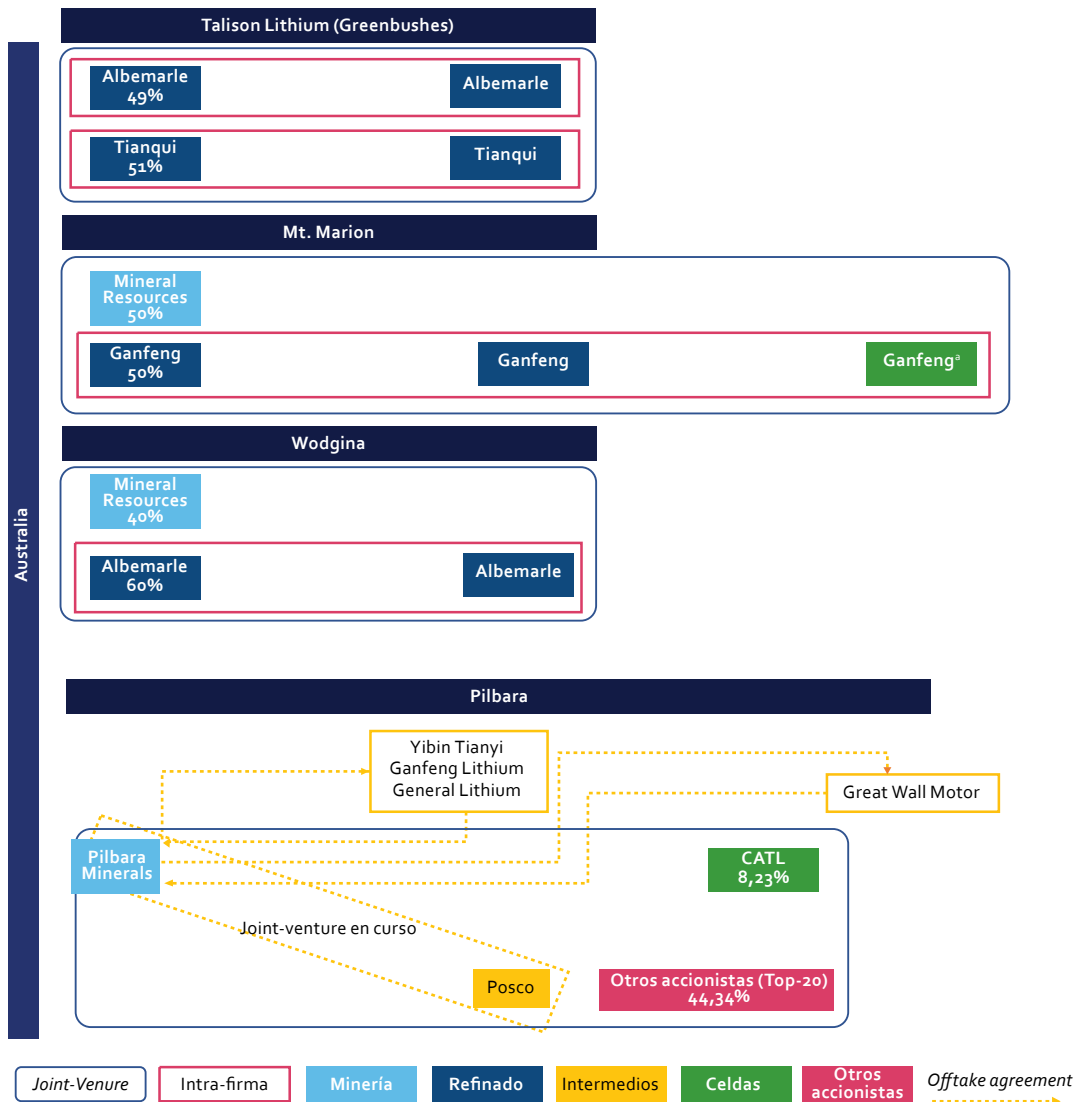
El mapeo de las redes se realizó a partir de los vínculos establecidos por parte de las empresas que lideran las operaciones. No se incluyeron aquí los acuerdos de ventas entre empresas productoras de compuestos de litio y las empresas automotrices, productoras de celdas o de material catódico (que serán mapeados en el Capítulo VI, parte B). Sí, en cambio, fueron considerados los acuerdos con empresas en estos segmentos que establecen asociaciones estratégicas que implican una relación patrimonial. En base a las redes mapeadas se seleccionaron tres estudios de caso que son representativos de distintos modelos identificados: i) proveedores especializados de compuestos de litio con alto nivel de integración intra-firma; ii) asociaciones estratégicas orientadas al control de los recursos de litio; y iii) la especialización en actividades mineras.

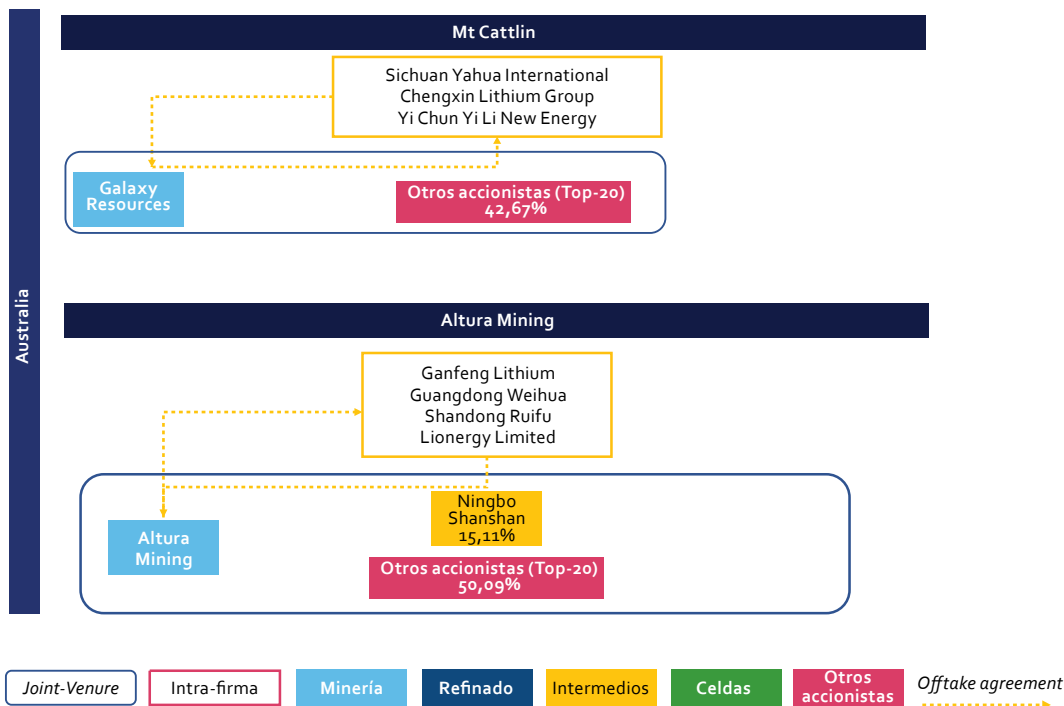
Diagrama 5
Redes en actividades aguas arriba (salares en Argentina y Chile)



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama 6
Redes en actividades aguas arriba (salares en Australia)





Fuente: Elaboración propia.

^a Unidad de negocios celdas (no vehículos eléctricos).

1. Proveedores especializados de compuestos de litio con alto nivel de integración intra-firma. Caso de Albemarle

Entre los casos analizados, se identifican cinco empresas proveedoras de compuestos de litio que desarrollan estrategias de integración intra-firma: Albemarle, SQM, Livent, Tianqi y Ganfeng. Estas empresas explican casi el 70% de la producción global de compuestos de litio y son los principales proveedores de la industria de BiL para vehículos eléctricos (Kumar, 2020)²⁷.

Esta sección se focalizará en el caso de Albemarle, cuya estrategia, como se señaló, se ha basado en la coordinación intra-firma. Esto ha supuesto la internalización de distintas actividades interconectadas en torno al segmento aguas arriba de la red de producción de BiL: desde la explotación de depósitos de litio en salares y mineral de roca a la producción de una amplia variedad de compuestos químicos basados en litio. En sus operaciones en mineral de roca, como Talison Lithium y Wodgina, Albemarle creó asociaciones estratégicas con empresas que tenían proyectos en desarrollo, con el propósito de ganar acceso a los depósitos de litio.

Albemarle es una empresa del sector químico, que históricamente se había especializado en productos basados en bromo y catalizadores. En 2014, adquirió la empresa Rockwood que tenía operaciones en la extracción y procesamiento de litio gracias a la compra de la empresa alemana Chemetall años antes. Esta última era una de las tres grandes productoras de litio a nivel mundial, ya que en 1998 había comprado la empresa estadounidense Cyprus Foote Minerals, que había sido pionera en el sector junto a las que por entonces llevaban por nombre FMC Corporation y Sons of Gwalia. Mientras que originalmente la empresa había comenzado a producir litio a partir de sus recursos en el salar de Silver Peak, en Estados Unidos, su principal fuente de producción se encontraba en Chile, donde Foote había constituido en la década de 1980 la Sociedad Chilena del Litio, en sociedad con la CORFO del gobierno de Chile (Poveda, 2020).

²⁷ El grupo surcoreano Posco actualmente produce cátodos y está incursionando en la producción de compuestos de litio, buscando replicar un modelo de integración vertical intra-firma que, por el alcance de las actividades, sería más profundo aún que el de estas empresas. Además de haber firmado un acuerdo con Pilbara en Australia, Posco está desarrollando una operación en Argentina para producir carbonato de litio en la provincia de Salta (proyecto Sal de Oro).

La expansión agresiva de Albemarle hacia las operaciones de minería en mineral de roca comenzó hacia mediados de la década de 2010. En 2014, Rockwood se había asociado con Tianqi en el joint-venture Talison Lithium, que opera el proyecto Greenbushes. En 2019, Albemarle se asoció con Mineral Resources en el proyecto Wodgina. En lo que respecta a los depósitos en salares, la capacidad para aumentar el volumen de producción de compuestos de litio se concretó a partir de la renegociación de los contratos con CORFO en 2016 (Poveda, 2020). De este modo, en 2019, Albemarle tenía participación en proyectos que, una vez finalizados su desarrollo, le darían una capacidad de producción anual de 380 mil toneladas métricas LCE.

A diferencia otras empresas que operan en Australia, cuya estrategia se basa en la producción de concentrado de espodumeno y la firma de acuerdos de compra anticipada con empresas que tienen plantas de producción de hidróxido de litio en China, Albemarle compró la empresa Jiangxi Jiangli New Materials Science and Technology que, entre otros activos, tenía plantas de conversión a carbonato de litio e hidróxido de litio en China. Asimismo, está construyendo su propia planta producción de hidróxido de litio en Kemerton (Australia). En una primera etapa, la capacidad de producción será de 50.000 toneladas de hidróxido de litio LCE, que podrían expandirse hasta 100.000 toneladas. En el plan estratégico de la empresa se incluye la posibilidad de continuar la expansión en el área de conversión, adquiriendo plantas en China. De este modo, Albemarle profundiza el control intra-firma de sus operaciones.

En base a los insumos producidos a partir de sus actividades de minería y concentrados, Albemarle elabora una amplia variedad de productos de alta calidad que se utilizan en la producción de cátodos, ánodos y electrolitos de BiL: como carbonato de litio, hidróxido de litio, cloruro de litio litio-aluminio y litio-silicio en forma de polvos, láminas o ánodos. En comparación con empresas competidoras que también tienen oferta de insumos utilizados en la producción de BiL, Albemarle es la que cubre una mayor gama de productos (Albemarle, 2016). El modelo que más se asemeja al de esta empresa es el de Livent que, no por casualidad, es otra de las empresas químicas que desarrolló tempranamente una expansión intra-firma hacia el segmento aguas arriba en actividades ligadas al litio.

Dos empresas chinas, Ganfeng y Tianqi, están desarrollando estrategias de características similares. En ambos casos, sin embargo, las actividades de minería se desarrollan en asociación con otras empresas. Tianqi lo hace con una participación de alrededor del 26%, en el salar de Atacama junto a SQM, y en asociación con Albemarle en mineral de roca, en Australia. Tianqi tiene también oferta de compuestos de litio en segmentos intermedios, aunque es mucho más limitada que la de Albemarle. En el caso de Ganfeng, por su parte, la actividad de minería se basa en la participación del 50% en el proyecto Mt. Marion, junto a Mineral Resources; y en el proyecto Cauchari-Olaroz (en construcción), donde comparte sociedad con la canadiense Lithium Americas. También tiene participación (en este caso del 82,5%) en el proyecto Mariana (Argentina),

En lo que respecta a la producción de insumos de BiL la participación de Ganfeng es similar a la de Albemarle, en términos de su variada oferta. En el caso de la empresa china, sin embargo, la integración vertical es más profunda, ya que alcanza la producción y reciclado de BiL para una amplia variedad de usos.

La estrategia de integración intra-firma de Albemarle se apoya en una baja relación costo/calidad, que se sostiene en capacidades acumuladas a través de los años en distintas actividades del segmento aguas arriba de la cadena de valor de BiL. Este desempeño también es posible gracias a la calidad de sus depósitos, tanto en salares como en mineral de roca. De acuerdo con sus informes, Albemarle tiene acceso a tres de los depósitos más grandes y de mejor ley en el mundo. El control directo de los recursos de litio es una motivación muy importante para explicar la expansión de las empresas químicas hacia las actividades de minería, toda vez que buscan garantizar el aprovisionamiento de un recurso crítico para la industria. La concentración geográfica de los recursos, la imposibilidad de sustitución por otros materiales y las dificultades técnicas de poner en marcha nuevas operaciones representan un riesgo para quienes utilizan carbonato de litio e hidróxido de litio como insumo para su producción. Un factor importante para explicar el desarrollo de la estrategia de integración vertical es la capacidad financiera de la empresa, que le ha permitido desarrollar una expansión agresiva y escalar proyectos en el área minera.

2. Asociaciones estratégicas orientadas al control de los recursos de litio.

El caso de Orocobre-Toyota

En la red global de producción de BiL se identifican modelos de asociación estratégica que integran a proveedores especializados que operan en segmentos aguas arriba con otros que producen cátodos, en segmentos intermedios de la cadena, o vehículos eléctricos, aguas abajo. Estos acuerdos pueden llegar a la asociación con empresas líderes y sus socios estratégicos, como es el caso de Toyota y Panasonic que se analizará en esta sección.

El caso de Orocobre (Australia) y Toyota Tsusho Corporation (TTC) del Grupo Toyota (Japón) es un ejemplo de este tipo de estrategia, que se cristaliza en la conformación de una alianza que, en Argentina, toma el nombre de Sales de Jujuy. Las empresas establecen un vínculo patrimonial en la asociación estratégica, pero mantienen su independencia. Los acuerdos permiten a los productores en segmentos aguas abajo en la cadena de valor garantizar la provisión de productos de litio que son esenciales para el desarrollo de sus actividades, evitando el riesgo financiero y técnico que implicaría una inversión en operaciones que se alejan del núcleo de actividades estratégicas. Para los productores aguas arriba, la asociación permite asegurar la venta de sus productos y contar con apoyo para financiar las inversiones que requiere el emprendimiento.

El modelo de asociación entre Orocobre y TTC tiene algunos puntos en común con aquel que está desarrollando Pilbara en Australia, que tiene un acuerdo con CATL y está desarrollando un *joint-venture* con Posco. Sin embargo, a diferencia de este, el emprendimiento desarrollado en Argentina fue concebido desde un comienzo en términos de asociación estratégica.

La asociación entre Orocobre y TTC, que inició su producción de carbonato de litio a escala industrial en 2015, tiene varios rasgos novedosos que justifican su análisis. En primer lugar, Orocobre es una empresa “nueva” en el campo de producción de carbonato de litio a partir de salmueras continentales, controlado desde la década de 1990 por las empresas que actualmente llevan los nombres de Livent, Albemarle y SQM. Se trata de una empresa relativamente pequeña con origen en Australia, un país especializado en la producción de litio a partir de mineral de roca. La falta de trayectoria en salares requirió un proceso de aprendizaje que tuvo implicancias en términos de costos de operación y calidad del producto.

El segundo rasgo que se destaca es la participación accionaria en Sales de Jujuy de Toyota Motor Corporation, una empresa automotriz, a través de su subsidiaria Toyota Tsusho Corporation (TTC) —que, a su vez, tiene una participación del 14,18% en la estructura de capital de Orocobre. El acuerdo se concretó en 2012, luego de dos años de estudios de factibilidad. La asociación ofreció a Orocobre la posibilidad de una integración estable con segmentos intermedios y aguas abajo, ya que TTC adquirió el derecho de compra de lo producido por Sales de Jujuy. En 2019, se confirmó el financiamiento para dar inicio de la fase 2 del proyecto Olaroz, que incluye una capacidad adicional de producción de 25.000 toneladas anuales de carbonato de litio. La participación del grupo Toyota facilitó el financiamiento del proyecto por US\$ 191,9 millones a bajo costo, provisto por el grupo financiero japonés Mizuho y garantizado principalmente por la Corporación Japonesa de Petróleo, Gas y Metales (conocida como JOGMEC, por sus siglas en inglés),

En un paso hacia la profundización del acuerdo estratégico entre ambas empresas, en 2018 se aprobó la construcción de una planta de producción de hidróxido de litio en Naraha (Japón), en la que Orocobre tiene una participación del 75%. El insumo para llevar adelante dicho proceso será el carbonato de litio (de calidad inferior al grado batería) producido en Jujuy. La planta, actualmente en proceso de construcción, tiene un costo estimado de US\$ 86,4 millones y contará con un subsidio de US\$ 27 millones por parte del gobierno de Japón. El interés de este país por apoyar el proyecto se basa en la necesidad de asegurarse el aprovisionamiento de recursos naturales esenciales para la operación de sus industrias. Además, el proyecto contó con el apoyo de la JOGMEC, que brindó apoyo técnico para estudios de reservas, llevó adelante estudios de factibilidad de infraestructura y ofreció garantías para tomar deuda.

Orocobre firmó un Memorando de Entendimiento con la empresa Prime Planet Energy & Solutions (PPES) que asegura un volumen de venta anual de carbonato de litio e hidróxido de litio, que alcanzaría las 30.000 toneladas anuales hacia 2025. De este modo, la empresa australiana quedaría al resguardo de la volatilidad de los precios *spot*. PPES es un *joint-venture* entre Panasonic y Toyota Motor Corporation, creado en 2019, que se especializará en el desarrollo de baterías de nueva generación y en la producción de celdas de BiL para vehículos, en particular prismáticas con alta capacidad y baterías de estado sólido. En 2022, la empresa tiene previsto iniciar la producción de baterías para vehículos híbridos con capacidad para abastecer 500.000 unidades al año.

El tercer rasgo novedoso del caso Orocobre es que cuenta con una participación accionaria del 8,5% de la empresa provincial Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (JEMSE), La misma fue acordada en el marco de la declaración del litio como recurso estratégico en la provincia de Jujuy, mediante el Decreto 7.592 de 2011 (luego aprobado por la Ley N° 5.674), Esta participación le da a JEMSE prioridad de venta sobre un 5% del total producido por Sales de Jujuy. Este instrumento es utilizado por la provincia en su propósito de atraer emprendimientos que procesen el carbonato de litio localmente.

La asociación estratégica entre Orocobre y Toyota muestra una clara división del trabajo basada en la complementariedad de capacidades. Cada empresa se especializa sobre un conjunto determinado de actividades para las cuales tiene (o se propone desarrollar) recursos y capacidades específicas. En este caso, Orocobre tiene responsabilidad principal por la operación del salar y la producción de carbonato de litio y, próximamente, de hidróxido de litio. Toyota, por su parte, es responsable por la compra, distribución y procesamiento de estos compuestos en los segmentos aguas abajo. Asimismo, facilita el acceso al financiamiento de los proyectos de inversión y al asesoramiento técnico. Como usuario final y responsable de la distribución del producto, TTC tiene también un papel en la definición de especificaciones técnicas y estándares de calidad.

3. La especialización en actividades mineras. El caso de Galaxy Resources

Un tercer tipo de estrategia para los productores de compuestos de litio es la especialización en actividades mineras de producción de concentrado de espodumeno. Con la excepción de Greenbushes, que como se ha visto, está controlado por empresas que tienen un modelo integrado, los emprendimientos australianos se han basado en la firma de acuerdos de compra anticipada. Hasta el momento, no se han registrado actividades a gran escala con este tipo de estrategias en operaciones en salares, puesto que el traslado de salmuera concentrada para su posterior conversión en compuestos de litio resulta poco conveniente en términos económicos²⁸.

En el caso particular de Galaxy Resources, su estrategia se asienta en la operación de depósitos en mineral de roca y la firma de acuerdos de compra anticipada con clientes que se encargan de su conversión en carbonato o, principalmente, hidróxido de litio. Otras empresas que tienen estrategias similares a este modelo son, por ejemplo, Altura Mining (proyecto Pilgangoora) o Alita Resources (proyecto Bald Hill, actualmente en proceso de administración voluntaria (*deed of company arrangement*)).

Un rasgo distintivo de Galaxy Resources es, sin embargo, su diversificación en términos de tipos de depósito. Actualmente opera Mt Cattlin en Australia, tiene un proyecto en desarrollo en el salar del Hombre Muerto (Argentina), denominado Sal de Vida, y otro en fase de análisis de factibilidad, en mineral de roca en Canadá, denominado James Bay. Los tres proyectos son controlados totalmente por Galaxy Resources.

²⁸ En octubre de 2020, la empresa china Hanaq Group realizó una exportación de salmuera de cloruro de litio producida en el marco del proyecto Salar de Diablillos en la provincia de Salta. No está claro aún si se trata de un modelo de negocios que será sostenido en el tiempo.

En el caso de la operación australiana —representativo del modelo de especialización de empresas no integradas que operan en aquel país— la estrategia comprende la venta de concentrado de espodumeno a tres empresas con plantas de conversión a través de acuerdos de compra: Sichuan Chengtun Lithium, subsidiaria del Chengxin Lithium Group (mínimo de 60.000 toneladas métricas secas anuales, por tres años); con Yahua International Investment and Development (120.000 toneladas métricas secas hasta el 31 de diciembre de 2025); y con Meiwa Corporation (55.000 toneladas métricas secas hasta el 31 de diciembre de 2022),

Las prioridades estratégicas de Galaxy resources se basan en la producción de concentrado de calidad y una reducción de costos operativos que permitan mejorar sus márgenes. El desarrollo en Argentina del proyecto Sal de Vida, según el plan vigente, entraría en su primera etapa de operaciones en 2023. El proyecto aspira a producir carbonato de litio de la mayor calidad posible. Si fuera necesario, se evaluaría la construcción de una planta de purificación, para producir en Argentina un producto apto para baterías.

Las empresas que se inscriben en este modelo, dedicándose exclusivamente a la producción de concentrado de espodumeno, podrían ser consideradas proveedores genéricos para las plantas de conversión. A pesar de que el producto debe cumplir determinados estándares, las empresas dueñas de estas plantas podrían, desde un punto de vista técnico, obtener su producto de distintas fuentes como si fuera un bien no diferenciado. Sin embargo, en las condiciones actuales del mercado de litio, donde aún hay un número limitado de productores, esta posibilidad se ve limitada por la restricción en la oferta.

4. Análisis del segmento aguas arriba

En las redes mapeadas se han identificado tres modalidades principales de articulación: integración intra-firma, acuerdos estratégicos con operadores en segmentos intermedios o aguas abajo, y especialización en actividades mineras con acuerdos de compra anticipada. Las empresas que optan por modalidades de integración vertical son las más grandes y con mayor trayectoria en el sector. También son aquellas con mayor capacidad financiera para solventar inversiones elevadas y de riesgo. Los casos de empresas que han seguido este tipo de estrategias son las que hasta el momento han dominado el mercado: Albemarle, Livent, SQM, Tianqi y Ganfeng. En algunos proyectos estas empresas han combinado la integración vertical con una asociación entre sí (como en Greenbushes) o con empresas más pequeñas que tuvieran licencias para operar las minas o salares (como en Mt Marion y Wodgina). Una vez que inician sus operaciones, estas empresas comercializan gran parte de su producción a través de contratos de largo plazo que, por lo general, se extienden por un plazo de entre 3 y 5 años. Durante el pico de precios, en 2018, Albemarle consideró extender los contratos de venta a las automotrices a un período de 10 años²⁹.

En el caso de las empresas más pequeñas, con menor capacidad financiera, se verifican dos tipos de estrategia, tanto en los proyectos en curso como en aquellos en desarrollo. La primera, más común en salares, consiste en la asociación entre las empresas que tienen una concesión para la operación de minas o salares y empresas más grandes que operan en los segmentos intermedio de la cadena de valor (como CATL y Posco) o aguas abajo (como Toyota). La segunda estrategia, común en depósitos en mineral de roca, corresponde a los acuerdos de compra anticipada por parte de empresas que tienen plantas en China para la conversión de concentrado de espodumeno.

B. Redes en segmentos intermedios y aguas abajo de las redes globales de producción de BiL

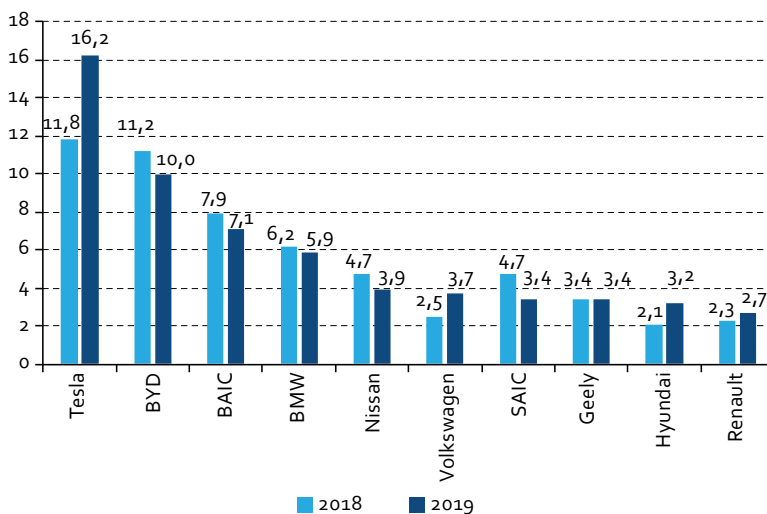
Esta sección se focaliza en los segmentos intermedios y aguas abajo de las redes globales de valor de BiL. El análisis se articula y complementa con la sección anterior, sobre la producción de compuestos de litio. El mapeo de las redes tiene como punto de partida a las empresas productoras de vehículos eléctricos. Este mercado se encuentra en desarrollo, su nivel de concentración, aunque no es elevado y muestra una competencia creciente, es superior al de vehículos tradicionales. La empresa estadounidense Tesla tuvo en

²⁹ Para más detalles véase: <https://www.afr.com/companies/mining/battery-makers-pushing-for-ten-year-lithium-contracts-albemarle-20180514-h10180>.

2019 una cuota de mercado del 16,2%, que equivale a aquella que sumaron ese mismo año las cinco principales compañías automotrices tradicionales: Toyota, Volkswagen, Ford, Honda y Nissan. Si se extiende el análisis a las 8 mayores empresas, la cuota de mercado alcanza 53,6% en el caso de los vehículos eléctricos y a 29,1% en el de vehículos tradicionales. En 2019, las ventas de vehículos eléctricos ascendieron a 2,1 millones de unidades, elevando la flota mundial a 7,2 millones de vehículos en todo el mundo (IEA, 2020). A pesar de la aceleración del proceso de adopción de vehículos eléctricos, la tasa de penetración es aún baja, ya que éstos aún representan solamente el 2,5% del total de ventas mundiales de vehículos (McKinsey & Company, 2019).

La concentración no solo se observa a nivel de marcas, sino también en términos geográficos, ya que China explica casi el 50% del total de la flota de vehículos eléctricos a nivel global, con un total de 3,4 millones de unidades (IEA, 2020). Además de ser el principal mercado, como se ha mencionado anteriormente, gran parte del valor de la red de producción de vehículos eléctricos se genera en China. Este país es, en términos de volumen, el mayor productor mundial de componentes de BiL de segmentos intermedios como cátodos, ánodos y electrolitos.

Gráfico 34
Cuota de mercado de las principales empresas en el mercado de vehículos eléctricos, 2018 y 2019
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de McKinsey & Company (2020) "McKinsey Electric Vehicle Index: Europe cushions a global plunge in EV sales" [disponible en] <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mckinsey-electric-vehicle-index-europe-cushions-a-global-plunge-in-ev-sales>.

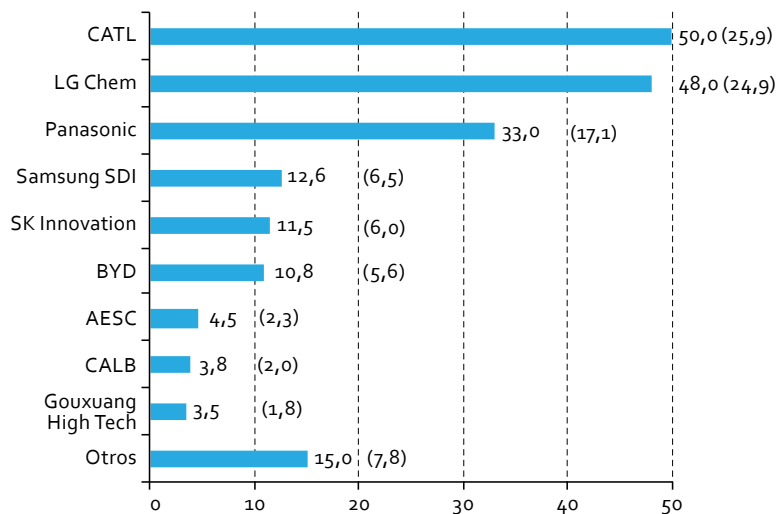
En cuanto a los fabricantes de celdas de BiL para vehículos eléctricos, los principales fabricantes en términos de volumen son Panasonic de Japón, CATL y BYD de China, y LG Chem, Samsung SDI y SK Innovation de República de Corea. Estas seis empresas explicaron en 2020 el 86,1% de las entregas a productores de vehículos eléctricos. Con la excepción de BYD, estas empresas conforman el grupo de productores de calidad superior de celdas (Cuadro 18), Son las que tienen estándares de calidad más elevados, lo que se traslada hasta los requisitos exigidos sobre los compuestos de litio. Las empresas chinas, por su parte, se ubican mayormente en los grupos 2 y 3, con productos que tienen estándares de calidad menos exigentes.

En el caso específico de China, la producción de celdas es dominada por CATL y BYD. De los 4.600 modelos de vehículos eléctricos aprobados en 2019 por el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información de China, aproximadamente 1900 (41,5%) están equipados con baterías de CATL³⁰. La participación de CATL en el mercado mundial de baterías se basa en una intensa campaña de expansión por parte de la empresa a través de la firma de contratos con varias automotrices. Recientemente, la empresa ha comenzado a trabajar en la construcción de una fábrica de celdas en Alemania que le permitirá estar más cerca de sus clientes europeos³¹.

³⁰ Ver: <https://www.marklines.com/en/top500/catl>.

³¹ Véase: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mckinsey-electric-vehicle-index-europe>

Gráfico 35
Entregas de celdas de baterías a productores de vehículos eléctricos, 2020
 (En GWh y cuota de mercado en porcentajes)^a



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Roland Zenn, con base en SNE Research.

^a Excluye las entregas de Farasis Energy.

Cuadro 18
Posición de las principales empresas productoras de celdas en el mercado mundial

Grupos de calidad	Empresas	País	
1	Panasonic Automotive Energy Supply Corporation Lithium Energy Japan Corporation	Japón	
	CATL	China	
	Samsung SDI LG Chem SK Innovation	República de Corea	
	2	BYD Eve Energy A123 Systems Svolt Energy Technology CALB Geely Farasis Energy Sunwoda Hefei Guaxuan High-Tech Power Energy Tesson Great Power	China
		3	Energy Absolute
Dynavolt Energy Technology Far East Foster New Energy CITIC Guoan Group TN Power			China
Lithium Werks			Estados Unidos
Magna Energy			Chequia
InoBat		Eslovaquia	

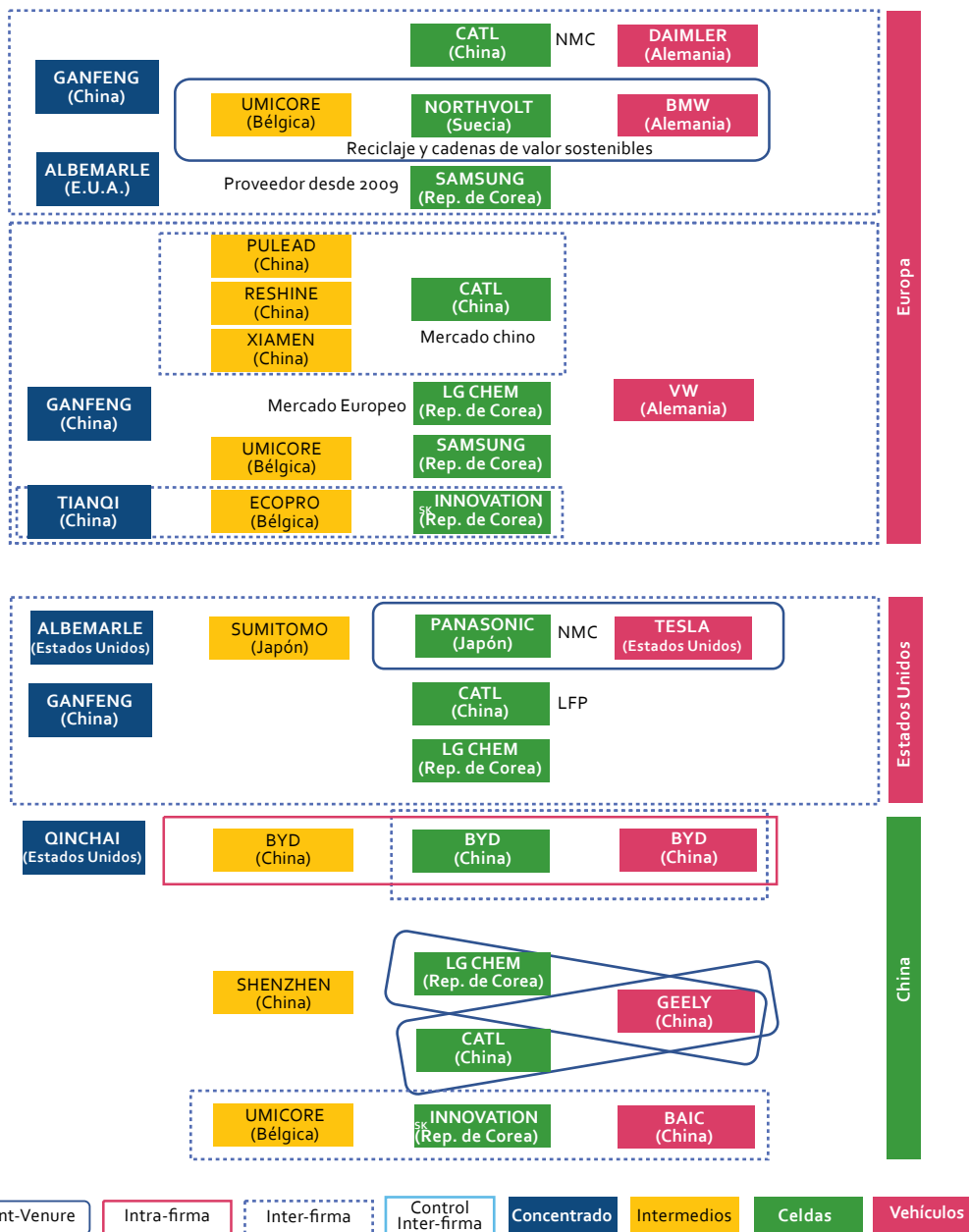
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Kumar, V. (2020), "Lithium ion battery supply chain technology development and investment opportunities". Carnegie Mellon University Battery Seminar, Benchmark Mineral Intelligence.

En el Diagrama 7 se ilustran casos seleccionados de redes organizadas por productores de vehículos eléctricos con origen en China, Estados Unidos y Europa. La reconstrucción de las redes se ha realizado

a partir de las empresas productoras de vehículos eléctricos, que cumplen el papel de líder de la red. A partir de allí, se han rastreado los vínculos con otros actores que operan en segmentos intermedios y aguas arriba. Esto ha permitido la identificación de estrategias y de modalidades de relacionamiento y/o coordinación entre empresas que operan en RGP. Sin embargo, esta estrategia de mapeo no permite reconstruir totalmente las RGP, ya que existen limitaciones para identificar la totalidad de proveedores de componentes de vehículos eléctricos a partir de información secundaria.

A continuación, se analizan los casos de tres empresas occidentales —Tesla, BMW y Volkswagen— y de tres empresas chinas, que presentan distintos modelos de articulación de redes de producción.

Diagrama 7
Redes identificadas en torno a empresas líderes de la red global de producción de BiL para vehículos eléctricos



Fuente: Elaboración propia.

1. Tesla

Fundada en 2003, en Estados Unidos, Tesla es un actor disruptivo en el mercado de la electromovilidad. Ello le ha permitido posicionarse en la industria automotriz, caracterizada por altas barreras de entrada, a pesar de no ser una empresa con trayectoria en la producción de automóviles tradicionales. Tesla diseña, desarrolla, fabrica y comercializa sus propios vehículos eléctricos. Además, produce sistemas de almacenamiento estacionario. La compañía ha expandido sus operaciones más allá del mercado estadounidense, para lo cual ha instalado una planta en China, iniciado la construcción de otra en Alemania y anunciado su instalación en India.

Los principales atributos técnicos del éxito de la empresa radican en la capacidad de aceleración y autonomía de sus vehículos, la autonomía de sus BiL y las capacidades de diseño y producción de la firma, y la estrategia de comercialización de sus productos (Thomas y Maine, 2019). En el primer semestre de 2020, el Tesla Model 3 ha explicado por sí solo el 24% de las ventas totales de vehículos con baterías eléctricas del mercado mundial³².

Una de las asociaciones estratégicas más destacadas de Tesla es aquella que desde 2011 sostiene con Panasonic para el suministro de celdas de batería para sus vehículos eléctricos. Según el informe anual de Tesla, hasta 2019, las inversiones acumuladas con su socio estratégico Panasonic ascendían a US\$ 5.270 millones (Tesla, 2019). La asociación entre ambas empresas se basa en la producción y garantía de aprovisionamiento de celdas para la producción de los vehículos eléctricos de Tesla.

Inicialmente Panasonic invirtió US\$ 30 millones en Tesla como parte de un trabajo conjunto que impulsa el crecimiento de la industria de vehículos eléctricos³³. A lo largo de los años ambas empresas han desarrollado varios proyectos conjuntos. Uno de los emprendimientos icónicos fue la construcción en 2014 de una giga-fábrica de baterías en Estados Unidos donde Panasonic, que invirtió alrededor de US\$ 1.600 millones, ocupa más de la mitad del complejo industrial. La empresa japonesa ha sido responsable de la instalación y operación de la maquinaria y equipo para la fabricación y suministro de celdas cilíndricas de ion de litio con cátodos de níquel-cobalto-aluminio (NCA). Ambas empresas desarrollaron una red de proveedores principalmente para los materiales precursores como los cátodos. A partir de las celdas producidas por Panasonic, Tesla ensambla los módulos y los paquetes de las BiL.

Actualmente, la planta tiene una capacidad de producción de 35 GWh anuales. Aunque se proyecta una expansión en la capacidad superior a los 100 GWh. La escala alcanzada ha permitido optimizar los procesos de producción. Asimismo, la co-locación de la producción de celdas y vehículos ha permitido eliminar costos de empaque, transporte y servicio, así como los costos de mantenimiento de inventario³⁴. Como resultado del proceso colaborativo e integrado entre Tesla y Panasonic, se ha logrado reducir el costo de producción de celdas en un 20%³⁵.

Un hecho que vale la pena mencionar y que demuestra el compromiso a largo plazo entre ambas empresas es que, durante el primer trimestre de 2020, la giga-fábrica ha reportado ganancias por primera vez. Esto brinda cierto alivio a la compañía japonesa con relación a la inversión realizada en la planta de Estados Unidos³⁶. Pocas empresas pueden embarcarse en este tipo de proyectos, pero gracias a su diversificada estructura corporativa Panasonic ha podido asumir un desafío de esta magnitud. De acuerdo con su reporte anual, solo el 18% (US\$ 72 billones) de las ventas anuales de Panasonic corresponden al segmento automotriz de los cuales, a su vez, las BiL representan una porción (Panasonic, 2020).

Para desarrollar su estrategia de expansión hacia el mercado asiático, Tesla ha establecido acuerdos de suministro para su planta de Shanghái con otros fabricantes de celdas como LG Chem y CATL. En China, Tesla ofrece vehículos con BiL que tienen cátodos de fosfato de hierro y litio (LFP), lo que le permite reducir los costos de producción³⁷.

³² Véase: <https://www.jato.com/>.

³³ Para más detalles ver: <https://www.tesla.com/blog/panasonic-enters-supply-agreement-tesla-motors-supply-automotivegrade-battery-c>.

³⁴ Para más información consultar: <https://www.tesla.com/blog/panasonic-and-tesla-sign-agreement-gigafactory>.

³⁵ Ver el siguiente enlace para más información: <https://www.ft.com/content/d403516c-eca7-11e8-8180-9cf212677a57>.

³⁶ Véase para más información: <https://www.ft.com/content/7cdb9e1a-466c-11ea-aeb3-955839e06441>.

³⁷ Información disponible [en línea] <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/tesla-model-3-chino-cobalto-baterias-mercado-europeo/20201027160525039411.html>.

Las empresas proveedoras de celdas de Tesla tienen sus propias redes diversificadas. Panasonic, por ejemplo, ha iniciado planes para establecer su primera fábrica de baterías en Noruega, aprovechando el conocimiento adquirido como socio de Tesla para obtener nuevos negocios con fabricantes de automóviles europeos³⁸. De la misma manera, CATL está en proceso de implementar operaciones en Alemania, lo que le permitirá contar con 14GWh de capacidad de producción de baterías para el año 2022³⁹.

En cuanto a segmentos intermedios se refiere, la empresa japonesa fabricante de cátodos Sumitomo, que tiene a Panasonic entre sus principales clientes, ha invertido US\$ 332 millones para incrementar la capacidad productiva de cátodos de tipo NCA⁴⁰. De esta forma, busca asegurar una capacidad productiva que le permita continuar suministrando materiales catódicos de alta calidad requeridos por la próxima generación de vehículos de Tesla. Si bien Sumitomo y Tesla no han firmado acuerdos, tienen un vínculo indirecto a través de los productores de BiL que operan en la red.

La red de Tesla también alcanza a proveedores especializados en segmentos aguas arriba. En 2019, la empresa Ganfeng hizo público un acuerdo con la empresa estadounidense, que podría extenderse por tres años, para destinar el 20% de su producción anual a sus proveedores de componentes de baterías⁴¹. Livent también mantiene un acuerdo de suministro con Tesla. Recientemente, la empresa hizo un anuncio sobre el incremento de volúmenes de hidróxido de litio vendidos a Tesla para el 2020⁴² y sobre las negociaciones para una asociación a largo plazo con el fabricante de vehículos eléctricos que, según se espera, se podría extender más allá de 2021⁴³.

A pesar de contar con una red de proveedores diversificada y consolidada, en septiembre de 2020, Tesla hizo un anuncio que ha llamado la atención de la industria de vehículos eléctricos y sus redes de proveedores: la empresa se orientará a lograr una mayor integración vertical, interviniendo directamente en la producción de las distintas materias primas y componentes. La empresa se ha propuesto obtener sus propios compuestos de litio, construir una planta de cátodos y expandir su capacidad de celda de batería a 3 TWh para 2030, con la finalidad de producir un vehículo eléctrico asequible de US\$ 25.000 en los próximos tres años (INN, 2020). Esta estrategia sería tan ambiciosa como la desarrollada por la china BYD (ver Capítulo VI, parte B, inciso 4) por la profundidad de la integración intra-firma, que alcanzaría los segmentos aguas arriba de las RGP⁴⁴.

En el marco de esta estrategia, en septiembre de 2020, Tesla firmó un acuerdo con la empresa estadounidense Piedmont Lithium, que está desarrollando una mina para la producción de concentrado de espodumeno y una planta de conversión de hidróxido de litio en Carolina del Norte. El acuerdo es por un período inicial de cinco años con un compromiso de compra vinculante a precio fijo desde la entrega del primer producto. El acuerdo representa un compromiso que explica aproximadamente un tercio de la producción planificada de Piedmont de 160.000 toneladas por año durante el período inicial de cinco años, así como una cantidad adicional que se entregará a opción de Tesla.

³⁸ Véanse más detalles [en línea] <https://www.ft.com/content/g1ad24ec-87f7-4228-99a5-cc99e78adbaa>.

³⁹ Véase más información sobre capacidad de producción de baterías [en línea] <https://europe.autonews.com/suppliers/catl-expands-bond-issue-fund-german-plant>.

⁴⁰ Véase más información [en línea] <https://www.reuters.com/article/us-sumitomo-ntl-min-strategy-idUSKCN1LT1SN>.

⁴¹ Ver más información en: <https://www.fool.com/investing/2019/03/26/who-are-teslas-lithium-suppliers.aspx>.

⁴² Véase más información sobre volúmenes de hidróxido de litio vendidos a <https://www.mining-technology.com/news/livent-extends-supply-agreement-with-tesla-until-2021/>.

⁴³ Para más información: <https://www.barrons.com/articles/joe-biden-wants-to-change-tax-policy-heres-what-he-might-accomplish-51606496735>.

⁴⁴ Véase más detalle en: <https://www.tesla.com/2020shareholdermeeting>.

2. BMW

La empresa automotriz alemana, cuyo origen se remonta a 1913⁴⁵, dio sus primeros pasos en el mundo de los vehículos eléctricos en los años '70 haciendo uso de baterías de plomo ácido⁴⁶. Actualmente, BMW es una de las empresas automotrices más activas en la electromovilidad. El BMW i3 entró en producción en 2013 y, según los anuncios realizados por la empresa, hacia 2025 la cartera llegará a 25 modelos, de los cuales doce serán completamente eléctricos⁴⁷.

En cuanto a los proveedores de celdas de sus BiL, BMW mantiene una estrategia de diversificación que se ha cristalizado en acuerdos con Samsung SDI, CATL y Northvolt⁴⁸. En el caso de Samsung SDI, ambas empresas vienen trabajando de manera conjunta desde 2009. En noviembre de 2019, firmaron un acuerdo para el suministro de BiL por un valor de US\$ 3.200 millones, que garantizaría la producción de sus nuevos modelos de vehículos eléctricos. En el marco del acuerdo, BMW comprará las celdas de BiL de Samsung SDI durante 10 años, en el período 2021-2031. En este marco, Samsung SDI estableció una fábrica de celdas de batería en Hungría en 2017, donde ha invertido alrededor de US\$ 1.400 millones para expandir su capacidad productiva⁴⁹.

Otro de los principales proveedores de BMW es la empresa china CATL. Los contratos con esta empresa ascienden a US\$ 8.700 millones para el período comprendido entre 2020 a 2031. La asociación entre ambas empresas permitirá la producción conjunta de celdas de BiL en China⁵⁰. CATL invertirá alrededor de US\$ 285 millones para la primera fase de la construcción de una planta de celdas de batería en Alemania, con vistas a atender el mercado europeo de automóviles como BMW, Volkswagen, Daimler y Volvo⁵¹. CATL ha identificado una oportunidad en la falta de productores de baterías en Europa, que hasta el momento ha vuelto a los fabricantes de automóviles dependientes de proveedores asiáticos⁵².

En los segmentos aguas arriba y con el objetivo de garantizar la provisión de compuestos químicos para la producción de BiL, BMW ha profundizado su relación comercial con la empresa china Ganfeng. Esta empresa suministra hidróxido de litio a CATL y Samsung SDI, los dos fabricantes de celdas de batería asociados con BMW. El acuerdo con Ganfeng asciende a US\$ 640 millones por un período de cinco años (2020-2024), lo que permitirá suministrar compuestos de litio para la fabricación de celdas de BiL destinadas a la nueva generación de vehículos eléctricos. La alianza entre Ganfeng y BMW forma parte de una política corporativa de la empresa alemana de transparentar el origen de las materias primas utilizadas para la producción de BiL⁵³.

Finalmente, se identifica el consorcio tecnológico europeo integrado BMW (Alemania) junto a Northvolt (Suecia) y Umicore (Bélgica) para trabajar en el desarrollo continuo de una cadena de valor completa y sostenible de celdas de batería en Europa⁵⁴. Ante la creciente importancia de centros de reciclado de materias primas, varias empresas están buscando aumentar su capacidad productiva a partir de proyectos conjuntos. El proyecto tiene como objetivo crear un "ciclo cerrado" de fabricación de BiL para vehículos eléctricos, reciclado y posterior uso en sistemas de almacenamiento estacionario (Kumar, 2020).

⁴⁵ Véase más información: <https://www.bmw.com/en/automotive-life/BMW-name-meaning-and-history.html>.

⁴⁶ Véase más detalles: <https://www.businessinsider.com/history-of-bmw-electric-cars-2016-5#in-1975-bmw-started-working-on-another-secret-project-car-the-1s-electric-3>.

⁴⁷ Más información disponible [en línea] <https://insideevs.com/features/340852/bmw-electric-cars-past-present-and-future/>.

⁴⁸ Véanse más detalles [en línea] <https://www.electrive.com/2020/07/16/northvolt-becomes-3rd-battery-cell-supplier-to-bmw/>.

⁴⁹ Véanse más información [en línea] http://www.koreatimes.co.kr/www/tech/2020/05/133_279981.html.

⁵⁰ Para más información [en línea] <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/To302864EN/bmw-group-forges-ahead-with-e-mobility-and-secures-long-term-battery-cell-needs-%E2%80%93-total-order-volume-of-more-than-10-billion-euros-awarded?language=en>.

⁵¹ Ver más información [en línea] <https://www.prnewswire.com/news-releases/catl-starts-construction-of-its-first-overseas-factory-in-germany-300941142.html>.

⁵² Disponible [en línea] <https://www.ti-insight.com/ereports/electric-vehicle-supply-chain-architecture/leading-battery-manufacturers/leading-battery-manufacturers-contemporary-ampere-technology-co-limited-catl/>.

⁵³ Véase más información: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/To303684EN?language=en>.

⁵⁴ Véanse más detalles [en línea] <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/To285924EN/bmw-group-northvolt-and-umicore-join-forces-to-develop-sustainable-life-cycle-loop-for-batteries>.

Este consorcio es apoyado por la Alianza Europea para Baterías⁵⁵. Northvolt se ha convertido en una apuesta estratégica de dicha iniciativa, recibiendo financiamiento del Banco Europeo de Inversiones, a través de una fase inicial de US\$ 63 millones en 2018 y, a partir del año 2020, con US\$ 424 millones⁵⁶. Está previsto que la fábrica sueca de baterías tenga una capacidad inicial de 16 GWh hasta llegar a los 40 GWh de producción de baterías para el año 2023.

Como parte del espíritu de colaboración estratégica de la Alianza Europea para Baterías, BMW ha firmado con Northvolt un contrato de suministro de celdas de baterías hasta 2024 que asciende a US\$ 2.400 millones. Esto permitiría a BMW contar con un nuevo proveedor a nivel regional, reduciendo así su dependencia de empresas asiáticas. Al mismo tiempo, podrá cumplir con normas medioambientales que garanticen el suministro de materias primas como cobalto y litio de proveedores que se adhieren a sus altos estándares de sostenibilidad⁵⁷.

Umicore también han recibido apoyo de la Alianza Europea para Baterías a través de un financiamiento de US\$ 151,7 millones por parte del Banco Europeo de Inversiones. Si bien el anuncio de Umicore no hace referencia específica al proyecto con Northvolt y BMW, el apoyo recibido financiará parte de la inversión de la empresa en la planta de materiales catódicos en Polonia, destinada a abastecer las operaciones europeas de los clientes de Umicore. De este modo, el proyecto contribuye a los planes de la Unión Europea para crear un ecosistema de baterías competitivo y sostenible en Europa⁵⁸.

3. Volkswagen

La automotriz alemana, creada en 1937, lleva más de 40 años de investigación en movilidad eléctrica. El primer modelo Golf eléctrico de prueba fue fabricado en 1976, en busca de un concepto de propulsión económico y ecológico. En 2010, Volkswagen lanzó el modelo e-Golf, que alcanza una autonomía de hasta 200 Km y que sigue vigente en el mercado. Como parte de su estrategia de diversificación, en 2019, Volkswagen puso en marcha una inversión de US\$ 800 millones para la construcción de una planta en Estados Unidos de América que producirá dos modelos automóbiles eléctricos⁵⁹.

Volkswagen tiene como proveedores de BiL a LG Chem, Samsung SDI y SK Innovation para el mercado europeo⁶⁰ y a CATL para sus modelos producidos tanto en China como en Europa⁶¹. Volkswagen es una de las empresas automotrices que mayor impulso ha tomado para acelerar la producción de vehículos eléctricos. En 2019, la empresa anunció que compraría US\$ 56.600 millones en celdas de baterías y que para el año 2025 necesitaría 150 GWh de capacidad de producción en Europa y 150 GWh para abastecer su mercado asiático. La empresa alemana provee financiamiento a sus proveedores y asume riesgos conjuntos en la instalación de capacidades adicionales por parte de sus proveedores a través de empresas de riesgo compartido⁶².

Adicionalmente a los acuerdos de compra establecidos con sus proveedores de BiL, en 2019 VW invirtió US\$ 121 millones en una planta piloto para la producción de celdas de batería. Este es un primer paso para desarrollar sus propios conocimientos de desarrollo y producción de BiL⁶³.

⁵⁵ Véase: <https://www.eba250.com/>.

⁵⁶ Ver enlace para más información: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_1422.

⁵⁷ Véanse más información [en línea] <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0311274EN/bmw-group-continues-to-drive-electromobility-long-term-supply-contract-with-northvolt-for-battery-cells-from-europe-concluded>.

⁵⁸ Información disponible [en línea] <https://www.umicore.com/en/newsroom/news/newsroom/news/eib-grants-125-million-loan-to-support-umicores-european-rechargeable-battery-materials-activities/>.

⁵⁹ Véanse más detalles [en línea] <https://electrek.co/2019/11/12/vw-breaks-ground-on-massive-tennessee-ev-plant-dubbed-a-magic-moment-by-ceo/>.

⁶⁰ Disponible [en línea] <https://www.electrive.com/2020/05/09/volkswagen-builds-battery-factory-in-salzgitter/>.

⁶¹ Véanse más detalles [en línea] <https://www.ti-insight.com/ereports/electric-vehicle-supply-chain-architecture/leading-battery-manufacturers/leading-battery-manufacturers-contemporary-ampere-technology-co-limited-catl/>.

⁶² <https://uk.reuters.com/article/us-volkswagen-electric-batteries/vw-to-deepen-alliances-with-battery-suppliers-for-electric-push-idUKKCN1U30I8>.

⁶³ Información disponible [en línea] <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/volkswagen-group-starts-battery-cell-development-and-production-in-salzgitter-5381>.

En cuanto a los segmentos intermedios, en 2019 la empresa belga Umicore ha establecido un acuerdo con LG Chem para el suministro de 125.000 toneladas de cátodos con tecnología NMC, provistos principalmente desde una nueva planta de Umicore en Polonia⁶⁴. Si bien no existe un acuerdo directo entre Volkswagen y Umicore, la agencia especializada Roskill estima que parte del material catódico producido por Umicore abastecería a una de las nuevas líneas de producción de Volkswagen⁶⁵. En la misma línea, Umicore y Samsung SDI han firmado un acuerdo para el suministro de cerca de 80.000 toneladas métricas de materiales catódicos de alto rendimiento tipo NMC⁶⁶, los cuales se producen a partir de 2020. Está previsto que una parte significativa de esa producción esté destinada a aplicaciones automotrices de rápido crecimiento en Europa y Asia⁶⁷.

Otro de los proveedores de BiL de Volkswagen es la coreana SK Innovation que tiene entre sus proveedores de materiales catódicos a EcoPro BM de República de Corea. Ambas empresas firmaron un contrato por el que EcoPro BM suministraría material catódico a SK Innovation por un valor estimado de US\$ 2.270 millones, asegurando un cliente para la apertura de su nueva planta a finales de este año⁶⁸. En línea con estos acuerdos y observando el comportamiento en segmentos aguas arriba, la empresa Tianqi Lithium Kwinana (TLK), una subsidiaria de propiedad de la empresa china Tianqi, productora de compuestos de litio, ha firmado dos acuerdos estratégicos de suministro de hidróxido de litio para baterías con SK Innovation y EcoPro BM⁶⁹.

Debido al rápido aumento en la demanda de materia prima para la producción de celdas de BiL durante los próximos años, VW ha firmado un memorándum de entendimiento con Ganfeng para el suministro de litio como materia prima clave para sus baterías⁷⁰. En sus comunicados, VW no ha revelado los términos del acuerdo, pero sus directivos han manifestado que este tipo de acercamientos con empresas proveedoras de compuestos de litio permite asegurar la demanda futura de una materia prima clave como el litio. Ambas empresas también han acordado cooperar en temas como el reciclaje de baterías y las baterías de estado sólido⁷¹.

4. Empresas chinas productoras de vehículos

En esta sección se presentan los casos de tres empresas chinas productoras de vehículos eléctricos con estrategias diferenciadas. El primer caso corresponde al grupo Geely, una marca global de automóviles con sede en China fundada en 1984. La empresa comenzó como fabricante de refrigeradores dando el salto a la producción de automóviles a fines de la década de 1990 (Wang y Kimble, 2013). El año 2015, Geely fue una de las primeras automotrices a nivel mundial en comprometerse a electrificar su gama de productos. Entonces, se planteó como objetivo que el 90% de sus ventas provinieran de sus vehículos eléctricos.

Aguas abajo, CATL destina un 40% de su producción al abastecimiento de la demanda de empresas automotrices chinas (Goldman y otros, 2019). En lo que respecta a sus vínculos aguas arriba, la dependencia de empresas chinas es mucho mayor: el 88% de los componentes de las celdas CATL provienen de otras empresas de este mismo país, como Pulead, Reshine o Xiamen.

En junio de 2019, Shanghai Maple Guorun, una subsidiaria de Geely, anunció un *joint-venture* con la coreana LG Chem para el establecimiento de una empresa conjunta con una inversión de US\$ 188 millones y participación accionaria del 50%. La empresa se dedicará a la producción y venta de BiL para vehículos

⁶⁴ Para más información sobre segmentos intermedios: <https://www.umicore.com/en/newsroom/newsroom/news/umicore-announces-partnership-with-lg-chem-for-the-supply-of-nmc-cathode-materials/>.

⁶⁵ Disponible [en línea] <https://roskill.com/news/batteries-umicore-to-supply-125kt-of-high-nickel-cathode-materials-to-lg-chem/>.

⁶⁶ Ver para más detalles <https://www.umicore.com/en/newsroom/news/newsroom/news/umicore-announces-strategic-supply-agreement-with-samsung-sdi-for-nmc-cathode-materials/>.

⁶⁷ Para más detalles [en línea] <https://www.umicore.com/storage/main/20191024-sdi-en.pdf>.

⁶⁸ Ver enlace [en línea] <https://www.argusmedia.com/en/news/2063082-ecopro-to-supply-ncm-to-sk-innovation-double-capacity>.

⁶⁹ Véanse más detalles [en línea] <https://www.indmin.com/Article/3871716/Tianqi-Lithium-signs-supply-contracts-with-SKI-Ecopro.html>.

⁷⁰ Véase más información sobre demanda de materia prima [en línea] <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/volkswagen-group-secures-lithium-supplies-4804>.

⁷¹ Para más detalles [en línea] <https://auto.economictimes.indiatimes.com/news/auto-components/volkswagen-inks-10-year-lithium-supply-deal-with-chinas-ganfeng/68750112>.

eléctricos⁷². La capacidad de la planta será de 10 GWh al año y suministrará celdas de batería al fabricante de automóviles chino y sus subsidiarias a partir de 2022⁷³.

Otro de los socios estratégicos de Geely en la producción de celdas es la empresa CATL. En este caso, ambas empresas también anunciaron un *joint-venture* a fines del año 2018, con una participación accionaria del 49% para Geely y 51% para CATL. A través del acuerdo, ambas empresas establecieron la creación de una nueva empresa denominada CATL Geely Power Battery Co. Ltd., que demandó una inversión de US\$ 155,7 millones.

El segundo caso es el de Beijing Automotive Industry Holding (BAIC Group). Se trata de una empresa creada en 1958 que pertenece en un 60% al Estado chino. Actualmente BAIC es el primer productor de vehículos eléctricos en China, a través de su subsidiaria Beijing Electric Vehicle Company (BJEV). Su línea de vehículos eléctricos, Arcfox, fue lanzada al mercado en 2016. Ese mismo año, la alemana Daimler adquirió el 12% del paquete accionario de BAIC.

En cuanto a la provisión de BiL, en 2013 SK Innovation invirtió US\$ 142 millones para crear una empresa conjunta con BAIC, denominada Beijing BESK Technology. En diciembre de 2019, la empresa completó la construcción de una fábrica de BiL en Changzhou, provincia de Jiangsu en China. La planta tiene capacidad para abastecer la producción de 150.000 vehículos eléctricos al año⁷⁴.

Finalmente, el grupo BYD se presenta como una experiencia singular a nivel mundial, debido a la profundidad de su integración intra-firma en la fabricación de vehículos eléctricos, BiL y otros componentes. BYD fue establecida en 1995 y concentra el 82% de sus ingresos por ventas en China. Sin embargo, tiene una creciente presencia en otras regiones como Estados Unidos, Europa, India y Brasil. En el exterior, su estrategia se ha basado en la creación de vínculos y asociaciones en diferentes regiones del mundo, llegando a consumir el 20% de los compuestos de litio producidos a nivel mundial⁷⁵. La empresa ha invertido alrededor de US\$ 3.000 millones para casi cuadruplicar su capacidad de producción de BiL para vehículos eléctricos con el objetivo de alcanzar a otras empresas chinas como CATL⁷⁶.

BYD es una empresa verticalmente integrada en la mayoría de los segmentos de la cadena de suministro de vehículos eléctricos produciendo sus propias celdas de batería, packs y vehículos (Wang y Kimble, 2013; Goldman y otros, 2019). De acuerdo con la información publicada por la empresa, esta integración vertical redundó en una reducción de costos de entre un 20% y un 30%, gracias a la eliminación de procesos de coordinación con proveedores (Quan y otros, 2018).

El control intra-firma de BYD la ha llevado a asociarse con la empresa local Qinghai Salk Lake Industry Group Co Ltd., para construir una planta de extracción y procesamiento de sales de litio⁷⁷. Esto le permitirá a BYD controlar todo el ciclo productivo de vehículos eléctricos, desde la provisión de materias primas hasta la fabricación de baterías.

5. Análisis de los segmentos intermedio y aguas abajo

Aunque no son representativos de la situación del mercado en su conjunto, el análisis de los casos revisados en esta sección permite una comprensión más profunda de la organización de las redes globales de producción de BiL para el sector automotriz. El núcleo de estas redes está integrado por la asociación entre una empresa líder —la productora de vehículos— y sus socios estratégicos —productores de celdas de baterías. La primera aporta la marca, el mercado para los vehículos y la capacidad de organización de la red de producción, mientras que los productores de celdas aportan la tecnología clave para el

⁷² Disponible [en línea] <http://global.geely.com/media-center/news/geely-auto-and-lg-chem-to-establish-joint-venture-company-to-produce-batteries-in-china/>.

⁷³ Véanse más detalles [en línea] http://www.koreatimes.co.kr/www/tech/2020/05/133_279981.html.

⁷⁴ Véanse más información [en línea] http://www.koreatimes.co.kr/www/tech/2020/05/133_279981.html.

⁷⁵ Para mayores detalles ver: <https://www.ft.com/content/ab639040-1aa9-11e7-a266-12672483791a>.

⁷⁶ Ver el siguiente enlace para más detalles: <https://asia.nikkei.com/Spotlight/Electric-cars-in-China/BYD-to-quadruple-car-battery-output-with-lithium-site-plants>.

⁷⁷ Disponible [en línea] http://www.chinadaily.com.cn/bizchina/2016-06/23/content_25822497.htm.

funcionamiento, que es una de las llaves para el potencial de expansión de dicho mercado, toda vez que el paquete de baterías explica más del 50% del costo total de un vehículo eléctrico (Lutsey y Nicholas, 2019).

La dependencia mutua entre empresas de todos los segmentos de la red es importante, en especial en el contexto de desarrollo de un mercado que aún debe reducir sus costos para poder competir con los vehículos tradicionales (con una menor dependencia del apoyo estatal). Para las empresas automotrices, no es posible satisfacer la demanda del mercado sin el soporte de sus socios estratégicos y el suministro de componentes o módulos por parte de sus proveedores especializados (Coe y Yeung, 2015). Para los productores de celdas, por su parte, el segmento automotriz es el que ofrece mayores perspectivas de crecimiento.

Tal como ocurre con la industria automotriz tradicional, también se verifica en el segmento eléctrico una tendencia a la co-localización de inversiones entre los socios estratégicos. La principal motivación es reducir los elevados costos de transporte de las celdas o paquetes de BiL (Coffin & Horowitz, 2018). Este es el caso de Tesla y Panasonic en los Estados Unidos, así como también las inversiones de LG Chem en Polonia y CATL en Alemania.

Los vínculos se extienden también entre los productores de celdas y los productores de material catódico y compuestos de litio (así como también de los otros elementos que se utilizan como insumos de las BiL). En este caso, sin embargo, prevalecen los contratos de compra, más que las relaciones patrimoniales. El objetivo es asegurarse el aprovisionamiento a un precio y una calidad determinada. En un mercado como el del litio, concentrado en términos geográficos y con incertidumbre en términos de su capacidad para satisfacer el crecimiento de la demanda, estos acuerdos son importantes para asegurar pisos de rentabilidad. En algunos casos, los acuerdos son firmados directamente por las empresas automotrices que, en su papel de líder de la red ejercen una función de coordinación y buscan asegurar el funcionamiento de la cadena de aprovisionamiento. En otros casos, los contratos tienen lugar entre los productores de celdas o material catódico con las empresas que producen compuestos de litio, a veces avalados por las empresas automotrices como parte de sus políticas corporativas de sustentabilidad y transparencia respecto al origen de las materias primas utilizadas en sus vehículos.

Hasta el momento, las experiencias de coordinación intra-firma son la excepción. Este es el caso de BYD, cuyas capacidades productivas tienen su origen en la producción de baterías. Desde allí, se extendieron al segmento de producción de vehículos eléctricos, hacia abajo, y la producción de material catódico y materias primas, hacia arriba, lo que permitió a la empresa internalizar actividades que generan valor y bajar el costo de sus baterías (Quan y otros, 2018). Como se ha mencionado anteriormente la verticalización de la empresa busca reducir el riesgo de abastecimiento de compuestos de litio a partir de la adquisición de nuevos activos. Los subsidios gubernamentales de los cuales se ha beneficiado BYD le han permitido a la empresa tener cierta flexibilidad y reducir su presión financiera (Jin, 2019).

Como se analizará en la siguiente sección, el papel de los actores no productivos de la red ha sido fundamental para su desarrollo. En particular, ha sido determinante el papel de ciertos gobiernos (principalmente asiáticos y más recientemente europeos) en el fomento del consumo de vehículos y producción eléctricos y, más en general, en la transición energética.

C. Iniciativas empresariales en el triángulo del litio en segmentos intermedios y aguas abajo⁷⁸

Como se ha señalado, los países sudamericanos con recursos de litio han desarrollado estrategias que aspiran a expandir su presencia en las RGP, logrando una mayor localización de actividades productivas vinculadas a la producción de celdas y baterías. En esta sección se presentarán casos seleccionados de empresas de la región que están desarrollando iniciativas vinculadas a la producción de electrodos, de

⁷⁸ Esta sección se elaboró en base a informes de las empresas, notas de prensa y entrevistas con sus dueños y/o directores: Sergio Barón (Dynami), Patricio Jarpa (Nanotec), Alejandro Cometto (SolAR), José Marquez (Quantum), Pablo Naya (Sero Electric), Matías Ochoa (Volt Motors) y Miguel Ángel Bravo (Bravo Motor Company).

celdas de BiL o vehículos eléctricos. Aun cuando algunas de ellas han sido beneficiadas con subsidios —por ejemplo, para desarrollar actividades de investigación y desarrollo— o beneficios fiscales, se trata mayormente de emprendimientos privados que no han surgido como resultado de políticas públicas para promover encadenamientos productivos en torno al litio.

Dos emprendimientos argentinos, Dynami y Solar, tienen como objetivo la producción de celdas de BiL, utilizando distintos tipos de tecnologías. Tres de las empresas seleccionadas fabrican vehículos eléctricos: Quantum opera en el Estado Plurinacional de Bolivia, mientras que Volt y Sero Electric lo hacen en Argentina. El proyecto de desarrollo de Bravo Motor Company es el que aspira a una mayor integración vertical del proceso productivo. Surgido en Argentina y con base en Estados Unidos, la iniciativa tiene como propósito crear un consorcio para desarrollar un polo de producción de vehículos eléctricos en Brasil. Finalmente, el proyecto de Nanotec, de origen chileno, es el único que ha sido beneficiario de una política gubernamental específica para el desarrollo de la cadena de litio. La empresa ha sido seleccionada para acceder a la cuota de litio a precio preferencial, a disposición a partir de la renegociación del contrato entre CORFO y SQM (ver Capítulo VII), El proyecto de la empresa es producir nanopartículas de litio y aditivos de nanopartículas de litio que serían utilizadas como insumo para la fabricación de BiL.

Los casos seleccionados han logrado hasta el momento distintos grados de avance. Mientras que algunos ya comercializan sus productos, otros se encuentran en una fase inicial de desarrollo y solo han fabricado prototipos. El objetivo de esta sección no es evaluar la factibilidad de las iniciativas, sino que pretende ilustrar qué tipo de estrategias se desarrollan en la región, qué tipos de redes de producción se articulan y cómo se vinculan las actividades aguas abajo con la dotación de recursos de litio en Argentina, Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia.

1. Dynami

Dynami es un emprendimiento que comenzó en Argentina, en 2017⁷⁹. Su principal actividad consiste en la creación de métodos de fabricación de baterías de litio utilizando técnicas de Industria 4.0. Entre sus primeros desarrollos se encuentra un proceso de impresión digital de electrodos nanoestructurado, cuyo proceso de patentamiento se encuentra en curso. Asimismo, Dynami ha desarrollado un servicio denominado Battery Inventor, una herramienta que permite a los clientes definir las especificaciones de las baterías requeridas⁸⁰.

Desde su masificación en los años noventa, la industria de BiL ha buscado mejorar la densidad de energía (carga) y el ciclo de carga de las baterías, fundamentalmente a través de innovaciones en la tecnología electroquímica. Sin embargo, el desarrollo de la tecnología de producción de electrodos, basado en un proceso de revestimiento, secado y calandrado de materiales activos, ha avanzado relativamente menos.

Sobre la base de los mismos insumos utilizados en BiL tradicionales, el proceso desarrollado por Dynami fabrica tintas en lugar de pastas. Las partículas a nanoescala permiten aumentar la meso porosidad de los electrodos, lo que mejora la difusión de iones. Por su parte, la impresión a microescala permite eliminar pasos del proceso de producción utilizados en la manufactura tradicional. La utilización de este tipo de producto, así como el reemplazo de la calandria por impresoras digitales, permite controlar mejor la distribución y la porosidad del material activo sobre la superficie del electrodo. De este modo, estas innovaciones que operan sobre la arquitectura de la batería complementan los progresos en el terreno electroquímico y permiten mejorar el desempeño de la batería en términos de densidad energética, carga rápida y vida útil.

Otra de las ventajas de la arquitectura de electrodos desarrollada por Dynami es que permite reducir el exceso de material (*overhead*) de las baterías tradicionales, lo que es especialmente importante a medida que los dispositivos son más pequeños. Por ello, los nichos de mercado a los que originalmente apuntó el desarrollo fueron aquellos de dispositivos médicos (ej. monitoreo inalámbrico para pacientes

⁷⁹ Más información sobre el emprendimiento en <http://dynami-battery.com/>.

⁸⁰ Más información en <http://dynami-battery.com/battery-inventor/>.

hospitalizados y ambulatorios), dispositivos portátiles (ej. relojes inteligentes) o algunos productos de Internet de las cosas (ej. tarjetas inteligentes). Sin embargo, en el trabajo de aceleración de la empresa que Dynami está desarrollando con el Creative Destruction Lab de Canadá, han recibido interés por parte de la industria aeroespacial, ya que las baterías desarrolladas serían convenientes para probar en los prototipos de aviones eléctricos en desarrollo por parte de la empresa Boeing.

Actualmente, trabajan en Dynami 6 personas —equivalentes a 4 posiciones de tiempo completo. Se encuentran instalados en el Espacio de Innovación de la Fundación Argentina de Nanotecnología, que es dueña de la impresora que utilizan para fabricar sus prototipos. Asimismo, han desarrollado vínculos con una red de laboratorios públicos en Argentina, que facilitan el equipamiento para realizar distintos estudios y pruebas, principalmente en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). En el exterior, han desarrollado vínculos con distintas empresas e instituciones como el Centro Nacional de Microelectrónica (CNM) de España.

Hasta el momento, Dynami se ha financiado a través de capital semilla en 2019. Próximamente, iniciará una ronda intermedia de financiación.

2. Nanotec

Nanotec fue fundada en 2010 e inició sus operaciones en 2012. Se destaca por ser la primera empresa chilena especializada en la investigación, producción y comercialización de nanotecnología aplicada a procesos y productos.

El principal material con el que trabajan es el cobre, aunque también lo hacen con oro, plata y materiales orgánicos. Sus desarrollos tienen múltiples aplicaciones, que van desde la industria de la salud (por ejemplo, la fabricación de aditivos que eliminan virus y bacterias) hasta la industria textil, la construcción o la farmacéutica.

En el caso particular del litio, el objetivo de Nanotec es desarrollar nanopartículas de litio que puedan utilizarse en la fabricación de electrodos de BiL. El desarrollo está por comenzar la fase de escalado, luego de un trabajo de caracterización y testeo de precursores.

La utilización de nanopartículas permitiría la fabricación de baterías con más densidad energética, una mayor cantidad de ciclos de carga, con una menor duración de cada carga y mayor duración. Asimismo, la utilización de nanotecnología permitiría el desarrollo de baterías más liviana y flexible, que es particularmente adecuada para dispositivos pequeños como los sensores o cierto equipamiento médico.

Nanotec ha firmado acuerdos con empresas que producen BiL para desarrollar la tecnología y enviado muestras de su desarrollo a Europa y Estados Unidos.

CORFO adjudicó a Nanotec una cuota del litio a precio preferencial que, de acuerdo con el contrato renegociado con SQM, sería destinado a proyectos que agreguen valor local al litio producido en Chile. El precio preferente para acceder a dicha cuota corresponde al precio FOB (*Freight on Board*) promedio ponderado calculado sobre el 20% del volumen de menor precio del volumen exportado por SQM en los últimos seis meses, calculado mensualmente para cada una de las especificaciones técnicas, independiente del destino o volumen.

Si bien el acceso al litio a un precio preferencial redundaría en un beneficio para Nanotec, su principal ventaja competitiva no se encontraría en el costo de producción sino en el desarrollo de un producto innovador que todavía debe desarrollar su mercado. Por lo tanto, a diferencia de otros segmentos del mercado de BiL, la competencia en el nicho de electrodos que utilicen particular nanoestructuradas no se da en relación al precio.

De acuerdo con el contrato firmado con SQM, Nanotec tiene derecho a adquirir hasta el 25% de la producción de la empresa. Sin embargo, por las características del producto elaborado y el estado actual de dicho mercado, seguramente se encontrará, al menos durante los primeros años, muy por debajo del monto disponible.

De acuerdo con las condiciones de la convocatoria, Nanotec tendría acceso a fondos destinados al Instituto de Tecnologías Limpias, cuya adjudicación fue anunciada en enero de 2020. Sin embargo, esta posibilidad aún no ha sido explorada, dado el estadio inicial de ambos proyectos.

3. SolAR

La empresa SolAR tiene como propósito fabricar BiL en Argentina, con un alto nivel de integración vertical que alcanzaría el 75% del costo de la batería. De acuerdo con su modelo de negocios, la empresa podría producir 1 millón de BiL, produciendo sus propios electrodos, celdas y paquetes, e importando aquellos reactivos químicos que no se consiguen en el país.

El emprendimiento reconoce dos antecedentes inmediatos. El primero de ellos es la trayectoria de más de 60 años de la empresa familiar en la producción de baterías de tradicionales. El segundo se remonta a la participación en el programa gubernamental Conectar Igualdad, lanzado en 2010. El mismo entregaba computadoras portátiles a estudiantes de nivel primario y secundario en todo el país. En el marco de dicho programa, el gobierno compraba computadoras a ensambladores que operaban en el país. SolAR fue proveedor de las baterías utilizadas en las computadoras entre 2012 y 2013. Para participar del programa, la empresa compró una planta llave en mano a una empresa de China y Taiwán. La transacción incluyó un acuerdo de transferencia tecnológica que otorgaba una certificación Intel⁸¹. SolAR ensamblaba en esta planta celdas importadas de China. La planta está instalada en el Parque Industrial de la ciudad capital de Catamarca y consta con una línea de producción de más de 50 metros y alrededor de 25 equipos de última generación y con una capacidad para ensamblar 2000 baterías de litio por día usando celdas de litio cilíndricas.

Con las utilidades obtenidas en este proyecto, SolAR invirtió para poder avanzar desde el ensamblado de celdas importadas a un proceso productivo integrado verticalmente. Este modelo se basa en la manufactura de electrodos, celdas y paquetes de baterías con el diseño y elaboración de su propia electrónica (el BMS). Es interesante notar que el modelo incluye el reciclado de baterías, con el propósito de lograr una producción más sustentable y encaminarse a la economía circular. Para avanzar en la fase de reciclado se ha firmado un convenio de transferencia tecnológica con la Universidad de New South Wales de Australia.

De acuerdo con las estimaciones realizadas por la empresa, ello permitiría alcanzar un costo de producción que permitiría competir con las celdas importadas. Para llevar adelante este nuevo modelo se montó una planta de 250 m² en la provincia de Córdoba. En este caso, el equipamiento fue desarrollado localmente, a partir de un convenio de transferencia tecnológica con una empresa checa. El Cuadro 19 presenta el grado de avance de SolAR en la internalización de la cadena de producción de la BiL. Todo el proceso se encuentra aún en fase piloto. Esta fase del proyecto contó con el apoyo financiero del Programa de Desarrollo de Proveedores (PRODEPRO), otorgado en 2018, por el entonces Ministerio de Producción.

A lo largo de su historia, SolAR ha desarrollado vinculaciones con investigadores del CONICET y distintas universidades del exterior y locales para el desarrollo de sus procesos internos incluido el desarrollo del Sistema de Gestión de la Batería (BMS). Entre estas últimas se encuentran la Universidad Nacional de Río Cuarto, la Universidad Católica de Córdoba, la Fundación Argentina de Nanotecnología y centros de investigaciones del CONICET, como el Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA), de la Universidad Nacional de Mar del Plata, y el Centro de Investigaciones y Transferencia de la Universidad Nacional de Catamarca.

⁸¹ Para un relato cronológico sobre la participación de SolAR en el programa Conectar Igualdad, ver Fornillo (2015b).

Cuadro 19
Estado actual de la internalización de la cadena de valor de SOLAR

Materiales activos	Electrodos	Ensamblado	Sistema de gestión de batería (BMS)	Reciclado
Fabricación de material catódico LFP. Planta piloto: 40 kg diarios	Fabricación de electrodos: cátodo LFP y ánodo de grafito Capacidad: 70 metros de electrodos por hora Electrolito en proceso de desarrollo	Prismáticas Capacidad. Córdoba: 800 baterías prismáticas de 10 amperes/hora por día Catamarca: 2000 baterías por día	Diseño y fabricación de electrónica propia	Planta piloto de reciclado de BiL, en base a acuerdo de transferencia tecnológica, firmado en 2019, con la University of New South Wales, Australia.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de informes oficiales de la empresa.

Es importante destacar que uno de los obstáculos que ha enfrentado la empresa es el acceso al carbonato de litio necesario para el desarrollo de su tecnología. Esto pone de manifiesto que el marco normativo que regula la explotación de litio no ofrece ninguna ventaja a emprendedores que operen en Argentina en segmentos aguas abajo. Estos deben comprar los compuestos de litio en el mercado externo o negociar pequeños volúmenes a través de los gobiernos provinciales (una discusión sobre este tema se encuentra en la Parte 3 del estudio), Más aun, al demandar pequeñas cantidades, los operadores locales se encuentran en desventaja frente a los grandes clientes de las productoras de compuestos de litio. SOLAR ha desarrollado sus procesos productivos a partir de dos donaciones de 10kg cada una, a cargo de la Secretaría de Minería del Gobierno de Catamarca y de SQM. La empresa se encuentra actualmente en negociaciones con las provincias de Catamarca y Jujuy para asegurarse un aprovisionamiento estable de mayor volumen en caso logre iniciar actividades a escala industrial.

En términos de mercado, en una primera fase, SOLAR aspira a abastecer el mercado interno, aunque el modelo de negocios contempla también mercados regionales de exportación. En particular, pretende atender segmentos como los de bicicletas y motocicletas eléctricas, energías renovables; UPS de baja potencia, computadoras portátiles, herramientas eléctricas y equipos médicos. También se ha avanzado en conversaciones con el Ministerio de Defensa para proveerlo de baterías para las mochilas, estaciones de radares, vehículos militares, en el marco del Fondo Nacional de Defensa (FONDEF), creado en 2020.

4. Quantum

Quantum es una empresa boliviana, creada en 2019, que se dedica a la fabricación e importación de vehículos eléctricos. Los vehículos producidos en su planta industrial, ubicada en la ciudad de Cochabamba, tienen un nivel de integración local de alrededor del 40%, basada en la producción interna y proveedores externos. Quantum complementa su oferta de vehículos producidos localmente con la importación de motocicletas, trimotos y vehículos de reparto.

Antes de su incursión en la producción de vehículos eléctricos, la empresa ya contaba con experiencia en la industria metalmecánica, en actividades de producción de maquinaria para la industria minera, construcción de cisternas y remolques de alta capacidad, lo que facilitó la fabricación de algunas piezas además de toda la estructura metálica de los vehículos. Otras partes, como los vidrios, frenos, pinturas, asientos y las juntas son abastecidas por la industria local.

Actualmente, Quantum ofrece cuatro modelos de vehículos eléctricos con capacidad para tres pasajeros, cuyo precio oscila entre US\$ 5.000 y 6.000. Se trata de vehículos urbanos, de baja velocidad, con una autonomía aproximada de 50km.

Las baterías de los vehículos de Quantum pueden ser de plomo ácido o de ion de litio, de acuerdo con solicitud de cada cliente. Las baterías de plomo ácido son suministradas por la empresa boliviana BATEBOL, mientras que de ion de litio son importadas de China. No obstante, la empresa ha demostrado

interés por abastecerse de baterías producidas localmente por la empresa Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB), En 2019, YLB y Quantum firmaron un acuerdo para construir autos eléctricos con baterías bolivianas⁸². A pesar del interés de ambas empresas, a la fecha el acuerdo no ha entrado en vigor debido a que los costos ofertados por YLB son superiores a los existentes en el mercado externo. Adicionalmente, YLB necesitaría ampliar su capacidad productiva de baterías para abastecer las diferentes líneas de ensamblaje de hasta 2.400 unidades anuales.

Las actuales baterías de Quantum son importadas. Desde octubre 2020 se retomó el acuerdo YLB-QUANTUM y se iniciaron las primeras pruebas experimentales con las baterías LFP hechas en La Palca. Las pruebas dieron buenos resultados, incrementando levemente la velocidad y autonomía. Éstas se hicieron con un módulo compuesto por 5 packs, de 100 Ah y 64 v. En la actualidad se está trabajando en reducir costos y espacio, pues cada pack tenía su correspondiente BMS y ahora se tendrá un sólo BMS para el módulo. Eso puede abaratar costos. En caso de concretar ventas, la planta piloto de La Palca tendría una capacidad de producir hasta 20 módulos por mes.

El consumo energético de los vehículos Quantum se encuentra entre 600 y 800 W/h. Una ventaja es que estos no requieren una infraestructura específica para la recarga de sus baterías, las cuales son de 6 kW. Los cargadores pueden ser alimentados a través de cualquier sistema eléctrico que suministre 220 voltios durante un período de 6 horas a un costo equivalente a US\$ 0,35 por cada 50 km.

Desde sus inicios, Quantum enfrentó no solo al reto de competir en un mercado dominado por los automóviles con motor de combustión interna sino también a la inexistencia de una normativa de registro de automóviles nacionales (el Estado Plurinacional de Bolivia no tiene una industria automotriz local), A la fecha se ha conformado un comité interinstitucional para la elaboración de normas y estándares para este sector. En cuanto a incentivos gubernamentales, estos todavía son escasos, salvo por el Municipio de la ciudad de Cochabamba, que ha emitido una normativa que libera de impuestos a los vehículos eléctricos durante el primer año con un incremento progresivo a partir del segundo año.

La comercialización de Quantum se realiza a través de la propia empresa, así como por otros concesionarios asociados. La empresa ha extendido su red comercial al Paraguay y próximamente abrirá operaciones en el Perú.

5. Sero Electric

Sero Electric es una empresa que fabrica vehículos eléctricos en Argentina. El proyecto nació en 2010, con la intención de replicar localmente el concepto de Microcars utilizado en Europa, cuatriciclos ligeros con velocidad de circulación reducida (en torno a los 50km/h) y baja tara. Este nicho de mercado no existía en Argentina. Asimismo, la inversión que requería poner en marcha el emprendimiento era sustancialmente inferior a aquella necesaria para producir vehículos tradicionales. Actualmente, 12 personas trabajan en la empresa. El objetivo sería alcanzar un volumen de producción de 400 a 500 vehículos anuales.

Luego de un proceso de investigación y desarrollo para fabricarlo localmente, Sero Electric comenzó a producir en 2019 tres modelos de vehículos. Aunque, originalmente el lanzamiento comercial estaba previsto para abril de 2020, las restricciones a la actividad económica impuestas como consecuencia de la pandemia de Covid-19 obligaron a postergarlo.

El diseño de los modelos originales fue importado de Italia. Con la excepción de algunos componentes específicos, como los diferenciales, los frenos y, especialmente, la batería de ion de litio, la producción presenta un alto grado de integración de partes locales. Los vehículos ofrecen dos opciones de baterías: plomo-ácido o ion de litio. Los vehículos tienen una velocidad de 50km/h y su tracción está generada por un motor sincrónico trifásico de 48V. El vehículo tiene una autonomía de 45 km en el caso de las baterías de plomo-ácido o 100 km en el caso de las baterías de litio. En

⁸² https://www.ylb.gob.bo/archivos/notas_archivos/ylb_y_quantum_firman_acuerdo_para_construir_autos_electricos_con_baterias_bolivianas.pdf.

este último caso, Sero Electric compra las baterías a una empresa local VZH, que ensambla celdas de tecnología LFP importadas de China. La empresa VZH adapta los paquetes de baterías en función del uso y las demandas de sus clientes, que se encuentran, por ejemplo, en los segmentos de motos eléctricas, lanchas, energías renovables y usos industriales.

Inicialmente, los vehículos de Sero Electric solo podrían ser utilizados en espacios cerrados, como colegios, estacionamientos, barrios cerrados, aeropuertos o centros comerciales. En 2018, el gobierno firmó un decreto creando nuevas categorías de vehículos. Sero Electric colaboró en el proceso de definición de los estándares. Finalmente, los vehículos de Sero Electric fueron homologados en la categoría L6, correspondiente a cuatriciclos livianos con cabina para el transporte de personas. La licencia otorgada es restrictiva en términos de las posibilidades de circulación. Por ello, solo pueden circular por calles y avenidas, pero no en rutas y autopistas. La categoría L6 replica en buena medida los estándares europeos, lo que habilitaría la posibilidad de exportar vehículos a ese continente.

Sero Electric ha comenzado la fabricación de dos modelos de furgón de carga, que sería utilizado por empresas para hacer la distribución de sus productos dentro de ciudades donde se encuentra restringida la circulación de vehículos pesados. Otros nichos de mercado que se abren a partir de la habilitación son reparticiones públicas como la policía, el control de tránsito o municipios. Este modelo sería comercializado también en Brasil. Para ello, se estableció, junto a socios locales, una subsidiaria en la ciudad de Toledo (estado de Paraná), Las partes de los vehículos serán producidos en Argentina y ensamblados en Brasil.

6. Volt Motors

Volt Motors es una empresa argentina que inició sus operaciones en 2016. Pertenece a un grupo empresarial diversificado, que tiene negocios en el sector hotelero, de la construcción, de nuevas tecnologías y que tiene un campus corporativo, en la ciudad de Córdoba, donde se encuentra radicada la empresa. La iniciativa está vinculada a otros emprendimientos que el grupo ha desarrollado en el segmento tecnológico.

La decisión de involucrarse en el segmento de movilidad eléctrica surgió luego de misiones realizadas a Silicon Valley. Una vez descartada la posibilidad de especializarse en la producción de vehículos eléctricos tradicionales, debido a las elevadas barreras que presenta el ingreso a ese segmento, se tomó la decisión de producir vehículos de menor envergadura basados en el conocimiento acumulado en la provincia en el ámbito de la industria aeroespacial. En 2018 comenzó a producir prototipos de vehículos eléctricos, utilizando materiales compuestos y electrónica producida localmente, en base a desarrollos de esa industria.

Actualmente, Volt Motors produce tres modelos: dos vehículos de pasajeros y un vehículo de carga. Este último y uno de los vehículos de pasajeros han sido homologados para circular por la vía pública, incluyendo rutas y autopistas con una velocidad máxima de 110 km/h, bajo la categoría L7b. El proceso de homologación concluyó en 2020 y conllevó complicaciones importantes, ya que Volt Motors fue la primera empresa en su categoría en obtener una licencia para vehículos 100% eléctricos, íntegramente desarrollados en el país. El otro vehículo de pasajeros, de menor velocidad, es para circulación en espacios privados ya que no está homologado.

Los vehículos utilizan baterías de ion de litio, con cátodos de tecnología LFP, que son importadas de distintas empresas chinas. La autonomía de los vehículos, dependiendo de la batería utilizada, se ubica entre 150 y 300 km y la posibilidad de recarga residencial en un plazo de entre 4 y 6 horas. Los vehículos están equipados con una pantalla táctil que permite operar sus funciones, lo que también puede realizarse desde un teléfono móvil.

La planta de fabricación de los vehículos se encuentra en la ciudad de Córdoba. El objetivo de la empresa es producir alrededor de 700 unidades en 2021. Entre los planes de la empresa se encuentra la posibilidad de establecer talleres de ensamblado en otras provincias.

Las primeras ventas se realizaron durante 2020 y han tenido como clientes al sector público: los gobiernos nacionales y de la provincia de Córdoba, la Municipalidad de Córdoba y la Empresa Provincial de Energía Eléctrica. Sin embargo, el plan de negocios se basa, sobre todo, en el desarrollo de un mercado entre personas y empresas.

Volt Motors ha desarrollado alianzas con actores interesados en el desarrollo de la electromovilidad en Argentina. Entre ellas se encuentra la compañía de seguros Zurich, que asegura y brinda el servicio de asistencia mecánica para los vehículos; Google, quien colabora en el desarrollo de la plataforma digital; y el Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas.

7. Bravo Motor Company

Bravo Motor Company es una empresa creada en 2008 en Argentina. Su origen está vinculado con el diseño de vehículos, inicialmente convencionales y, luego, eléctricos. Desde entonces, la empresa ha diseñado y construido prototipos de distintos modelos de vehículos de pasajeros, buses, fletes y taxis. De acuerdo con el modelo de negocios desarrollado, los vehículos producidos estarían destinados al transporte público urbano y de carga liviana.

La empresa se instaló en California en 2012, luego de participar de Select USA, un programa del Departamento de Comercio del gobierno federal de Estados Unidos que facilita la instalación de empresas extranjeras en el país. A nivel estatal, la empresa recibió el apoyo de la oficina de Negocios y Desarrollo Económico del gobernador de California (Go-Biz). Desde entonces, Bravo Motor Company ha crecido como start-up mediante la modalidad de crowdfunding —actualmente tiene más de 700 socios de aproximadamente 20 países— y busca financiamiento para escalar sus iniciativas.

En diciembre de 2020, Bravo Motor Company firmó un acuerdo con la Agencia de Inversiones y Comercio Exterior del estado de Minas Gerais (INDI), en Brasil. El proyecto de Bravo Motor Company sería la creación de un clúster industrial destinados a la fabricación de vehículos eléctricos, con un alto nivel de integración vertical, que incluye la instalación de una fábrica de baterías con una capacidad inicial de 35 GW/h anuales y la provisión de servicios asociados a la electromovilidad. El proyecto ha sido denominado Colossus Cluster Minas Gerais. En un principio, el clúster estaría integrado, por empresas vinculadas a Bravo Motor Company (en algunos casos, mediante vínculos patrimoniales). Entre aquellas especializadas en actividades manufactureras, se encuentra California Lithium Battery, una empresa creada en 2011 que está desarrollando un ánodo de silicio-grafeno. Esta tecnología, que aún no ha sido producida a escala industrial (ni adoptada en la industria automotriz), está considerada entre aquellas que tiene potencial en el futuro por su mayor potencia y densidad energética.

La empresa del acuerdo con INDI no representa un aval de la agencia al proyecto de Bravo Motor Company, ni garantiza la realización de la inversión. El papel de INDI es facilitar la realización de esta a partir de la provisión de servicios al inversor, como, por ejemplo, apoyo en los trámites ante los gobiernos, facilitación en la búsqueda de terrenos para instalar las plantas de producción, favorecer el acceso a recursos críticos, facilitar vínculos para lograr financiamiento ante bancos locales.

El acuerdo con INDI fue complementado con otro, firmado con el aeropuerto internacional de Belo Horizonte, en el mismo estado. El aeropuerto ha sido certificado como una zona franca que permite importar insumos libres de impuestos para aquellos productos destinados a la exportación —aquellos que se vendan en el mercado interno deberían pagar los impuestos.

En base los acuerdos firmados, Bravo Motor Company se encuentra a la búsqueda de financiamiento adicional y oportunidades de negocios que permitan concretar la iniciativa. El proyecto del grupo incluye la posibilidad de realizar una oferta pública inicial a través de un mecanismo como el de Empresa de Adquisición de Propósito Especial (*Special Purpose Acquisition Company-SPAC*).

8. Una red regional desarticulada

En esta sección se han presentado siete iniciativas privadas que desarrollan —o aspiran a desarrollar— actividades productivas que se insertan en las RGP de baterías de ion de litio. Un rasgo común a los proyectos —con excepción de Nanotec y, de acuerdo con el modelo de negocios presentado, también de Bravo Motor Company— es la desconexión entre las actividades productivas de las empresas y la dotación local de recursos de litio. Aun cuando algunas de las empresas señalan la presencia de litio como una motivación de la iniciativa y no descartan una potencial vinculación a futuro, el vínculo entre la dotación de litio y la producción en segmentos intermedios y aguas abajo tiene, por el momento, un carácter “simbólico”.

En la práctica, las empresas productoras no adquieren compuestos de litio producidos en el país para desarrollar su producción. Por el contrario, en el caso de una de las empresas argentinas, el acceso al litio ha sido señalado como un obstáculo. Esto pone de manifiesto que la dotación del recurso, bajo el actual sistema normativo, no representa ninguna ventaja particular para los productores locales. Por el contrario, el tamaño pequeño de los emprendimientos los pone en situación de desventaja frente a grandes compradores. El caso de Nanotec, en Chile, es distinto porque la empresa participa de un esquema de oferta de compuestos de litio que es controlada por una agencia estatal. De algún modo, Quantum, en el Estado Plurinacional de Bolivia, tendría en el futuro la posibilidad de participar de un esquema similar, en caso de que YLB logre escalar el negocio de baterías y alcanzar precios competitivos.

Otro aspecto que se destaca es que, en los proyectos que se encuentran en fase operativa, las escalas de producción son bajas y focalizadas inicialmente en el mercado interno. Aun cuando existen perspectivas de exportación —por ejemplo, Quantum está por iniciar exportaciones a Paraguay y Perú, y Sero Electric produciría sus modelos en Brasil—, la venta de productos en el exterior no sería el foco principal de los modelos de negocios. En el caso de los vehículos, además, se ha optado por modelos que se comercializan en mercados de nicho. Esto significa que el desarrollo de estas operaciones, aun cuando las escalas de producción aumenten, no representaría una demanda significativa de compuestos de litio para los países de la región.

Cabe destacar que solo dos emprendimientos, Dynami y Nanotec, se proponen desarrollar actividades exclusivamente en el segmento de la producción de material activo y electrodos. En ambos casos, se trata de productos innovadores, que no cuentan con un mercado actualmente. Esto les permitiría evitar una competencia vía precios con los principales productores asiáticos, que operan grandes escalas de producción, insertándose en segmentos de alto valor agregado de las RGP de baterías.

Cuarta parte: marco normativo, políticas tecno-productivas y gobernanza local

VII. Territorialidad en RGP de baterías de ion de litio

La incorporación de la dimensión territorial al análisis de la estructura y las dinámicas de las RGP requiere considerar factores de tipo institucional, político, ambiental y social. Este análisis supone la inclusión de los actores estatales, que son quienes tienen competencias de promoción y regulación sobre una amplia variedad de áreas que afectan la estructura y dinámica de las RGP (ver Cuadro 2 en el Capítulo I).

Esta dimensión no solo está presente en los países productores de recursos naturales sino también comprende a aquellos que operan en otros segmentos de la red. En relación con los objetivos específicos que se abordan en este documento, el análisis territorial requiere examinar las regulaciones y actividades de promoción para fomentar el consumo y la construcción de capacidades tecnológicas y productivas para la manufactura de vehículos eléctricos y sus componentes. En el caso de un recurso considerado crítico, como es precisamente el litio, estas acciones no se limitan a la promoción de actividades industriales en segmentos intermedios o aguas abajo. Con la intención de dar previsibilidad y estabilidad al flujo de aprovisionamiento, los países productores de celdas de baterías y de vehículos eléctricos también están desarrollando proyectos para acceder a litio dentro de sus fronteras (Kalantzakos, 2020).

En los países productores de recursos naturales, especialmente aquellos que están concentrados en términos geográficos o que, como en el caso del litio, con la tecnología disponible solo pueden ser explotados de manera rentable en pocos depósitos, la perspectiva territorial adquiere una fuerza particular. A diferencia de las actividades manufactureras correspondientes a otros segmentos de las RGP, el acceso a los recursos naturales está forzosamente ligado a un territorio específico. Ello establece condiciones que contrastan con las actividades productivas que son intensivas en otros tipos de recursos (como el trabajo no especializado y el capital) cuya disposición geográfica muestra mayores niveles de ubicuidad.

La relación entre las actividades productivas vinculadas a recursos naturales y el territorio encierra múltiples dimensiones. El análisis de éstas es, junto a los aspectos estructurales y relacionales de las RGP analizados anteriormente, necesario para comprender las posibilidades que tienen los países dotados con dichos recursos de promover la creación eslabonamientos productores a partir del mismo.

En esta sección se analizarán, en particular, aspectos institucionales que regulan derechos y obligaciones que conciernen la explotación del litio. En estrecha relación con la regulación del recurso, se examinarán las políticas públicas tecno-productivas desplegadas para mejorar las condiciones para la captura de renta, la creación de valor y la diversificación productiva a nivel subregional o regional de las RGP vinculadas al litio.

Las normas que dan forma a los sistemas regulatorios son definidas en distintos niveles de gobernanza y regulan un amplio abanico de cuestiones, que van desde aspectos impositivos y laborales hasta aquellos vinculados al medioambiente. En los casos analizados, la importancia relativa de los distintos tipos de actores estatales cambia de acuerdo con la configuración de los sistemas normativos. En Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia, los gobiernos centrales concentran las competencias regulatorias y de promoción relativas a los recursos naturales, mientras que, en Argentina, donde hay un sistema de tipo federal que otorga a las provincias el dominio originario de los recursos naturales, las unidades sub-nacionales tienen más recursos para regular las actividades de explotación.

Otra dimensión relevante está vinculada a la participación de actores no estatales en las RGP de baterías de ion de litio, en particular las comunidades que habitan en zonas aledañas a las áreas de explotación de los recursos naturales. Estas actividades productivas a gran escala no solo tienen lugar en territorios que muchas veces pertenecen a estas comunidades, sino que, asimismo, pueden poner en riesgo la disponibilidad o la calidad recursos que son esenciales para el desarrollo de actividades productivas que mayormente son de escala familiar, como por ejemplo el agua. Esto crea un estrecho vínculo entre las dimensiones comunitaria y ambiental que ha ganado visibilidad en los últimos años en los países del triángulo del litio, por ejemplo, en temas tales como el balance hidrogeológico de la cuenca en los humedales, lodos aluviales, lagunas y demás fuentes hídricas (Liu y otros, 2019).

En el caso del litio, los vínculos entre empresas, actores estatales y comunidades han sido distintos en cada uno de los países. También se registra una evolución a través del tiempo, caracterizada por un aumento de la conflictividad, que ha ido de la mano del crecimiento de la actividad, el reconocimiento de derechos en favor de estos grupos y la mayor organización de las comunidades (Argento, 2018; Argento y Puente, 2019). Esta evolución representa un condicionamiento creciente para el desarrollo de los proyectos productivos, que obliga a las empresas y actores estatales a buscar nuevos arreglos normativos, económicos y sociales.

El tratamiento de estos temas se organiza del siguiente modo. En primer lugar, se analizarán las regulaciones y políticas de promoción vinculadas al consumo y producción de vehículos eléctricos y sus componentes. El foco de análisis será sobre aquellos países y regiones que han avanzado más en esta dirección —China, la Unión Europea y Estados Unidos— así como también las incipientes iniciativas adoptadas en países de Sudamérica. En segundo lugar, se examinarán los sistemas normativos que regulan las actividades de exploración, explotación, uso y comercialización de los compuestos de litio en Argentina, Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia. El análisis integrará las políticas tecno-productivas implementadas en cada país para el desarrollo de capacidades locales vinculadas al recurso. La sección sintetiza los principales argumentos desarrollados con mayor profundidad en Obaya y Pascuini (2020). Finalmente, en tercer lugar, se analizará la evolución reciente del vínculo con las comunidades que habitan y realizan actividades productivas en zonas donde se lleva adelante la explotación de salares ricos en litio.

A. Políticas de promoción del consumo y de la producción de vehículos eléctricos y sus componentes

El sector de transporte explica aproximadamente el 24% de las emisiones globales de CO₂. Cerca de tres cuartas partes de este volumen corresponden aquellas producidas por vehículos de carretera⁸³. En consecuencia, el reemplazo del parque automotor de vehículos con motor de combustión interna por vehículos eléctricos favorecería la disminución de la contaminación del aire, así como una mayor eficiencia y la seguridad energética. Motivados y urgidos por cumplir los compromisos asumidos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector del transporte, un gran número de países se han planteado objetivos respecto a las ventas o a su flota de vehículos eléctricos y han establecido distintos tipos de políticas orientadas a promover su adopción (Cuadro 20).

⁸³ Véanse más detalles [en línea] <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2020>.

Cuadro 20
Países seleccionados: objetivos nacionales de despliegue de vehículos eléctricos

País	2021-2022	2025	2030	2035	2040	2050
Asia						
China		25% de vehículos eléctricos (PHEV, BEV, FCEV)				
Japón			30-40% HEV 20-30% BEV, PHEV 3% FCEV			100% ventas de HEV, PHEV, BEV, FCEV
República de Corea	430 000 BEV 67 000 FCEV (2022)		33% BEV, FCEV			
Europa						
Unión Europea		13 millones de ZEV, LEV				
Dinamarca			1 millón de VE Cero ventas de vehículos a diésel o gasolina	100% de ventas de ZEV		
Finlandia			250 000 BEV, PHEV, FCEV			
Francia	500 000 PHEV 660 000 BEV (2023)		1.8 millones PHEV 3 millones BEV (2028)		Cero ventas de vehículos usando combustibles fósiles	
Alemania			7-10 millones BEV, FCEV			Todos los vehículos para pasajeros ZEV
Islandia			Cero registros de vehículos a gasolina o diésel			
Irlanda			500 000 VE Cero registros de ICE			
Italia			6 millones de VE de los cuales 4 millones BEV			
Países Bajos		15 000 FCEV	300 000 FCEV 100% de ventas ZEV			
Noruega		100% de ventas ZEV				
Polonia		1 millón de VE				
Portugal			30% de ZEV		Cero ventas de ICE	
Eslovenia			17% VE 100% de ventas de VE			
España			5 millones de VE		100% de ventas ZEV	
Suecia			Cero ventas de vehículos a diésel o gasolina			
Reino Unido			50 – 70% VE	Cero ventas de nuevos ICE		
América del Norte						
Canadá		825.000 ZEV (PHEV, BEV, FCEV) 10% de ZEV	2.7 millones de ZEV 30% de ZEV		14 millones de ZEV 100% ventas de (PHEV, BEV, FCEV)	
Estados Unidos		3.3 millones de (PHEV, BEV, FCEV) en 11 estados				100% de ZEV para vehículos de pasajeros en 10 estados
América Latina						
Colombia		10% ZEV	660 000 VE			
Costa Rica				25% ZEV		100% ZEV
Chile						40% VE

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de IEA (2020), "Global EV Outlook 2020 - Entering the decade of electric drive?". París, Francia.
 Nota: VE: Vehículos eléctricos sin mayor precisión; HEV: Vehículos eléctricos híbridos; PHEV: Vehículos eléctricos híbridos enchufable; BEV: Vehículos eléctricos de batería (100% eléctricos); FCEV: Vehículos eléctricos de celda de combustible (Hidrógeno); ZEV: Vehículos con cero emisiones; LEV: Vehículos con bajas emisiones; NEV: Vehículos de nueva Energía.

Capuder y otros (2020) examinan las distintas dimensiones que resultan importantes al momento de evaluar las posibilidades de avanzar en una transición hacia un sistema de transporte basado en vehículos eléctricos⁸⁴. En la dimensión política, se destaca el mayor compromiso para adoptar medidas orientadas a impulsar el desarrollo de los sectores de energías renovables y el transporte eléctrico como resultado de una mayor conciencia sobre el cambio climático y el objetivo de reducir la dependencia de combustibles fósiles. Esta dimensión se relaciona con una dimensión legislativa, que incluye las distintas medidas que se han tomado para promover la adopción de tecnologías bajas en carbono. El apoyo a la tecnología resulta una condición necesaria para alcanzar escalas de producción que contribuyan a hacerlas competitivas frente a las alternativas tradicionales, así como también a desarrollar una infraestructura que favorezca su difusión. Asimismo, los incentivos al consumo contribuyen a compensar la resistencia de los consumidores generada en la incertidumbre que generan las nuevas tecnologías.

La dimensión económica incluye consideraciones vinculadas principalmente al costo de los vehículos eléctricos en relación con aquellos de combustión interna. Aquí se incluye no solo el precio del vehículo (altamente dependiente del costo de la BiL), sino también el costo de mantenimiento y de carga de energía. Estos factores están influenciados por los subsidios e incentivos que actualmente ofrecen distintos países, especialmente de altos ingresos. También podrían considerarse aquí las políticas de subsidio tanto a la oferta como a la demanda de combustibles fósiles, que tienen una incidencia sobre la elección de la movilidad (entre otros factores). La dimensión social incorpora los obstáculos que demoran la aceptación de los vehículos. Aún existe escepticismo respecto a la utilidad y practicidad en relación con los tradicionales vehículos de combustión interna. Temas como la carga de las baterías o la autonomía de los vehículos se encuentran entre los principales factores de rechazo. Los factores económicos y sociales se vinculan estrechamente con factores de naturaleza tecnológica. Los avances en este campo son una condición necesaria para reducir los costos de adopción de las nuevas tecnologías. Sin embargo, se incluyen también aquí factores que afectan ciertos atributos de los vehículos eléctricos (por ejemplo, los ciclos de descarga de las baterías, la autonomía) o de la infraestructura de carga necesaria para adoptarlos. Finalmente, el autor considera la dimensión ambiental, que no solo se refiere a la contribución de las nuevas tecnologías a la reducción de las emisiones de CO₂, sino también a la adopción de enfoques de economía circular que permitan avanzar hacia tecnologías de reciclado de BiL que sean eficientes.

Por su naturaleza multidimensional, los países más efectivos en la promoción de la electromovilidad no han adoptado una única medida, sino más bien paquetes que abordan distintas aristas. De acuerdo con Broadbent y otros (2018), las más efectivas son las que lograron reducir los precios de los vehículos; crear una infraestructura para la recarga de las baterías adecuada, atendiendo, por ejemplo, la distribución de estaciones, la estandarización y armonización de equipos, información completa; difundir información precisa sobre los vehículos; y adoptar esquemas de compras públicas. En términos de estímulos económicos a la adopción de vehículos eléctricos, existe una variedad de instrumentos. Los subsidios directos adoptan la forma de un bono para comprar vehículos eléctricos que se ubican, en general, entre US\$ 4.500 y 6.800 (IEA, 2020). Otros incentivos pueden incluir exenciones tributarias, la penalización por el uso de vehículos de combustión interna, gravar con tasas el consumo de combustibles, eliminar subsidios a la producción de combustibles, subsidiar y mejorar el transporte colectivo, etc.

⁸⁴ El análisis desarrollado por los autores se denomina PESTLE en base a las iniciales en inglés de las dimensiones examinadas: política, económica, social, técnica, legal y ambiental.

Cuadro 21
Incentivos para la compra de vehículos eléctricos

País	Subsidio de compra	Reducción impositiva	Comentarios
Austria	US\$ 1 700 (BEV, FCEV) US\$ 850 (PHEV)		Autonomía > 50 km Para vehículos con un precio máximo de venta de US\$ 56 000 Los PHEV a diésel están excluidos
Bélgica	US\$ 2 300 – 4 500		Cuatro niveles de reembolso, según el precio de venta. En la región de Flandes, los incentivos a la compra de vehículos eléctricos se suprimieron en enero de 2020.
Canadá	US\$ 3 700 (BEV, FCEV, PHEV)		Para vehículos con un precio de venta US\$ 33 600 – 44 800 PHEV con capacidad de batería > 15 kWh
China	US\$ 2 300 – 3 200 BEV US\$ 1 200 PHEV	Exención del impuesto sobre la compra (10%)	Precio máximo de compra de US\$ 4 200 sujeto a la autonomía del vehículo
Francia	US\$ 3 400 – 6 800 (BEV, FCEV, PHEV)	No hay impuesto de registro en muchas regiones	Precio máximo de venta de US\$ 50 800 – 67 800 El subsidio se puede aumentar si el usuario se deshace de un automóvil viejo (según los ingresos).
Alemania	US\$ 5 600 – 6 800 BEV US\$ 4 230 – 5 100 PHEV		Precio de venta US\$ 45 200 – 73 400
Italia	0 – 20 g CO ₂ /km US\$ 4 500 – 6 800 21 – 70 g CO ₂ /km US\$ 1 700 – 2 800	BEV exentos del pago de impuestos por 5 años	
Japón	US\$ 1 800 PHEV US\$ 3 700 BEV US\$ 20 800 FCEV	Sin impuestos a la compra	US\$ 1 800 > 400 km de autonomía para PHEV US\$ 3 700 > 400 km de autonomía BEV
República de Corea	US\$ 6 700 BEV US\$ 18 800 FCEV		
Holanda	Subsidio de compra en fase de diseño	Varias exenciones y reducciones de impuestos	Desde 2018, los impuestos sobre la compra de ZEV incrementan progresivamente y alcanzarán niveles estándar en 2026.
Noruega	No existe subsidio de compra	BEV exento de impuesto (25%) y tres impuestos de compra.	
Portugal	US\$ 3 400		Precio máximo de venta US\$ 70 600
España	US\$ 1 500 – 6 200 (PHEV – BEV)		Dependiendo de la autonomía US\$ 6 200 > 72 km Aplicable si el precio de venta es < US\$ 45 200
Suecia	US\$ 6 500 (BEV y FCEV)		Pagadero después de seis meses de propiedad. Limitado al 25% del precio de venta.
Reino Unido	US\$ 3 800 (BEV y PHEV)		Limitado al 35% del precio de venta Solo para automóviles < US\$ 63 600 Autonomía > 112 km.
Estados Unidos		Crédito fiscal hasta US\$ 7 500 (PHEV y BEV)	Dependiendo de la capacidad de la batería (min. 5 kWh). Eliminación gradual para cada fabricante después de superar la venta de 200.000 automóviles.

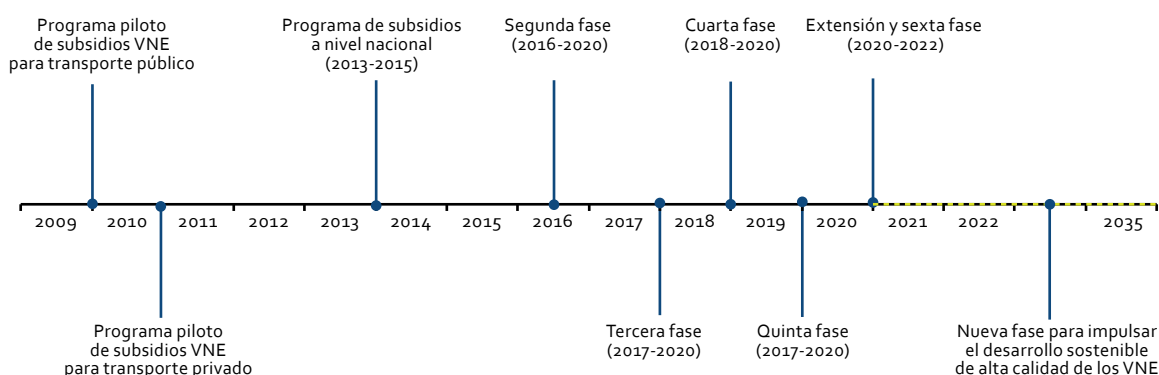
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de IEA (2020), "Global EV Outlook 2020 - Entering the decade of electric drive?". París, Francia.

A continuación, se analizan brevemente las principales políticas implementadas por China, Estados Unidos y la Unión Europea, que son actualmente los tres principales mercados de VE. Luego, se examinan las principales iniciativas en la región latinoamericana, que muestra un importante nivel de rezago respecto a estos mercados.

1. China

La política china en relación con la electromovilidad ha logrado posicionar al país en la vanguardia de la producción y venta mundial de vehículos eléctricos. Actualmente, China da cuenta del 47% de la flota mundial de vehículos. La promoción de la electromovilidad ha sido articulada en torno al programa Vehículos de Nueva Energía (VNE), cuya primera fase fue lanzada en 2013. El desarrollo del programa VNE ha sido reconocido como un aspecto integral del esfuerzo de China por mitigar los problemas ambientales, abordar la escasez de reservas de petróleo y avanzar en una industria de manufactura avanzada (Wu *et al.*, 2019). El VNE incluye subsidios, estándares de producción, apoyo a la investigación y desarrollo, programas de comercialización de nuevos vehículos (Song y otros, 2020; Zhou y otros, 2020).

Diagrama 8
Cronología del Programa de Vehículos de Nueva Energía



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Hongyang, C. y H. Hui (2020), "China announced 2020-2022 subsidies for new energy vehicles". The International Council on Clean Transportation (ITCCT) Policy Updates.

El Cuadro 22 presenta la evolución del programa de VNE y sus antecedentes, que se remontan a los años '90.

En noviembre de 2020, el gobierno chino publicó el Plan de Desarrollo Industrial de Vehículos de Nuevas Energías para el período 2021-2035, que busca profundizar el apoyo y los estímulos a la industria de VNE⁸⁵. El nuevo programa se basa en los avances tecnológicos y la competitividad de las empresas chinas en áreas como baterías y sistemas operativos de los vehículos. Se establece que para el año 2035 los vehículos eléctricos sean la principal opción del mercado automotriz en el país. Adicionalmente establece una mayor integración con otros sectores de energías renovables como la eólica y fotovoltaica, así como garantizar la provisión de equipos especializados para procesos de manufactura, mejora de la eficiencia de los procesos productivos y finalmente garantizar las materias primas para la producción de baterías⁸⁶.

⁸⁵ Véanse más detalles [en línea] [https://www.sustainabletransport.org/archives/7921#:~:text=Republic%20of%20China,-The%20New%20Energy%20Vehicle%20Industry%20Development%20Plan%20\(2021%2D2035\),part%20of%20the%20comprehensive%20roadmap](https://www.sustainabletransport.org/archives/7921#:~:text=Republic%20of%20China,-The%20New%20Energy%20Vehicle%20Industry%20Development%20Plan%20(2021%2D2035),part%20of%20the%20comprehensive%20roadmap).

⁸⁶ Véanse más detalles [en línea] <https://www.metalbulletin.com/Article/3960201/China-launches-new-energy-vehicle-industry-plan-for-2021-35.html>.

Cuadro 22
Evolución de la política de VNE en China

Fase	Características
Fase inicial (1991-2006)	<p>Apoyo a la I+D</p> <p>Las temáticas de las políticas en esta fase se centraron en ahorro energético, tecnología, transporte, medio ambiente y sustitución de combustibles fósiles.</p> <p>Las políticas se enfocaron en la inversión en la investigación sobre vehículos eléctricos y sus principales componentes. Asimismo, se aceleró la reforma del impuesto a combustible fósiles.</p>
Formación inicial (2007-2009)	<p>Apoyo a procesos de producción y pruebas piloto</p> <p>Se designaron 13 ciudades —incluidas Beijing y Shanghai— para el desarrollo de proyectos piloto. Durante esta fase se estableció un sistema de políticas industriales dirigidas a los VNE. Las iniciativas se concentraron en el desarrollo y promoción de vehículos amigables con el medio ambiente y eficientes en el uso de la energía.</p> <p>El programa desarrolló instrumentos que abarcaban todo el proceso de producción de vehículos y autopartes, desde la gestión de inversiones, el acceso a la producción, el diseño de productos, hasta la fabricación y el servicio posventa.</p> <p>También se establecieron parámetros relevantes a la industria, como estándares sobre consumo y ahorro de combustible.</p>
Rápida expansión (2010-2014)	<p>Expansión de proyectos piloto y establecimiento de subsidios fiscales e impositivos</p> <p>La industria de VNE es declarada como una de las siete industrias estratégicas emergentes en el país. Se establecieron algunas ciudades piloto donde se otorgaron los primeros subsidios privados por la compra de VNE. Progresivamente, el alcance de las políticas de promoción del consumo privado de VNE se expandió a más ciudades.</p> <p>En esta fase se priorizó el apoyo a las actividades de innovación y a la competitividad de la industria china. Se estimuló, en particular, el desarrollo de BiL, la fabricación de componentes y las tecnologías para vehículos de pasajeros.</p> <p>Las políticas en esta etapa profundizaron el desarrollo de estándares, plataformas de inspección, infraestructura de suministro de energía y desarrollo de aplicaciones para el sector.</p>
Consolidación estratégica (2015-)	<p>Implementación de proyectos de reciclaje y construcción de infraestructura</p> <p>El programa VNE se vio fortalecido por la estrategia <i>Made in China 2025</i>. Se expandió a más ciudades y regiones del país permitiendo a China convertirse en líder mundial en la fabricación vehículos eléctricos desde 2017.</p> <p>El núcleo de políticas de la fase anterior se mantuvo. El Ministerio de Industria planteó objetivos para mejorar la tecnología de la industria de VNE, especialmente con relación a las BiL. Las políticas incluyeron el apoyo al desarrollo de tecnologías para la fabricación de vehículos, tecnología de componentes, sistemas electrónicos de gestión de baterías (BMS), infraestructura de carga y fabricación y servicios de equipos relacionados a la industria.</p> <p>Desde 2015, los subsidios involucrados en la industria de VNE y sus correspondientes estándares de subsidio se han ajustado continuamente. Se cancelaron los subsidios para vehículos de baja autonomía y se establecieron estándares para más categorías que satisfacen las necesidades de desarrollo del mercado para fomentar el desarrollo de VNE.</p>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Zhou, N., Q. Wu y X. Hu (2020), "Research on the policy evolution of China's new energy vehicles industry". *Sustainability*, 12(9), 3629.

En relación con los incentivos utilizados para dinamizar el mercado de vehículos eléctricos, a partir de 2016, la política china ha iniciado una transición gradual de incentivos directos a mecanismos de subsidio indirecto, acompañados por servicios de apoyo como infraestructura de recarga de baterías ya se a nivel público, residencial o laboral (IEA, 2020). En 2018, el Ministerio de Industria y Tecnologías de Información de China estableció una política de crédito obligatoria para los vendedores de vehículos que ya no se basa en el volumen de ventas sino en la cantidad de créditos otorgados. Los objetivos en términos de los tipos de vehículo fueron fijados de acuerdo con la autonomía, la eficiencia y la densidad energéticas de los sistemas de celdas.

El estímulo de las políticas ha permitido a China posicionarse como el país con la flota de vehículos eléctricos más grande. Los subsidios a la demanda, las restricciones cada vez más exigentes a los vehículos con motor de combustión interna, así como el bajo precio relativo de la energía han contribuido a ello (Hu y otros, 2020). No obstante, la tasa de penetración todavía no supera el 10% del mercado de automóviles (Li y otros, 2019).

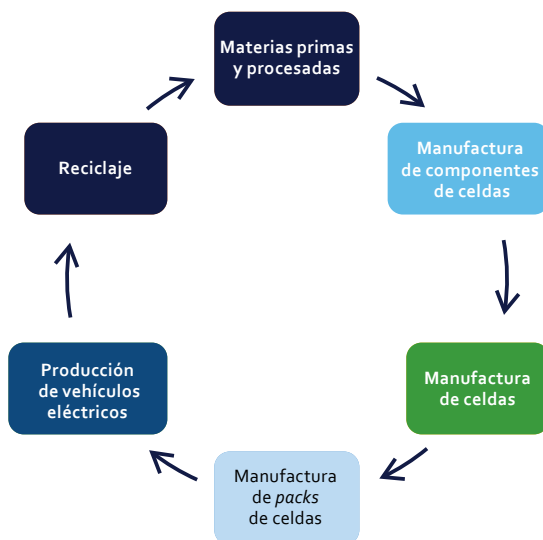
Las políticas chinas para promover la adopción de los vehículos eléctricos enfrentan retos, que son comunes a muchos otros países. En primer lugar, se identifican barreras para los fabricantes de vehículos eléctricos, creadas por la incertidumbre acerca de la tecnología y una demanda que todavía es muy limitada. El volumen de inversión para crear capacidad de producción, para desarrollar actividades de I+D, y para ofrecer servicios específicos relacionados con las baterías y los motores eléctricos es muy elevado. A nivel macro existen factores institucionales y políticos que también representan riesgos para los productores. En particular, la fragmentación de competencias entre agencias en distintos niveles gubernamentales es un factor que genera problemas de coordinación e incertidumbre. Asimismo, la deficiente infraestructura de recarga es un factor que desalienta a los consumidores a realizar la transición hacia la nueva tecnología (Li y otros, 2018).

2. Europa

Como parte del *Pacto Verde Europeo*, la Comisión Europea tiene como objetivo dejar de producir emisiones netas de gases de efecto invernadero hacia el año 2050. Para alcanzar este objetivo se plantean varias acciones entre las cuales se encuentra “desplegar sistemas de transporte público y privado más limpios, baratos y sanos”⁸⁷. Esta es una de las líneas incluidas en la Política Industrial que elaboró la Comisión Europea en el marco del Pacto, mediante la “Estrategia global sobre movilidad sostenible e inteligente”⁸⁸. Ello no solo se complementa con medidas restrictivas en términos de emisiones de carbono, sino también con mecanismos que buscan promover la innovación tecnológica, incluidos aquellos relacionados con el Programa Marco de Inversión en Investigación e Innovación Horizonte Europa⁸⁹ y el fondo de innovación de la UE.

Partiendo de la idea de que las BiL juegan un papel clave en la transición hacia sistemas limpios de movilidad y energía, la Comisión Europea lanzó en 2017 la Alianza Europea de Baterías, que tiene como objetivo desarrollar una cadena de valor de baterías innovadora, competitiva y sostenible en Europa. Se espera que la Alianza se convierta en la principal plataforma industrial para la construcción de una industria europea de tecnología de baterías que incluya todos los segmentos productivos de las RGP (European Commission, 2020) —Diagrama 9.

Diagrama 9
Alcance del marco de intervención de la Alianza Europea de Baterías



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de European Battery Alliance. Información disponible [en línea] https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/european-battery-alliance_en.

⁸⁷ Disponible [en línea] https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es.

⁸⁸ Información disponible [en línea] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0102&qid=1584954695422&from=ES>.

⁸⁹ Para más detalles ver: https://ec.europa.eu/info/horizon-europe_en.

La Alianza Europea de Baterías ha logrado convocar a más de 500 actores provenientes de la industria, la academia, las finanzas y las industrias extractivas⁹⁰. La iniciativa definió un total de 43 acciones —18 de las cuales son consideradas prioritarias— para la aumentar la participación europea en el mercado global de BiL. Estas acciones se organizan en torno a los 7 objetivos incluidos en el Cuadro 23. Una de las principales fuentes de apoyo a las iniciativas es el Banco Europeo de Inversiones, que comprometió en 2020 € 1.000 millones para financiar proyectos vinculados a las baterías eléctricas⁹¹. La planta de Northvolt en Suecia, que ha sido la primera giga fábrica establecida en Europa, contó con un financiamiento de € 350 millones por parte de esta institución. La planta tendrá una capacidad inicial de 16 GWh, expandible hasta 40 Gwh⁹².

Cuadro 23
Objetivos de la Alianza Europea de Baterías

Objetivo	Descripción
1	Lograr acceso seguro a materias primas de baterías producidas de manera sostenible a un costo razonable
2	Hacer de Europa el líder mundial en tecnología de baterías sostenibles
3	Apoyar la fabricación europea de baterías para no perderse el crecimiento masivo esperado en la demanda del mercado
4	Crear y apoyar nuevos mercados para las baterías, por ejemplo, a través de los paquetes “Energía limpia” y “Movilidad”. Esto también incluye nuevas iniciativas, para apoyar soluciones sostenibles para los sectores de energía, transporte e industria en línea con los objetivos climáticos de la Unión Europea
5	Aumentar la capacidad de investigación e innovación de Europa. Desarrollar y fortalecer mano de obra calificada en todos los eslabones de la cadena de valor y hacer que Europa sea atractiva para expertos de clase mundial
6	Involucrar a los ciudadanos de la UE: informar, educar y motivar
7	Garantizar la máxima seguridad para los ciudadanos europeos y crear una ventaja competitiva mediante la estandarización

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de <https://www.eba250.com/about-eba250/>.

En el marco de la Alianza Europea de Baterías, en diciembre de 2019, la Comisión Europea aprobó un paquete de ayuda públicas por € 3.200 millones, constituido con aportes de siete Estados miembros⁹³. El fondo está destinado a financiar proyectos de investigación y desarrollo que abarcarían toda la cadena de valor de BiL. El proyecto se extendería hasta 2031 y aspira a lograr co-financiamiento del sector privado por más de €5.000 millones. En enero de 2021, la Comisión Europea aprobó un segundo paquete de € 2.900 millones, esta vez con aportes de doce Estados miembros⁹⁴. La iniciativa se encuadra en los criterios establecidos para proyectos importantes de interés común europeo, que permite el otorgamiento de ayudas estatales en proyectos considerados de importancia para la región, que impliquen innovación tecnológica y un alto riesgo para inversores privados. Mientras que en la primera fase participaban 17 empresas, en esta segunda etapa lo harán 42 empresas.

Desde el punto de vista normativo, los mecanismos para promover la transición hacia los vehículos eléctricos son adoptados en distintos niveles. A nivel comunitario, la Unión Europea ha establecido estándares de desempeño en relación con las emisiones de CO₂ de vehículos livianos y pesados. Aquellos productores que no los cumplen son penalizados. Asimismo, en el marco de la Directiva de Vehículos Limpios (*Clean Vehicles Directive*) se establecieron niveles mínimos de compras públicas para vehículos livianos eléctricos livianos de carga, camiones y buses. Asimismo, la Unión Europea estableció para sus Estados miembros parámetros respecto a las estaciones de carga de acceso público, con una proporción estimada de 1 cargador por cada 10 vehículos eléctricos. Esto demandará alrededor de 1 millón de puntos de recarga para el año 2025 (IEA, 2020).

⁹⁰ Ver: <https://www.eba250.com/>.

⁹¹ Enlace disponible [en línea] <https://www.eib.org/en/press/all/2020-121-eib-reaffirms-commitment-to-a-european-battery-industry-to-boost-green-recovery>.

⁹² Información disponible [en línea] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_1422.

⁹³ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_6705.

⁹⁴ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP_21_226.

Luego, a nivel nacional, cada estado miembro ha establecido una serie de medidas de estímulo a la electromovilidad de acuerdo con sus prioridades y políticas nacionales (Cuadro 20 y Cuadro 21), Alemania, por ejemplo, ha centrado sus esfuerzos en programas de investigación y desarrollo o asociaciones público-privadas y menos en incentivos al consumidor final. En 2009, lanzó el Plan Nacional de Desarrollo de Electromovilidad, que tiene como objetivo convertir al país en un mercado y un fabricante líder, con metas ambiciosas como el contar con una flota de 6 millones de vehículos eléctricos para el año 2030. Francia por su parte ha establecido un sistema denominado *bonus-malus* que establece incentivos orientados al usuario final con esquemas de bonificaciones para los primeros registros de vehículos eléctricos que pueden llegar a US\$ 4.890 para vehículos híbridos o a US\$ 7.700 para vehículos completamente eléctricos (Barton y Schütte, 2017).

Por su parte, los países nórdicos han implementado diferentes estrategias. Noruega orienta sus esfuerzos al fortalecimiento de su política ambiental por sobre la industrial sin especializarse en una determinada parte del ecosistema. Finlandia se ha concentrado en fomentar sus exportaciones en sectores vinculados a la industria de vehículos eléctricos posicionándose como líder en sistemas energéticos inteligentes. Suecia ha priorizado la electrificación de sus sistemas de transporte, mientras que Dinamarca se enfoca en proyectos de redes inteligentes (Kester y otros, 2018; Valta y otros, 2018).

Con una visión común, pero con especificidades propias de cada país, la política europea enfrenta varios desafíos directos e indirectos en el proceso que busca impulsar la penetración en el mercado de los vehículos eléctricos. Entre los más significativos se puede mencionar los costos de las baterías, la cobertura de la red de recarga y los estándares de CO₂ para todo tipo de vehículos (Statharas y otros, 2019).

3. Estados Unidos

Estados Unidos ha tenido una tradición de políticas de promoción para la producción de vehículos eficientes en general. A finales de la década de los ochenta, al mismo tiempo que California iniciaba sus políticas de vehículos con cero emisiones (*Zero Emission Vehicle Mandate* - ZEV), a nivel federal surgió la primera propuesta que planteaba que los fabricantes de automóviles vendan anualmente 1 millón de vehículos de "combustible limpio" en las nueve ciudades más contaminadas del país. No obstante, la propuesta no prosperó y tuvo que ser eliminada. En 1992, el Congreso retomó la discusión de una Ley de Política Energética y la normativa se transformó de regulaciones estrictas a estímulos voluntarios (incluidos incentivos fiscales). Si bien en aquel momento la política tenía como principal objeto reducir las importaciones de petróleo, terminó abriendo una ventana de apoyo a tecnologías emergentes y renovables incluyendo subsidios para investigación en vehículos eléctricos y créditos fiscales de US\$ 4.000 por la compra de un vehículo eléctrico (Stokes y Breetz, 2018).

Durante los últimos años, sin embargo, las políticas federales estadounidenses no han sido demasiado proactivas en el apoyo y promoción de la electromovilidad, lo que ha colocado a este país por detrás de China y la Unión Europea. El gobierno federal, durante la administración Trump, adoptó medidas que operan en detrimento de la electromovilidad, además de afectar negativamente los incentivos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, en marzo de 2020, redujo las exigencias que se habían establecido en 2012 respecto a las mejoras anuales en ahorro de combustible de 4,7% a 1,5% para los modelos fabricados entre 2021 y 2026⁹⁵. Ello ha entrado en conflicto con medidas adoptadas a nivel subnacional que son más exigentes.

Las principales políticas de incentivo vigentes para el fortalecimiento de la industria de vehículos eléctricos se pueden resumir en: los programas federales de economía de combustibles y regulación de gases de efecto invernadero; el programa de vehículos de cero emisiones de California (ZEV); incentivos financieros federales y estatales para la compra de vehículos eléctricos; y políticas estatales y locales dirigidas a la construcción de infraestructura para apoyar la comercialización de este tipo de vehículos (Carley *et al.*, 2019).

⁹⁵ [https://www.nhtsa.gov/corporate-average-fuel-economy/safe#:~:text=The%20Safer%20Affordable%20Fuel%2DEfficient%20\(SAFE\)%20Vehicles%20Rule%2C,model%20years%202021%20through%202026](https://www.nhtsa.gov/corporate-average-fuel-economy/safe#:~:text=The%20Safer%20Affordable%20Fuel%2DEfficient%20(SAFE)%20Vehicles%20Rule%2C,model%20years%202021%20through%202026).

A nivel federal, desde 2008, el gobierno ofrece incentivos para la compra de vehículos eléctricos, basados en créditos fiscales que van desde US\$ 2.500 a 7.500. El monto del subsidio varía en función de la capacidad de la BiL, siendo menor en el caso de los híbridos y mayor en el de los vehículos eléctricos. Existe un tope anual de 200.000 unidades por año por productor. Este límite se fijó con la idea de evitar que un único productor acapare la totalidad de los créditos y la medida terminara conduciendo a una concentración de mercado. Hasta el momento solo Tesla y General Motors han alcanzado este límite.

A nivel de los estados existen también varias iniciativas. En 2014, más de 37 estados habían establecido incentivos y exenciones de impuestos para los vehículos eléctricos (Nian y otros, 2019) —Cuadro 24. Se destaca el caso de California, que ha liderado la promoción de los vehículos de bajas emisiones de CO₂ (Barton y Schütte, 2017). La política de mayor reconocimiento es la de Vehículos con Cero Emisiones, en vigor desde 1990. Esta medida establece que los fabricantes de automóviles deberían incrementar progresivamente la venta de este tipo de vehículos, representando un 2% de las ventas totales en 1998, un 5% para 2001 y un 10% para 2003 en adelante. Sin embargo, la política tuvo que ser ajustada periódicamente debido al lento desarrollo de la industria de vehículos eléctricos. Se tomaron medidas correctivas como la incorporación de la categoría de ZEV “parciales” permitiendo la inclusión del segmento de vehículos híbridos (Stokes y Breetz, 2018). Habiendo transcurrido ya 30 años desde su implementación, los vehículos eléctricos aún representan el 3% de las ventas de vehículos nuevos en ese estado.

Cuadro 24
Lista de incentivos financieros estatales para vehículos eléctricos

Estado	Crédito o reembolso impositivo
Arizona	Crédito fiscal de US\$ 75 para cargadores de vehículos eléctricos
California	hasta US\$ 7 000 de reembolso
Colorado	hasta US\$ 5 000 de crédito fiscal
Connecticut	hasta US\$ 3 000 de reembolso
Delaware	hasta US\$ 3 500 de reembolso
Luisiana	hasta US\$ 1 500 de crédito fiscal
Maryland	Crédito de impuestos especiales de US\$ 3 000
Massachusetts	hasta US\$ 2 500 de reembolso
Nueva Jersey	Exención del impuesto sobre las ventas
Nueva York	hasta US\$ 2 000 de reembolso
Oregón	de hasta US\$ 750 de crédito fiscal por la instalación de la estación de carga
Pennsylvania	hasta US\$ 1 750 de reembolso
Rhode Island	hasta US\$ 2 500 de reembolso
Texas	Reembolso de US\$ 2 500 (excluye Tesla)
Washington	Exención del impuesto sobre las ventas

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Carley, S., N. Zirogiannis, S. Siddiki, D. Duncan and J. D. Graham (2019), “Overcoming the shortcomings of U.S. plug-in electric vehicle policies”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 113: 109291.

California también ha adoptado en 2018, un programa de transición gradual a una flota de autobuses del transporte público con cero emisiones de CO₂. En cuanto a incentivos individuales, el Estado adoptó una legislación que segmenta los niveles de reembolso de acuerdo a los niveles de ingresos de los consumidores, limitando los reembolsos a los hogares con ingresos anuales inferiores a US\$ 500.000 o a personas con ingresos inferiores a US\$ 250.000 (DeShazo *et al.*, 2017).

Distintos estudios han encontrado que los incentivos que mayor efectividad han tenido en Estados Unidos son los subsidios de compra de vehículos eléctricos, el acceso a carriles preferenciales y las exenciones de prueba de emisiones. Las políticas enfocadas en potenciales nuevos usuarios también han tenido un efecto positivo por lo que préstamos y financiamiento accesibles pueden constituirse en

posibles estímulos a futuro. También se han identificado programas de incentivos menos eficientes o costosos como ser créditos fiscales federales e incentivos monetarios de menos de US\$ 2.000 (Wang & Hewitt, 2019). También son importantes las medidas orientadas a reducir las emisiones a nivel federal, en complementación con el encarecimiento de los impuestos sobre la gasolina.

Las políticas adoptadas por la administración Trump en detrimento de la industria de la electromovilidad motivaron el surgimiento de la asociación ZETA (Zero Emission Transportation Association), un grupo de cabildeo en favor de alcanzar la meta de que el 100% de los vehículos vendidos en Estados Unidos en 2030 sean eléctricos⁹⁶. Esta iniciativa integrada por varias empresas vinculadas a la industria de la electromovilidad —desde la provisión de materias primas hasta la producción de vehículos— presiona por mayores incentivos al consumo, el apoyo a la producción nacional, el establecimiento de estándares de emisiones y desempeño más exigentes, la inversión en infraestructura y el apoyo a los líderes locales.

El resultado del proceso electoral de año 2020 trae esperanza a la industria de vehículos eléctricos. Durante su campaña, el actual presidente Joe Biden propuso la construcción de más de medio millón de estaciones de carga para 2030⁹⁷, restaurar el crédito fiscal total para vehículos eléctricos, así como la implementación de regulaciones más estrictas en cuanto a emisiones de CO₂ que fomentarían el uso de los vehículos eléctricos. En enero de 2021, en el marco de la expansión del plan Compre Americano (*Buy American*) el presidente Biden anunció que la flota del gobierno federal, compuesta por 645.000 unidades, será reemplazada por vehículos eléctricos⁹⁸.

En enero de 2020, se presentó en la Cámara de Representantes del Congreso un proyecto de ley (*Electrify Forward Act*) que consiste en un plan integral para acelerar la fabricación de baterías, modificar los programas de incentivos para la fabricación de vehículos eléctricos y otorgar al Departamento de Energía el financiamiento necesario para un programa de apoyo a la producción de vehículos de tecnología avanzada⁹⁹. La ley se encuentra en la Comisión de Energía y Comercio y debería ser tratada por el Congreso renovado en 2021¹⁰⁰.

4. América Latina

El crecimiento del mercado de vehículos eléctricos en América Latina muestra un rezago significativo respecto a los países y regiones examinados anteriormente. Las regulaciones ambientales en la región son menos estrictas, mientras que la capacidad fiscal de los países de la región es mucho menor. Estos son obstáculos importantes, ya que limitan los incentivos y la capacidad para implementar programas de apoyo a la electromovilidad a gran escala (SIOMAA, 2021).

No obstante, durante los últimos años se observa que, en línea con las tendencias globales, varios países de la región han comenzado a implementar incentivos para promover la movilidad eléctrica (Gómez-Gélvez y otros, 2016; Quirós-Tortós y otros, 2019; PNUMA, 2020). Colombia, Costa Rica y México son aquellos que han hecho mayores avances, mostrando un mayor despliegue de instrumentos y mejor coordinación que sus pares de la región. Algunos incentivos se focalizan en reducir el precio de los vehículos, mientras que otros buscan facilitar reducir el costo de su uso o facilitar la circulación. Solo en algunos casos, estas medidas se articulan en una estrategia nacional de movilidad eléctrica. En la mayor parte de los casos, se trata de medidas independientes, que no tienen un alto grado de articulación entre sí. El Cuadro 25 presenta información con las principales políticas en la región.

⁹⁶ Para más información, ver <https://www.zeta2030.org/>.

⁹⁷ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-12-02/joe-biden-plan-to-fight-climate-change-could-sell-25-million-electric-cars>.

⁹⁸ <https://www.caranddriver.com/news/a35313537/biden-us-fleet-evs/>.

⁹⁹ <https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/5558?q=%7B%22search%22%3A%5B%22bee+act%22%5D%7D&s=1&r=1>.

¹⁰⁰ <https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/5558?q=%7B%22search%22%3A%5B%22bee+act%22%5D%7D&s=1&r=1>.

Cuadro 25
Países seleccionados: instrumentos de promoción a la electromovilidad América Latina

		Argentina	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica	Ecuador	México	Paraguay	Uruguay
Incentivo a la compra	Impuesto de compra									
	Exención o reducción de impuesto de importación									
Incentivos de uso y circulación	Impuesto de propiedad/circulación									
	Excepción de peajes, parqueos y otros									
Otros instrumentos de promoción	Restricción vehicular									
	Tarifas eléctricas diferenciadas									
	Regulación para centros de carga									
	Estrategia nacional de movilidad eléctrica									

Fuente: Elaboración propia, sobre la base del PNUMA (2020).

■ Completo, aprobado y en marcha.

■ Parcial o en fase de diseño.

Con relación al segmento de transporte público, en especial los buses eléctricos, la región también se mantiene muy rezagada, a pesar de su crecimiento reciente. Bogotá es una de las ciudades más avanzadas en este ámbito, con una flota de buses eléctricos de 1.485 unidades¹⁰¹. Santiago de Chile es otra de las ciudades una flota importante dentro de la región con casi 800 buses eléctricos en circulación. En el Cuadro 26, se describen las principales medidas y metas que se han fijado algunos de los países de la región.

Cuadro 26
Metas para el segmento de buses eléctricos (países seleccionados)

País	Metas
Chile	Estrategia de electrificación total del transporte público hacia 2040.
Colombia	La Ley N° 1964, de movilidad sustentable, establece como meta de electrificación al año 2035. Para 2025, al menos el 10% de la flota de transporte público deberá ser eléctrica.
Brasil	Proceso de electrificación no legislado, sin metas establecidas. Expectativa de la industria de electrificar la mitad de la flota de ómnibus del país a lo largo de 10 años.
Uruguay	Ley de financiamiento y promoción de la electromovilidad. Por lo pronto, el programa permite un recambio de flota de hasta el 4% del parque operativo.
Ecuador	En base a la Ley de Eficiencia Energética de Ecuador, a partir del año 2025 la renovación de flota sólo podrá realizarse a través de la incorporación de buses eléctricos.
Argentina	Aún no se ha establecido un plan de recambio de flota migrando hacia energías sustentables. La flota eléctrica se concentra casi en su totalidad en la provincia de Mendoza.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base del Ministerio de Desarrollo Productivo (2020), Proyecto Ley de Movilidad Sustentable Ministerio de Desarrollo Productivo de la República Argentina. Agosto 2020.

¹⁰¹ <https://www.larepublica.co/economia/transmilenio-adquirio-596-buses-electricos-el-sistema-completo-1485-vehiculos-verdes-3108291>.

El Cuadro 27 muestra los objetivos para vehículos eléctricos de servicio pesado en tres de los países latinoamericanos más activos en este sector. Algunos de los países de la región ya han adoptado medidas y metas que aspiran a aumentar la flota de buses eléctricos.

Cuadro 27
Metas para la electrificación del transporte pesado en Chile, Colombia y Costa Rica

País	Medidas y objetivos	Año anunciado
Chile	Sector de transporte público 100% eléctrico para 2040.	2018
Colombia	100% de transporte público cero emisiones para 2035.	2019
Costa Rica	70% de los autobuses serán cero emisiones para 2035. 100% de los autobuses serán cero emisiones para 2050.	2019

Fuente: Elaboración propia, sobre la base del IEA (2020), Global EV Outlook 2020 - Entering the decade of electric drive? París.

La infraestructura de carga es muy limitada en la región. México y Brasil se encuentran entre los países con mayor número de estaciones, con 900 y 200 respectivamente. Uruguay tiene 47, que a pesar de ser un número pequeño es relativamente elevado en comparación con sus vecinos y el tamaño del país. Luego, en otros países el número es mucho más bajo: 4 en Argentina, 55 en Chile, 40 en Colombia, 50 en Costa Rica, 15 en Ecuador y 10 en Paraguay¹⁰².

A continuación, se examinan algunas iniciativas nacionales recientes:

- Brasil

En 2015, Brasil eliminó el arancel de importación para vehículos eléctricos y celdas de combustible y los redujo para los vehículos híbridos enchufables y convencionales, dependiendo de la capacidad del motor de combustión y del modelo de producción utilizado. En 2018, se modificó el Impuesto de Productos Industrializados (IPI) entre el 7% y 18% para vehículos eléctricos y entre el 9% y 20% para vehículos híbridos, dependiendo de su peso y eficiencia.

En enero de 2020, la Comisión de Constitución y Justicia de Brasil (CCJ) aprobó un proyecto de ley que prohíbe la venta de automóviles nuevos a gasolina y diésel en el país a partir de enero de 2030. A partir entonces, únicamente las ventas de vehículos eléctricos y aquellos que funcionan con bioenergía, como el etanol, estarían permitidos. Adicionalmente, el proyecto, que aún no ha sido promulgado como ley, también incluye la prohibición de circulación de los vehículos a gasolina y diésel a partir de 2040. A nivel subnacional, también se observan iniciativas, como la de la Ley 16.802, en la ciudad de San Pablo, que plantea ambiciosos objetivos para el segmento de vehículos pesados, estableciendo un período de 20 años para reducciones drásticas de las emisiones de partículas de CO₂.

La competencia que el segmento de vehículos eléctricos plantea a los biocombustibles, cuyo desarrollo está muy extendido en Brasil, es considerado una traba a la proliferación de la electromovilidad (Velandia Vargas y otros, 2020).

Desde 2016, opera en el país una planta ensambladora de buses eléctricos de la empresa China BYD. En 2019, la división de camiones y ómnibus de Volkswagen anunció una inversión de US\$ 375 millones para la producción de vehículos eléctricos en su planta de Resende (Río de Janeiro) y la instalación de centros de carga y gestión de baterías (PNUMA, 2020). En julio de 2020, la división de camiones y ómnibus de Volkswagen y CPFL Energía, un grupo privado del sector eléctrico, firmaron un acuerdo para impulsar la movilidad eléctrica en Brasil, mediante la creación de un laboratorio de movilidad eléctrica. Allí, se llevará a cabo un proyecto piloto para electrificar la flota de vehículos operativos de CPFL y desarrollar un sistema de carga inteligente. Participarán del proyecto otros actores como Siemens, SENAI CIMATEC y la Universidad Federal de Río de Janeiro¹⁰³.

¹⁰² <http://www.obela.org/en-analisis/electric-vehicles-in-latin-america>.

¹⁰³ <https://portalmovilidad.com/vw-trucks-and-buses-y-cpfl-se-asocian-para-desarrollar-movilidad-electrica-en-brasil/>.

- Chile

El país cuenta desde 2017 con una Estrategia Nacional de Electromovilidad que aspira a lograr una tasa de penetración del 40% de los autos eléctricos en el parque privado para el 2050. Entre algunos de los incentivos que se han establecido a tal fin, se encuentra un esquema de financiamiento para la renovación de taxis, que incluye la adquisición de vehículos eléctricos e híbridos¹⁰⁴. Asimismo, se establece la meta de electrificar el 100% de la flota de transporte público de la capital para 2040 y del resto del país para 2050. La infraestructura de carga se multiplicaría por cinco.

Desde 2019 se encuentra en proceso de aprobación un proyecto de Ley de Eficiencia Energética, que busca establecer estándares de eficiencia energética para vehículos nuevos vendidos por fabricantes o importadores de automóviles. Ese mismo año, se promulgó el Decreto Supremo N° 145, que establece requisitos técnicos y de seguridad para los vehículos eléctricos.

- Argentina

En Argentina, está vigente la normativa que ofrece preferencias arancelarias a la importación de vehículos eléctricos (Decretos 331/2017 y 230/2019), La alícuota del 35% vigente a nivel MERCOSUR se reduce a 5% para los híbridos (enchufables y no enchufables) y 2% para los eléctricos puros (BEV).

En 2018, se modificó la Ley de Tránsito y se incorporaron definiciones y categorías de vehículos con motorización eléctrica e híbrida. En 2019, se modificaron las clasificaciones de licencias de conducir para incluir a los vehículos con motorización eléctrica.

Durante 2020, el Ministerio de Desarrollo Productivo ha trabajado sobre un proyecto de Ley de Promoción de la Movilidad Sustentable que busca, entre otras cosas, promover el uso de vehículos eléctricos (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2020). La normativa buscaría dinamizar la electromovilidad en tres segmentos: vehículos particulares, transporte público y vehículos de la administración pública. Los beneficios del régimen de promoción serían temporarios y escalonados en el tiempo¹⁰⁵:

- Vehículos particulares: exención de impuestos internos, exención del IVA (21%) y excepción a la base imponible del impuesto sobre los bienes personales.
- Transporte público: todos los beneficios anteriores, más exención de IVA a repuestos, piezas y equipo auxiliar (cargadores),
- Vehículos de la administración pública: preferencia en precio ampliada para las compras estatales y un mandato a carteras y organismos descentralizados a cubrir cuotas de compra: 40% de flota en los primeros 8 años.

La presentación del proyecto al Congreso sería realizada en el curso de 2021.

B. Sistemas normativos y políticas tecno-productivas en el triángulo del litio

1. Estado Plurinacional de Bolivia

El marco normativo que regula la explotación de los salares en el Estado Plurinacional de Bolivia para la extracción de salmuera y posterior procesamiento para la producción de compuestos de litio comenzó a gestarse con la llegada de Evo Morales al poder, en el año 2006 (Obaya, 2019). Un rasgo distintivo del caso boliviano es que el diseño de dicho marco fue concebido como parte integral de una política tecno-productiva que aspira a procesar localmente el recurso para la fabricación de material catódico y baterías de ion de litio, con un fuerte control del proceso por parte del gobierno central. Es decir, el marco normativo es funcional a una política tecno-productiva de naturaleza nacionalista y estatista.

¹⁰⁴ https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_electromovilidad-8dic-web.pdf.

¹⁰⁵ <https://milenico.com.ar/wp-content/uploads/2020/09/Proyecto-de-Ley-Movilidad-Sustentable.pdf>.

Los objetivos relacionados al litio deben interpretarse a la luz una estrategia nacionalista más amplia que apunta a aumentar el control del gobierno central sobre los recursos naturales (Kohl y Farthing, 2012; Pellegrini, 2016). La misma asumió rasgos particulares en relación con cada recurso. Mientras que en el caso de los hidrocarburos el principal propósito fue mejorar las condiciones de captura de renta por parte del estado, lo que se tradujo en una renegociación de los contratos, en el caso del litio se pretende crear una plataforma que promueva un cambio de la estructura económica.

La base de la estrategia adoptada por el gobierno de Morales para el litio fue formulada por la Federación Regional Única de Trabajadores Campesinos del Sudoeste Potosino (FRUTCAS), una organización sindical de la región de Potosí —donde se encuentra el salar de Uyuni— que era aliada al partido político del presidente (Nacif, 2012). La propuesta aspiraba a lograr una localización completa de la cadena de valor de BiL partiendo desde la explotación del salar. FRUTCAS incluía, además, una condición que signaría la experiencia boliviana por muchos años: las empresas extranjeras no podrían participar de la explotación del salar. Así, el carácter nacionalista de la política litífera boliviana iba mucho más allá de la que se adoptaba en otras actividades vinculadas a los recursos naturales. La explotación de otras minas —como la de San Cristóbal, en la misma región de Potosí—, así como también los hidrocarburos se mantuvieron bajo la operación de empresas extranjeras, en este último caso con contratos que fueron renegociados (Kohl y Farthing, 2012; Olivera, 2017).

La construcción del marco normativo que regula la explotación del litio en el Estado Plurinacional de Bolivia reconoce distintas etapas. La primera, cuyos pilares se sintetizan en el Cuadro 28, fue desarrollada entre 2007 y 2010 y sentó las bases para la política tecno-productiva que el gobierno desplegó hasta 2017. En esencia, se restituyen competencias a la Corporación Minera Boliviana (COMIBOL), que sería la que estaría a cargo de la implementación de la estrategia; y se declara el litio como recurso estratégico, quedando en manos del gobierno central. Ya en 2003, el presidente Carlos Mesa había restituido el perímetro de la reserva fiscal del salar (Ley N° 2.564) de acuerdo con parámetros que habían sido establecidos en 1986 por el Decreto 21.260 del entonces presidente Paz Estenssoro (Nacif, 2012).

Cuadro 28
Pilares del sistema normativo boliviano para la implementación de la política de industrialización del litio

Año	Acto normativo	Descripción
2003	Ley N° 2.564	Restitución del perímetro de la reserva fiscal del salar de Uyuni.
2007	Ley N° 3.720	Se restituyen a la COMIBOL las atribuciones de exploración, explotación, industrialización, comercialización y administración de las reservas fiscales mineras que le habían sido quitadas durante los años ochenta y noventa.
2008	Decreto Supremo N° 29.496	Se “declara de prioridad nacional la industrialización del Salar de Uyuni para el desarrollo productivo, económico y social del Departamento de Potosí”. La Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos (DNRE) —creada pocos días después— sería la unidad dentro de la COMIBOL responsable por la implementación del proyecto de exploración, explotación, industrialización y comercialización de los recursos del salar.
2009	Constitución Política del Estado (CPE)	Establece el “carácter estratégico y de interés público para el desarrollo del país” de los recursos naturales. También se declara el carácter estratégico de los recursos evaporíticos en salmueras y se dispone que en el plazo de un año se dejarían sin efecto todas “las concesiones mineras de minerales metálicos y no metálicos, evaporíticos, salares azufreras y otros, concedidas en las reservas fiscales del territorio boliviano”.
2010	Resolución de COMIBOL N° 4.366	DNRE fue elevada al rango de gerencia constituyéndose bajo el nombre de Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE), Esta unidad sería responsable de implementar la estrategia boliviana para la industrialización del litio.

Fuente: Elaboración propia.

Como se ha señalado, uno de los rasgos distintivos del caso boliviano es la co-evolución del marco normativo y el diseño de la política tecno-productiva. El primero se pone al servicio del objetivo de

posicionar al Estado Plurinacional de Bolivia como un actor autónomo dentro de las RGP de baterías de ion de litio, con capacidades en todos los segmentos productivos. Por ello, una vez montados los pilares regulatorios, el gobierno anunció, en octubre de 2010, la Estrategia Nacional de Industrialización de los Recursos Evaporíticos. Allí se establecerían los lineamientos, objetivos principales y plazos para el desarrollo de una cadena de valor local de BiL. La política tecno-productiva tendría dos particularidades derivadas del sistema normativo. En primer lugar, abarcaría las fases de extracción, industrialización y comercialización de litio, materiales catódicos y baterías de ion de litio. En segundo lugar, quedarían excluidas las empresas privadas de todas las fases de explotación y procesamiento de los recursos del salar. Solo quedaba abierta su participación en la fase de producción de baterías, en condición de socio minoritario del Estado nacional.

Como se resume en el Cuadro 29, la estrategia está organizada en tres fases que contemplan el desarrollo de capacidades tecnológicas y productivas, contemplando trabajos en plantas piloto y la producción a escala industrial de carbonato de litio y cloruro potasio, así como también de baterías. El financiamiento de la estrategia estaría a cargo del gobierno central, a través de préstamos otorgados por el Banco Central de Estado Plurinacional de Bolivia, lo que permitía conservar la autonomía en la implementación de la estrategia.

Cuadro 29
Fases de la Estrategia Nacional de Industrialización de los Recursos Evaporíticos

Fase	Descripción	Inversión estatal (en millones de dólares)	Financiamiento	Año de producción estimado	Tecnología
I	Investigación y plantas piloto. Proceso de investigación y desarrollo del proceso tecnológico para la explotación del salar. Construcción de una planta piloto de carbonato de litio y semi-industrial de cloruro de potasio.	19	100% estado boliviano	2012	Boliviana
II	Producción nacional. Construcción de plantas industriales para la producción de carbonato de litio (30.000 t/año) y cloruro de potasio (700.000 t/año).	485		2016	
III	Producción de materiales de cátodo y baterías de ion-litio.	400		2014	Socios para transferencia de tecnología

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de GNRE (2011), Memoria Institucional 2011. G. N. d. R. Evaporíticos. La Paz, COMIBOL.

La implementación de la estrategia sufrió demoras significativas que se explican, principalmente por factores de orden tecnológico y organizativo. Entre los primeros se encuentran las dificultades para resolver los desafíos que presenta la composición química del salar de Uyuni, fundamentalmente debido a la alta relación magnesio/litio, y las menores tasas de evaporación debido a la temporada húmeda que atraviesa la región (Calla Ortega, 2014). En relación con la gestión del proyecto, la COMIBOL no tenía las capacidades necesarias para llevar adelante la estrategia. Su estructura administrativa era demasiado burocrática, lo que conllevaba demoras significativas en la toma de decisiones (Romero Valenzuela, 2019). Además, la organización estaba especializada en minería tradicional cuyas características diferían notablemente con aquellas de la minería de litio (Montenegro Bravo y Montenegro Pinto, 2014).

Este escenario abrió la puerta a un ajuste del marco normativo que permitiría, a su vez, la introducción de cambios en la política tecno-productiva. En 2014, se promulgó la nueva Ley de Minería N° 535. En referencia a los recursos evaporíticos, la ley incluye una disposición que abriría la puerta a la futura relajación de la restricción a participación de empresas privadas nacionales o extranjeras en actividades ligadas a la producción de compuestos de litio que no estaban previstas originalmente. En el inciso IV del

artículo 73, se indica que “procesos posteriores de semi-industrialización e industrialización se podrán realizar mediante contratos de asociación con empresas privadas nacionales o extranjeras, manteniendo la participación mayoritaria del Estado” (énfasis del autor),

Bajo el paraguas de esta legislación, en 2017 se avanzó con una reforma importante de la estructura a cargo de la implementación de la estrategia. Se creó el Ministerio de Energías y, dentro del mismo, el Viceministerio de Altas Tecnologías Energéticas, que quedaría a cargo de la política litífera. Asimismo, se creó una empresa pública nacional, Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB), La Ley N° 928 mediante la cual se creaba la empresa reforzaba la apertura al capital privado extranjero establecida años antes en la Ley de Minería, señalando que las empresas extranjeras podían participar del “procesos posteriores de semi-industrialización, industrialización y procesamiento de residuos”.

Una vez más, se aprecia aquí la co-evolución del marco normativo y la política tecno-productiva que caracteriza al caso boliviano. En este caso, las reformas normativas estaban orientadas a dotar al gobierno de herramientas que permitieran una nueva forma de gestión, más pragmática y abierta a la participación de actores privados. En este contexto, luego de un proceso de selección y negociación con empresas internacionales, YLB eligió a la empresa alemana ACI Systems (ACISA) para crear una empresa mixta que produciría hidróxido de litio a partir de las “salmueras residuales” que resultan del proceso original aplicado por YLB (Montenegro Bravo, 2018). La negociación con la empresa alemana incluía el compromiso de crear una segunda empresa mixta cuya misión sería la producción de material catódico y celdas de baterías. El Cuadro 30 resume los puntos principales del acuerdo entre YLB y ACISA para la creación de una empresa mixta, establecido en el Decreto N° 3738.

Más allá de la discusión sobre si el Decreto viola las restricciones legales que impiden la participación de empresas extranjeras en actividades primarias¹⁰⁶, es indudable que el acuerdo modera sensiblemente el nacionalismo radical que caracterizaba a la política tecno-productiva en sus orígenes. Ello se traduce en la participación del socio extranjero en la producción de compuestos de litio por una cantidad que duplica aquella que prevé producir YLB por su cuenta. Aunque ello se verifique a partir de procesos “semi-industriales” de procesamiento de salmueras residuales y no, como destaca el gobierno, a partir de la explotación directa del salar, representa una pérdida de autonomía en relación con la producción primaria del recurso. YLB mantiene una participación mayoritaria en YLB ACISA. Sin embargo, los mecanismos de toma de decisiones de la empresa mixta otorgan poder de veto a la empresa alemana que, además, tiene la posibilidad de proponer al director financiero y al director de operaciones.

Un aspecto interesante del acuerdo es que solo 5.200 toneladas LCE (luego aumentada a 6.000 toneladas LCE)¹⁰⁷ del hidróxido de litio producido localmente por YLB ACISA sería vendido, a precios de mercado, para la producción local de material catódico y celdas de baterías (tarea que estaría a cargo por la empresa conjunta que ambas partes crearían en el futuro), Esto representa alrededor del 17% de la capacidad de producción de hidróxido de litio y del 11% de la producción total. El hidróxido de litio remanente quedaría disponible para su exportación al mercado europeo, donde la empresa mixta tiene derechos exclusivos de comercialización.

De acuerdo con las estimaciones del gobierno, la cantidad de hidróxido de litio reservada para su procesamiento en el Estado Plurinacional de Bolivia permitiría montar una fábrica de baterías de litio de aproximadamente 10 GWh, con capacidad de abastecer unos 250.000 vehículos eléctricos al año¹⁰⁸. Aun así, la porción más grande de la producción del país seguiría siendo exportada bajo la forma de compuestos de litio. Esto pone de manifiesto las limitaciones del mercado latinoamericano para traccionar un proceso de regionalización de la red de producción de BiL.

¹⁰⁶ El acuerdo entre YLB y ACI Systems despertó un debate entre el gobierno y algunas organizaciones, en particular de la región de Potosí, como el Comité Cívico Potosinista (COMCIPO). Estas sostenían que el acuerdo no era beneficioso para el país y, especialmente, para la región. En octubre de 2019, COMCIPO presentó un documento con observaciones al Decreto Supremo 3738. Un resumen de las críticas pueden encontrarse en el documento elaborado por la Fundación Solón (2019). Tres días más tarde, el Ministerio de Energías ofreció una respuesta detallada a las observaciones de COMCIPO que pueden encontrarse aquí: https://www.ylb.gob.bo/archivos/notas_archivos/aclaracionrespuestasds3738.pdf (acceso 28 de diciembre de 2020).

¹⁰⁷ Fuente: https://www.ylb.gob.bo/archivos/notas_archivos/aclaracionrespuestasds3738.pdf (acceso 28 de diciembre de 2020).

¹⁰⁸ Fuente: https://www.ylb.gob.bo/archivos/notas_archivos/aclaracionrespuestasds3738.pdf (acceso 28 de diciembre de 2020).

Cuadro 30
Principales disposiciones del Decreto N° 3738 por el cual se crea la empresa mixta YLB - ACISA

Accionistas	YLB 51% - ACI Systems 49%
Principales actividades	Producción industrial de hidróxido de litio, hidróxido de magnesio, otras sales, ácido bórico y litio metálico a partir de la salmuera residual del Salar de Uyuni y / u otras salmueras residuales puestas a disposición por YLB, para su comercialización en el mercado nacional e internacional.
Sede legal	La Paz
Duración de la empresa	70 años
Directorio y Gerencia Ejecutiva	5 directores: 3 YLB, 2 accionistas minoritarios Gerente Ejecutivo (CEO), nombrado por YLB Gerente Financiero (CFO) y Gerente de Operaciones (COO), propuestos por accionistas minoritarios
Toma de decisiones	Las resoluciones y decisiones del Directorio se adoptarán con el voto afirmativo de cuatro de cinco de los miembros del Directorio. Las resoluciones se adoptarán por mayoría de votos de al menos el 75% de la totalidad de acciones emitidas con derecho a voto.
Comercialización de los productos	La Empresa tiene derechos exclusivos de venta y comercialización dentro de Europa (excluyendo la Federación Rusa), Cualquier otra empresa estatal mixta o empresa mixta en asociación con YLB deberá respetar dichos mercados, absteniéndose de realizar actividades comerciales en cuanto a los productos ofertados por la Empresa en dichos mercados. YLB se encuentra facultada para comercializar libremente los productos de su cadena de producción en cualquier país, con excepción de los mercados que atenderá a través de la Empresa.
Propiedad y uso de la tecnología	ACISA se compromete a otorgar acceso y derechos de uso sobre su tecnología, conocimientos especializados y know-how a favor de la Empresa para el desarrollo de sus actividades y cumplimiento de su objeto social. Sin embargo, los derechos reconocidos en este artículo no confieren obligación alguna de transferencia de titularidad, cesión o asignación de derechos de propiedad intelectual (marcas, patentes, modelos de utilidad, diseños industriales y otros), los cuales son y permanecerán en todo momento bajo la titularidad y propiedad de ACISA.
Garantías	YLB garantiza: <ul style="list-style-type: none"> - El precio de la salmuera residual para la empresa será el precio de costo, que representa un precio preferencial para la misma - el suministro de al menos 1,8 millones de toneladas por año de salmuera residual. Todo eventual incremento en la producción de la salmuera residual proveniente de las piscinas existentes de evaporación será de YLB ACISA - en caso de que la cantidad mínima garantizada de salmuera residual no sea entregada, YLB dará cumplimiento a sus obligaciones por medio de las reservas almacenadas o mediante la provisión de carbonato de litio a precio de mercado <p>ACISA garantiza la producción de un mínimo de 30.000 toneladas al año de hidróxido de litio de grado batería.</p> <p>ACISA e YLB garantizan aproximadamente 5.200 t/a de carbonato de litio sea ofrecido bajo condiciones de mercado a la empresa mixta de materiales catódicos en el Estado Plurinacional de Bolivia.</p>

Fuente: Elaboración propia, sobre la base del Decreto N° 3738.

El Decreto N° 3738 que creaba a la empresa mixta YLB ACISA fue derogado por el presidente Evo Morales en noviembre de 2019, en el marco de un conflicto con el Comité Cívico Potosinista (COMCIPO), que consideraba que el acuerdo con la empresa alemana era desventajoso para el país y, en particular para la región de Potosí. Sin embargo, es difícil aislar los reclamos del clima político de aquel momento, marcado por una disputa en torno al proceso electoral a la presidencia. El presidente Luis Arce, quien asumió el poder en octubre de 2020, deberá resolver las condiciones en las cuales se retoma la implementación de la estrategia. En enero de 2021, Marcelo Gonzales Saique fue nombrado como Presidente Ejecutivo de YLB.

2. Chile

Las bases del sistema normativo que regula la explotación del litio en Chile fueron definidas entre finales de los años '70 y comienzos de los '80. Aunque, al igual que en el caso boliviano, también en este país el litio es considerado un recurso estratégico, el contexto y las motivaciones que condujeron a esta decisión son totalmente distintas. En 1976, el gobierno de facto de Augusto Pinochet declaró al litio como material de "interés nuclear", debido a su uso en la fabricación de bombas de hidrógeno. En 1979, el gobierno decidió reservar el recurso para el Estado, mientras que la competencia de autorizar la explotación de litio fue delegada en la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CChEN). Por entonces, quedaron exceptuadas aquellas pertenencias mineras que se habían constituido (o estaban en trámite de constitución) antes del 1º de enero de ese año. Ello incluía las propiedades mineras de CORFO, en el salar de Atacama, y de la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO), en los salares de Pedernales y Marincunga.

En 1982, mediante la Ley Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras (Nº 18.097), se declaró al litio como recurso no susceptible de concesión. Quedaron exceptuadas, una vez más, las concesiones otorgadas con anterioridad a la norma. El Código de Minería, promulgado al año siguiente, establece que la exploración y/o explotación de sustancias calificadas como no susceptibles de concesión minera podrán ejecutarse directamente por el Estado o por sus empresas o por medio de concesiones administrativas o de contratos especiales de operación otorgados a privados.

El carácter sumamente restrictivo del sistema normativo no impidió que Chile se convirtiera en el principal productor de compuestos de litio del mundo —posición que, como se ha visto, perdió en 2017 a manos de Australia, luego de algunos años de liderazgo alternado. La política tecno-productiva chilena se divide claramente en dos períodos. El primero de ellos se extiende hasta 2014, cuando se crea la Comisión Nacional del Litio. Durante estos años, la producción de compuestos de litio se basa en convenios entre CORFO, que es la propietaria de las concesiones en el salar de Atacama, y empresas privadas. En los convenios se establecen las pautas de explotación (por ejemplo, el volumen de extracción de salmueras), las características de los arrendamientos y los gravámenes sobre las actividades. Actualmente hay dos operaciones activas en Chile: una a cargo de la empresa estadounidense Albemarle y otra a cargo de la chilena SQM¹⁰⁹.

La Comisión Nacional del Litio, convocada por la presidenta Michelle Bachelet, fue un punto de inflexión que inició la segunda etapa en la estrategia litífera del gobierno. Entre otros objetivos, la Comisión tenía como propósito generar una "visión estratégica" que sirviera para la elaboración de una política nacional en torno al litio. En este marco, estableció lineamientos orientados a la creación de una nueva institucionalidad pública que tuviera mayores competencias para establecer modalidades de exploración y explotación, flujos máximos de extracción de salmueras y programas anuales máximos de comercialización de litio.

Aunque varias de las recomendaciones de la Comisión no fueron tomadas en consideración por el ejecutivo, el gobierno de Bachelet las tomó como referencia para renegociar los convenios con Albemarle, en 2016, y SQM, en 2018. Como resultado de este proceso, se firmaron nuevos contratos que, dentro de los límites del sistema normativo vigente, introdujeron cambios importantes en la política tecno-productiva del país con relación al litio.

El Cuadro 31 presenta las principales modificaciones introducidas en cada uno de los contratos. Con relación a los temas de interés de este documento, hay algunos aspectos que merecen ser destacados. En primer lugar, los contratos establecen un sistema de regalías escalonadas que aumentan desde un mínimo de 6,8% hasta 40%, en función del precio del producto. En segundo lugar, se establece un mecanismo mediante el cual las empresas deben reservar una cuota del 25% de su producción de compuestos de litio para su venta a precio preferencial a empresas que elaboren en territorio chileno "productos con valor agregado, entre otros cátodos de litio o componentes de éstos, componentes de baterías de litio

¹⁰⁹ Para una descripción de la evolución en la composición societaria de los beneficiarios de las concesiones en el salar de Atacama, ver Poveda (2019).

y/o sales de litio” (CORFO, 2018). En el caso, por ejemplo, de la cuota de SQM, se estableció que dicho precio sería calculado como el precio FOB (*Freight on Board*) promedio ponderado calculado sobre el 20% del volumen de menor precio del volumen exportado por SQM en los últimos seis meses, calculado mensualmente para cada una de las especificaciones técnicas, independiente del destino o volumen. En tercer lugar, se establecen mecanismos de financiamiento para la creación de institutos de investigación y desarrollo que tendrán misiones tecnológicas vinculadas a las tecnologías limpias, la economía circular y la electromovilidad. Finalmente, los nuevos contratos incluyen mecanismos de financiamiento para las comunidades que habitan en las zonas aledañas al salar de Atacama.

Cuadro 31
Comparación de las principales condiciones contractuales con SQM y Albemarle antes y luego de la renegociación

Materia	Albemarle	SQM
Extracción	La cuota de extracción subió de 200.000 a 262.132 t. La extracción de salmuera y de agua se mantuvieron iguales, en 4.421/s y 23,51/s respectivamente.	La cuota de extracción subió de 180.000 a 349.553 t. La extracción de Salmuera y de agua se mantuvieron iguales, en 15.001/s y 240,51/s respectivamente.
Plazo	Pasó de no estar definido a establecerse hasta el final de 2043.	Se mantuvo en el final de 2030.
Pago comisión	Pasó de no tener comisión, a una comisión que se ubica en un rango entre 6,8% a 40%, de acuerdo con el precio del producto.	Pasó del 5,8% a un rango de 6,8% a 40% por precio del litio, de acuerdo con el precio del producto.
Aportes para I+D	De no existir pasó a 12 millones de dólares anuales para Centros de Desarrollo Tecnológico Minero-Solar ^a .	Pasó del 0,8% del 5,8% de regalía a establecerse de 10,8 millones de dólares para el Instituto de Tecnologías Limpias de Antofagasta.
Incentivo al valor Agregado	Paso de no existir a establecerse en un 25% de la producción a precio preferente.	
Comunidades	Paso de no existir a establecerse en un 3,5% de las ventas.	Paso de no existir a establecerse de 1,7% de las ventas, repartido entre niveles de gobierno, regional y municipales; más 14 millones de dólares para inversión y fomento de desarrollo sustentable de las comunidades ^b .

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Poveda, B. R. (2020), “Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile”. *Serie Recursos Naturales y Desarrollo*, No. 195 (LC/TS.2020/40), Santiago, Chile.

^a <http://www.albemarlelitio.cl/products/socios-estrategicos>.

^b <https://www.sqm.com/en-comunidad/aporte-por-contrato-corfo/>.

En síntesis, los nuevos contratos mejoran la capacidad del Estado para capturar una porción mayor de la renta generada por la explotación del recurso mientras que, a la vez, crean mecanismos que apuntan a generar capacidades tecnológicas y productivas que permitan la generación de eslabonamientos productivos locales en torno a la actividad litífera. Dicho de otro modo, los nuevos contratos buscan generar condiciones para modificar la actual posición de Chile en las RGP vinculadas al litio, caracterizada, como se ha visto, por la provisión de compuestos de litio a países asiáticos.

Hasta el momento, sin embargo, la implementación de los mecanismos previstos con este propósito ha enfrentado dificultades. En particular, el primer proceso de licitación internacional de la cuota de compuestos de litio, correspondiente al contrato de Albemarle, fracasó. Los tres proyectos seleccionados tenían como propósito la producción de material catódico por parte de empresas originarias de China, República de Corea y Chile (Cuadro 32). Los proyectos demandarían un total de 28.496 toneladas de hidróxido de litio para la producción de 58.078 toneladas de material catódico. La cantidad de empleos creados se estimaba en 664 personas¹¹⁰.

¹¹⁰ Documento disponible [en línea]: <https://www.ocmal.org/wp-content/uploads/2019/06/Corfo.-2018.-Corfo-y-los-contratos-en-el-Salar-de-Atacama.pdf>.

Sin embargo, en octubre de 2018, la Comisión Chilena de Energía Nuclear rechazó el pedido que había realizado Albemarle para aumentar la cuota de producción de litio en base al uso de una nueva tecnología. La Comisión argumentó que la empresa no había aportado suficiente información para justificar de qué modo la nueva tecnología que la empresa había desarrollado contribuiría al aumento de eficiencia anunciado. Esto dio lugar a un conflicto entre CORFO y Albemarle que conllevó a una renegociación del precio preferencial al que las empresas seleccionadas podrían comprar la cuota de litio. La nueva propuesta no resultó atractiva para los beneficiarios y, finalmente, los tres abandonaron sus proyectos.

En enero de 2020, se inició la licitación de la cuota correspondiente al contrato de SQM. En junio fue seleccionada la empresa chilena Nanotec con un proyecto destinado a la fabricación de nanopartículas de litio y aditivos de nanopartículas de litio, utilizados como insumo para la fabricación de baterías de litio. La empresa, que tiene un plazo de dos años para iniciar la producción, tiene derecho a utilizar el 10% de los recursos destinados al Instituto de Tecnologías Limpias, que estará ubicado en Antofagasta.

Cuadro 32
Proyectos seleccionados para industrializar la cuota de litio de Albemarle

Empresa	Proyecto	Inversión
Sichuan Fulin Industrial Group Co (China)	Producción de 20.000 toneladas al año de material catódico	US\$ 100 millones en planta y equipamiento
Samsung SDI y Posco (República de Corea)	Producción de 19.000 toneladas al año de material catódico	US\$ 285 millones en planta y equipamiento
Molybmet (Chile)	Producción de 19.000 toneladas al año de material catódico	US\$ 360 millones en planta y equipamiento

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Grágeda, M. (2020), "El litio y la transición energética en Chile". Presentación en el Seminario Internacional ABC del Litio Sudamericano, 8-9 de octubre, Buenos Aires, Argentina.

Los centros de I+D contemplados en los contratos también han sido creados mediante un proceso de licitación internacional. En el caso del Centro Tecnológico para la Innovación en Economía Circular, financiado con fondos provenientes del contrato con Albemarle, se adjudicó en octubre de 2019 a un consorcio liderado por el Centro de Innovación para la Economía Circular de Iquique (CIEC). La iniciativa contará con un financiamiento de US\$ 21,5 millones por un período de 10 años, con aportes proveniente del contrato referido, el gobierno regional, el sector privado, universidades y centros de estudio. El centro estará instalado en Tarapacá, en la Macrozona Norte del país¹¹¹.

Además del CIEC, el consorcio está integrado la Universidad Arturo Prat, la Universidad Antofagasta, la Universidad de Atacama, la Universidad Católica del Norte, la Universidad de Chile, la Universidad de Santiago, la Universidad de Tarapacá, la Pontificia Universidad Católica, HUB APTA y KNOW HUB. Además, cuenta con 21 instituciones que participan en calidad de asociados.

El objetivo del centro es crear una institucionalidad que facilite la innovación y el escalamiento comercial de empresas y emprendimiento orientados a la economía circular. En particular, el foco de las acciones estará vinculado con la energía solar, las sales de litio, las baterías de litio y el almacenamiento de energía, la minería metálica y no metálica.

La segunda iniciativa vinculada al contrato con Albemarle corresponde al Centro para la Electromovilidad. En diciembre de 2020, CORFO otorgó el proyecto a un consorcio liderado por la Universidad de Chile. La propuesta del consorcio ganador se titula "Centro de Aceleración Sostenible de Electromovilidad" (CASE) y cuenta con otros seis participantes: la Agencia de Sostenibilidad Energética, el Centro Mariano Molina, la Universidad de Santiago, la Universidad Tecnológica Metropolitana, la Universidad Austral de Chile y Ernst & Young.

¹¹¹ Véanse más detalles [en línea]: https://www.corfo.cl/sites/Satellite?c=C_NoticiaNacional&cid=1476724690596&d=Touch&pagina me=CorfoPortalPublico%2FC_NoticiaNacional%2FCorfoDetalleNoticiaNacionalWeb.

El centro recibirá un financiamiento de hasta US\$ 7 millones por parte de CORFO. Asimismo, contará con el apoyo de los ministerios de Energía y de Transportes y Telecomunicaciones. El propósito principal de la iniciativa es la creación y escalamiento de proveedores tecnológicos y usuarios de servicios vinculados a la electromovilidad. Se ofrece como un centro de coordinación de los actores relacionados con el desarrollo de estas tecnologías en el país, que promueva el desarrollo de soluciones limpias para el transporte público, privado y de carga. También tiene como objetivos aumentar los sistemas de distribución de carga eléctrica; la autogeneración de energía eléctrica más sustentable; el desarrollo de capacidades técnicas y profesionales y contribuir al incremento de la demanda nacional de desarrollos tecnológicos que utilizan cobre y litio¹¹².

En el caso del Instituto de Tecnologías Limpias, creado en relación con el contrato con SQM, el aporte del Estado alcanza hasta US\$ 193 millones por un plazo de 10 años. El centro deberá tener tres áreas principales de trabajo: i) materiales avanzados basados en litio y otros minerales estratégicos, para avanzar en la cadena de valor de la electromovilidad; ii) tecnologías de producción y almacenamiento de energía solar bajo distintas formas, como eléctrica, térmica e incluso combustibles solares tales como el hidrógeno; iii) tecnologías y procesos mineros de baja emisión. En términos de los resultados esperados, se fijaron metas vinculadas al desarrollo de recursos humanos, capacidades tecnológicas, así como también productivas con el propósito de convertir al país en una referencia en el área de tecnologías limpias (Cuadro 33).

Cuadro 33
Metas del Instituto de Tecnologías Limpias

Poner en marcha una dinámica de I+D industrial	Desarrollar, adoptar y transferir, antes del año 2030, tecnologías más sustentables y bajas en emisiones para la industria de la electromovilidad y el crecimiento verde.
Desarrollar capacidades de proveer servicios tecnológicos	Desarrollar nuevos materiales e innovaciones que agreguen valor al litio, sales y otros materiales de la cadena de suministro de la electromovilidad y el crecimiento verde. Desarrollar tecnologías de energía solar fotovoltaica y de concentración adaptadas a climas desérticos extremos a costo competitivo, con participación de empresas locales en la cadena de valor.
Aumentar el capital humano especializado	Formación de al menos 100 profesionales altamente calificados.
Fomentar el emprendimiento tecnológico	Apoyar al menos 100 iniciativas de negocio y/o startups relacionadas con los ámbitos de acción del Instituto y la creación de un ecosistema de innovación y emprendimiento que genere un poco de atracción de valor para el país.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Grágeda, M. (2020), "El litio y la transición energética en Chile". Presentación en el Seminario Internacional ABC del Litio Sudamericano, 8-9 de octubre, Buenos Aires, Argentina.

En enero de 2021, CORFO anunció que la licitación había sido ganada por el consorcio Associated Universities. Entre los postulantes se encontraba un consorcio encabezado por Corporación Alta Ley e integrado por un amplio número de universidades chilenas, otro por la Fundación Chile y otro por la Planta fotovoltaica Vallenar¹¹³. Esto generó un gran rechazo por grupos locales, especialmente pertenecientes al sistema de ciencia, tecnología e innovación chileno. Entre los principales motivos, se encuentra el hecho de que la organización está conformada principalmente por instituciones internacionales, mientras que las universidades chilenas que la integran son de gestión privada. Asimismo, si bien la organización Associated Universities está integrada por nueve universidades estadounidenses (entre las que se encuentran Yale, Oxford, Harvard, Princeton y el MIT) solo dos tendrían participación en el proyecto (Universidad de Utah y la Escuela de Minas de Colorado) (Vivaldi, 2021). Un grupo de senadores chileno solicitó tratar el tema en una sesión especial y presentó ante la Contraloría una causa señalando la existencia de irregularidades en el proceso de licitación¹¹⁴.

¹¹² Véase más información [en línea]: https://www.corfo.cl/sites/cpp/sala_de_prensa/nacional/17_12_2020_corfo_adjudica_primer_centro_electromovilidad_.

¹¹³ Véase más información en: https://www.corfo.cl/sites/cpp/sala_de_prensa/nacional/01_04_2020_corfo_recibe_cuatro_postulaciones_para_desarrollar;jsessionid=XUJQZlmcDw28hxILXwraMNNaB42fH9_HRe78fHSQauqy8BPXRjgy!1260001915!-212410839.

¹¹⁴ Véanse más detalles [en línea] <https://www.elmostrador.cl/dia/2021/01/23/senadores-denuncian-irregularidades-en-licitacion-de-corfo-del-instituto-de-tecnologias-limpias/>.

Las empresas públicas CODELCO y ENAMI también cuentan con tenencias de litio, la primera en los salares Pedernales y Maricunga y la segunda en Infielos y Aguilar. A partir de la evolución del mercado y de las recomendaciones de la Comisión Nacional del Litio, ambas empresas manifestaron su interés por iniciar la búsqueda de socios estratégicos con quienes llevar adelante la explotación. En ambos casos, se trata de actores especializados en la minería cuprífera, que no tienen capacidad para desarrollar una explotación autónoma de sus tenencias litíferas.

En noviembre de 2018, CODELCO anunció el inicio de actividades exploratorias en el salar de Maricunga, dotadas con un presupuesto de US\$ 57 mn (Poveda, 2020). En noviembre de 2020, la Comisión de Evaluación Ambiental de Atacama aprobó el proyecto para llevar adelante la campaña de exploración. La misma comenzaría en 2021 y se extendería por un plazo de 10 meses. En base a los resultados obtenidos, en particular con referencia a la concentración de litio, se evaluará la factibilidad económica y ambiental del proyecto de explotación.

En lo que respecta a ENAMI, la empresa optó desde el comienzo por una estrategia basada en la asociación con empresas extranjeras. En marzo de 2018, concretó la firma de una alianza estratégica con la compañía *junior* canadiense Wealth Minerals. En septiembre de 2020, ENAMI anunció un proceso de licitación pública para la prospección hidrogeológica de sus salares. En noviembre de 2020, ambas partes acordaron darse un plazo de 24 meses en el que estudiarán y evaluarán las tenencias en manos de la empresa estatal. Dentro de ese plazo, podrán constituir una empresa conjunta en la que ENAMI tendría una posición del 10%.

3. Argentina

El sistema normativo argentino para la regulación de las actividades vinculadas a la exploración, explotación, producción y comercialización de compuestos de litio presenta rasgos particulares que lo distinguen de aquellos vigentes en sus países vecinos. Ello tiene implicancias importantes en términos de la capacidad de los gobiernos nacional y sub-nacionales para articular una política tecno-productiva que promueva el desarrollo de capacidades locales relacionadas al litio. El núcleo del sistema normativo se asienta sobre tres normas promulgadas durante los años noventa: el artículo 124 de la Constitución Nacional, el Código de Minería, y la Ley N° 24.196 de Inversiones Mineras (Cuadro 34).

La primera característica distintiva de Argentina es que la explotación de litio no cuenta con un sistema normativo específico, sino que está regulada por el conjunto de normas aplicadas a la actividad minera en general. La formulación de este marco se ajustaba a las recomendaciones de organizaciones internacionales, en particular el Banco Mundial, durante el proceso de reformas estructurales implementado durante la década de 1990, que ha dado lugar a lo que Bastida y otros (2005) han denominado "modelo latinoamericano de ley minera".

El segundo rasgo que distingue al sistema normativo argentino es su carácter federal. Esto contrasta fuertemente con el centralismo que ha caracterizado las estrategias litíferas en Chile y en el Estado Plurinacional de Bolivia. Desde la reforma constitucional de 1994, el dominio originario de los recursos naturales en Argentina pertenece a las provincias. Esta medida se encuadra en un proceso de descentralización de competencias en favor de las provincias, que por entonces involucró a muchas otras áreas que hasta entonces se encontraban bajo el control del gobierno central (por ejemplo, salud y educación).

El tercer rasgo distintivo es la apertura del sistema argentino a la inversión privada en actividades de exploración y explotación de recursos mineros que, como se ha discutido, está muy restringida en Chile y en el Estado Plurinacional de Bolivia. En el Código de Minería de la Argentina, promulgado en 1886 y reformado en 1997, se establecen los derechos soberanos y jurisdiccionales. La norma diferencia la propiedad superficial de la propiedad del subsuelo. Esta última corresponde al descubridor, quien puede explotar los recursos previo otorgamiento de una concesión por parte de la autoridad estatal competente. Para disponer de la propiedad del subsuelo el particular debe abonar un canon minero, invertir un capital mínimo y llevar adelante la explotación. Esta apertura explica que en Argentina haya más de 58 proyectos de litio en distintas etapas de desarrollo que van desde la construcción hasta las etapas iniciales de prospección (Secretaría de Minería, 2020).

Cuadro 34
Pilares del sistema normativo minero argentino

Principio	Norma	Año	Descripción
Estabilidad fiscal e incentivos tributarios	Ley de Inversiones Mineras	1993	Las empresas mineras cuentan con estabilidad fiscal por un período de 30 años desde la presentación del estudio de factibilidad del proyecto. La legislación permite deducir del impuesto a las ganancias los gastos realizados en actividades de prospección, exploración y factibilidad. Se incluyen otros beneficios impositivos. El límite de regalías permitido a las provincias es del 3%.
Federalismo	Constitución Nacional (artículo 124)	1994	Las provincias tienen el dominio originario de los recursos naturales que se encuentran en su territorio. Los gobiernos provinciales tienen competencias para establecer sus propias reglas para regular la actividad extractiva.
Explotación privada de los recursos mineros	Código de Minería	1997 (reforma)	Las provincias tienen el poder de otorgar derechos para la exploración y explotación de los recursos naturales. Los individuos y las empresas privadas pueden llevar adelante tareas de exploración y explotación con la debida autorización del gobierno provincial abonando un canon y realizando una inversión mínima. Las empresas estatales y otros tipos de organizaciones públicas pueden llevar adelante tareas de prospección y crear áreas especiales para realizar tareas de exploración y explotación de recursos naturales.

Fuente: Elaboración propia.

Las características del marco normativo argentino dificultan la articulación de una política tecno-productiva a nivel nacional con instrumentos de intervención capaces de favorecer la creación de capacidades tecnológicas y productivas en torno a la actividad litífera. Es posible identificar dos grandes visiones en torno al recurso que ponen en evidencia una fragmentación entre distintos niveles de gobierno, así como también al interior de cada uno de ellos. Una de las visiones, que podría ser denominada como "extractivista", tiene como prioridad fomentar las actividades de exploración, extracción y procesamiento del recurso. Esta perspectiva, alineada con el espíritu liberal del sistema normativo, considera que los beneficios de la actividad litífera se canalizarán a partir del aumento en la recaudación impositiva, la generación de divisas gracias a la exportación de los compuestos de litio, y la creación de empleo directo e indirecto vinculado a la mayor actividad, en especial en las zonas de explotación. El núcleo promotor de la visión extractivista está conformado por los gobiernos provinciales de Salta y Catamarca, el área de minería del actual Ministerio de Desarrollo Productivo y el conjunto de empresas que explotan o han decidido invertir en los salares ricos en litio.

Por otra parte, se identifica una segunda visión, que se podría denominar "industrialista", que propone una visión más integral en lo que respecta al desarrollo de actividades vinculadas al litio. La atracción de inversiones se complementa con acciones orientadas a fomentar el desarrollo de capacidades tecnológicas y productivas en torno a actividades que utilicen al litio como insumo, principalmente para la producción de baterías. Esta visión ha sido impulsada de manera intermitente por parte del actual Ministerio de Desarrollo Productivo (y sus antecesores) y, desde 2011, principalmente por parte de la provincia de Jujuy (López y otros, 2019).

Aquel año, el gobierno de esta provincia dictó el Decreto-Acuerdo N° 7.592 (luego aprobado por la Ley N° 5.674) que "declara las reservas minerales que contengan litio como recurso mineral estratégico de la Provincia de Jujuy". Ese mismo año, mediante el Decreto-Acuerdo N° 7.626, el Gobierno de Jujuy decretó la "constitución de una Sociedad del Estado bajo la denominación Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (JEMSE) que tendrá por objeto llevar a cabo por sí, por intermedio de terceros o asociada a terceros [...]", tareas de generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica, hidrocarburos

—líquidos y/o gaseosos— y/o realizar actividades de comercio vinculadas como bienes energéticos, y desarrollar cualquiera de las actividades previstas en su objeto, tanto en el país como en el extranjero.

A través de JEMSE, el Estado jujeño negoció una participación accionaria de 8,5% en Sales de Jujuy, que le otorga derecho a tener la prioridad de venta sobre una cuota del 5% del carbonato de litio producido por la empresa. De acuerdo con la capacidad de producción declarada por la empresa ello representaría un máximo de 875 t por año), Mediante este recurso, JEMSE ha intentado negociar con empresas privadas la localización de actividades productivas en territorio jujeño para industrializar el carbonato de litio producido en la provincia. Por ejemplo, creó en 2017 un *joint venture* con el grupo italiano SERI, denominado Jujuy Litio, donde JEMSE tiene una participación mayoritaria del 60%. Este emprendimiento tiene como misión la construcción de una planta de ensamblado de baterías de ion-litio y planes futuros para la fabricación de material activo y celdas (López y otros, 2019). Sin embargo, el proyecto no ha avanzado en el último año. Más recientemente, en octubre de 2020, se anunció un acuerdo entre JEMSE y la Universidad Nacional de la Plata para el desarrollo y la transferencia de tecnología e ingeniería para la reconversión y el posterior mantenimiento de microbuses de transporte de pasajeros de la provincia de Jujuy con motorización diésel eléctrico a batería. Esto supone la reconversión de unas 100 unidades.

El volumen de la cuota que tiene a disposición JEMSE para llevar adelante sus iniciativas de industrialización es muy pequeño y, por lo tanto, resulta poco atractiva para los inversores. Si se toma en consideración la producción promedio de Sales de Jujuy durante los últimos años, ascendería a unas 600 toneladas anuales de carbonato de litio, un volumen muy inferior a las cerca de 24.000 toneladas LCE anuales que surgen de los contratos con Albemarle y SQM en Chile, o de las 6.000 toneladas de hidróxido de litio que estarían a disposición de la empresa conjunta que crearían YLB y ACISA en el Estado Plurinacional de Bolivia. Además, mientras que la cuota de litio en aquel país se vendería a precio preferencial a quienes la procesen en el país, en el caso jujeño la venta se realiza a precios de mercado. Ello explica que en el caso argentino solo hayan mostrado interés actores marginales y con poca trayectoria dentro de las RGP de baterías de ion litio.

Los actores del sistema de ciencia, tecnología e innovación, principalmente investigadores del CONICET, de las universidades nacionales y de la CNEA, se han mostrado cercanos a la visión industrialista. A partir de una amplia variedad de proyectos de investigación han desarrollado capacidades tecnológicas en temas vinculados al litio y sus diversos usos. El CONICET, junto a la Universidad Nacional de Jujuy y al gobierno de dicha provincia, crearon en 2015 el Centro de Investigación y Desarrollo en Materiales Avanzados y Almacenamiento de Energía de Jujuy (CIDMEJU) —comúnmente conocido como "Instituto del Litio". Entre sus actividades se pueden identificar proyectos de investigación que abarcan tanto las etapas de extracción y procesamiento, como el desarrollo de subproductos, y la I+D en baterías y sus componentes (Obaya y otros, 2020). Estos proyectos se han mantenido, por lo general, en la esfera del sistema público de investigación y desarrollo, con una vinculación muy limitada con el sector privado. Los motivos de esta desconexión son múltiples. Entre ellos se encuentra los escasos incentivos y el débil apoyo que tiene la comunidad científica para vincularse con el sector privado. Asimismo, en algunos casos, los proyectos de I+D responden a incentivos que son propios de los investigadores pero que no forman parte de la agenda de investigación de las empresas de litio que operan en el país (por ejemplo, en temas vinculados con el uso del agua),

Aunque no representan visiones excluyentes, las estrategias basadas en las perspectivas extractivista e industrialista han estado sujetas a tensiones debido a los instrumentos de política pública que cada uno de los grupos ha propuesto. El núcleo promotor extractivista, que comprende agentes del sector público y el sector privado, ha priorizado la reducción de costos asociados a la inversión y explotación de los salares para aumentar el volumen de producción. Los actores del sector industrialista han considerado que, aun cuando ciertas medidas de promoción pueden suponer un costo para las empresas operadoras que podría afectar la inversión, el impacto de un aumento de capacidades compensaría este efecto negativo. Este ha sido el caso, por ejemplo, de la cuota de JEMSE en tanto socio de la operación Sales de Jujuy.

Esta tensión podría relajarse mediante el uso de ciertos instrumentos de política pública que eviten cargar costos directos sobre la operación minera, logrando reducir, al mismo tiempo, el costo de desarrollo

de actividades locales de procesamiento de litio. Entre estos se encuentran, por ejemplo, el subsidio o la desgravación impositiva de actividades en segmentos intermedios o aguas abajo, la implementación de programas de compras públicas, o mecanismos de asociación público-privado. Sin embargo, por el momento, los esfuerzos en esta dirección son débiles en el país.

4. El triángulo del litio en perspectiva comparada

Como se ha visto a lo largo de esta sección, aunque los tres países del triángulo del litio se han propuesto avanzar en el desarrollo de capacidades locales relacionadas al recurso, cada uno de ellos lo ha hecho mediante políticas tecno-productivas muy disímiles. La naturaleza de cada una de estas estrategias está estrechamente vinculada con los sistemas normativos que regulan la exploración, explotación y uso del recurso en los países de la región (Cuadro 35). Cada uno de estos sistemas ofrece distintas posibilidades para los gobiernos de la región en tanto que establecen distintos niveles de control sobre el recurso, distribuyen competencias entre los distintos niveles de gobiernos, así como derechos de explotación entre actores públicos y privados.

Las características de los sistemas normativos tienen influencia también sobre los actores que operan en otros segmentos de las RGP, toda vez que condicionan las modalidades de acceso a uno de los recursos críticos para su funcionamiento. En el caso del Estado Plurinacional de Bolivia, por ejemplo, la única forma de acceder a la explotación de los salares es mediante la asociación con la empresa estatal YLB, mientras que en Argentina el acceso es mucho más abierto, ya que se pueden comprar las licencias de explotación a las empresas favorecidas con las tenencias o asociarse con ellas. Del mismo modo, la disposición de los compuestos producidos es distinta en cada caso: muy restrictiva en el caso boliviano, sujeto a una cuota en el caso chileno y totalmente libre en el caso argentino.

Cuadro 35
Comparación de los sistemas normativos que regulan la actividad litífera en Argentina, Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia

Dimensión	Argentina	Chile	Estado Plurinacional de Bolivia
Normativa específica para el litio o general para la minería	General (con legislación específica a nivel provincial)	Específica	Específica
Régimen de gobernanza de litio centralizado o federal	Federal	Centralizado	Centralizado
Cobertura de la normativa	Restringida a explotación del recurso	Explotación del recurso Reserva de cuota a precio preferencial para proyectos de industrialización del recurso	Explotación e industrialización del recurso
Modalidades de explotación al recurso	Concesión a empresas privadas Jujuy: participación accionaria de empresa del estado provincial	Convenio entre CORFO y privados Posibilidades habilitadas que no están vigentes: explotación estatal; contrato especial de operación del litio	Empresa pública en asociación con empresas extranjeras
Gravámenes	Estabilidad fiscal y deducciones impositivas Regalías provinciales (máximo 3%)	Regalías progresivas 6,8% a 40%, de acuerdo con el nivel de precios del recurso	Regalías 3%
Disposición del producto	Libre para las empresas operadoras	Libre para empresas operadoras con reserva de cuota del 25% a precio preferencial para industrialización local	Libre para YLB sobre carbonato de litio y acuerdo de comercialización para hidróxido de litio producido en asociación con empresa extranjera

Fuente: Elaboración propia.

Las normas que constituyen cada sistema normativo tienen distintas jerarquías. Algunas de ellas tienen rango constitucional, como es el caso del artículo constitucional que establece la naturaleza federal del sistema argentino o de la Ley Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras chilena donde se declaró al litio como no susceptible de concesión. La modificación de estas reglas requiere consensos amplios, lo que las vuelve rígidas en el corto plazo.

Otras normas, en cambio, son el resultado de decisiones de menor jerarquía, adoptadas específicamente para promover una estrategia de desarrollo tecno-productivo en relación con el litio, dentro de los márgenes permitidos por la normativa de mayor jerarquía. Aquí se enmarcan, por ejemplo, la negociación de nuevos contratos con las empresas que explotan el salar de Atacama en Chile, la declaración del litio como recurso estratégico en la provincia de Jujuy, o la asociación con empresas extranjeras en la producción de compuestos de litio en el Estado Plurinacional de Bolivia.

El caso del Estado Plurinacional de Bolivia es particularmente interesante, en la medida en que la definición de los componentes estructurales de la gobernanza de los recursos naturales se dio en simultáneo con el desarrollo de una política tecno-productiva para el litio. En principio, esto ha permitido la incorporación de elementos que son funcionales al desarrollo de dicha política —que, sin embargo, como se ha visto, tuvo que ser ajustada con el correr de los años debido, entre otros factores, a explotar el salar de Uyuni de manera eficiente con una tecnología propia (Obaya, 2019). En el futuro cercano, la redacción de una nueva Constitución en Chile podría dar lugar a un proceso similar, puesto que el proceso constituyente incluirá la revisión de las normas que regulan la explotación de los recursos naturales.

Los sistemas normativos argentino y boliviano se ubican en extremos opuestos. El primero se caracteriza como un régimen de naturaleza liberal, que privilegia la estabilidad fiscal, el otorgamiento de beneficios impositivos y regulaciones laxas en términos de requisitos de desempeño o vinculación con el sistema productivo local. Las provincias tienen una gran cuota de poder gracias a la distribución de competencias establecido en la Constitución. El segundo, en cambio, asume un enfoque nacionalista, donde el control del recurso está en manos del gobierno central. La visión boliviana se asocia con una política tecno-productiva que aspira a que la creación y captura de valor relacionadas con el recurso se preserven en mayor medida dentro del territorio nacional.

El caso de Chile combina elementos de ambos sistemas. Tal como en el Estado Plurinacional de Bolivia (aunque por motivos distintos), el litio tiene una naturaleza estratégica que impone restricciones sobre la posibilidad de otorgar concesiones. Sin embargo, a diferencia de aquel país, las concesiones ya otorgadas fueron explotadas por actores privados a partir de contratos con condiciones muy laxas. Aunque no modificó las bases estructurales del sistema normativo, la renegociación de los contratos entre 2016 y 2018, introdujo cambios importantes que habilitaron el desarrollo de una nueva política tecno-productiva, mejorando la capacidad de captura de renta por parte del Estado central, así como los instrumentos para el desarrollo de capacidades locales.

C. La minería del litio y el territorio: medioambiente y comunidades

Durante las últimas dos décadas y, especialmente, desde 2010, el fuerte aumento de la demanda de recursos utilizados como insumos en la producción de baterías de ion de litio ha generado incentivos para intensificar el desarrollo de actividades extractivas, entre ellas, la minería del litio en Sudamérica. Esto ha puesto de manifiesto una creciente tensión entre dos procesos: por un lado, la transición global hacia una economía con reducida generación de carbono, apoyada en compromisos asumidos principalmente por países de altos ingresos para dar respuesta al calentamiento global, y por el otro, una mayor presión sobre los territorios dotados con aquellos recursos que son necesarios para avanzar en dicha transición, como es el caso del litio.

Aun cuando los efectos agregados sobre el medio ambiente de una caída en la generación de carbono son positivos, los costos medioambientales y sociales asociados a dicho proceso de transición, concentrados en espacios geográficos delimitados, requieren ser atendidos. En el caso del triángulo del

litio, estos costos son sufridos especialmente por las comunidades indígenas y campesinas que habitan en las regiones circundantes a los salares (Jerez y otros, 2021).

El eje central en torno al cual se han articulado las principales preocupaciones y demandas sobre los costos de la explotación del litio ha sido el tema del agua. Este recurso ocupa un lugar central, por su influencia sobre el medio y la vida vegetal y animal asociada. Las principales demandas en torno a estas discusiones provienen de las comunidades indígenas y campesinas, así como de organizaciones no gubernamentales (Marchegiani, 2021). En el informe de evaluación global elaborado por la Plataforma Intergubernamental de Ciencia y Política sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas de Naciones Unidas (IPBES), los humedales han sido señalados como uno de los ecosistemas más sensibles (Díaz y otros, 2019). La economía de las comunidades se ha basado tradicionalmente en actividades agrícolas y ganaderas en pequeña escala, cuyas características varían de acuerdo con el contexto socioambiental de cada región, así como en las tradiciones y saberes ancestrales.

La minería del litio, denominada comúnmente “minería del agua”, bombea agua de los salares (no apta para consumo humano o actividades agrícolas o ganaderas) hacia pozas de evaporación para la concentración de litio. Mediante este proceso, los salares interactúan con acuíferos de agua dulce que los alimentan desde las partes más altas de la cuenca y con lagunas originadas en aguas subterráneas que emergen a la superficie. Éstas son el hábitat de una rica flora y fauna, además de una fuente de agua para las actividades desarrolladas por las comunidades que allí habitan (Burdiles, 2021). Las comunidades y ONG denuncian que la minería del litio podría causar la salinización de aguas dulces, así como una potencial sequía de recursos hídricos superficiales que son escasos en la zona que son necesarias para sus actividades (López y Vargas, 2021).

En consecuencia, en un entorno extremadamente árido, como el del triángulo del litio, el agua superficial y subterránea de los salares y humedales se ha convertido en un recurso en disputa entre las empresas que desarrollan sus actividades mineras y las comunidades que habitan en las zonas aledañas a los salares (López y Vargas, 2021). Sin embargo, a pesar de la reconocida fragilidad de los ecosistemas como los de los salares y de su importancia sobre la sustentabilidad de la vida comunitaria, en ninguno de los países se han realizado estudios que permitan evaluar de manera integral el impacto de la minería del litio sobre el balance hidrogeológico de las cuencas (Flexer y otros, 2018). Los estudios disponibles han sido realizados, por lo general, por las empresas que operan en la región, en cumplimiento con la normativa vigente en cada caso. Los gobiernos no disponen de información suficiente, ni tampoco existen líneas de base adecuadas para realizar evaluaciones de impacto (Mignaqui, 2020). La comunidad académica, por su parte, no solo no tiene una comprensión clara sobre esta cuestión (Blair, 2021) sino que encuentra dificultades para llevar adelante sus investigaciones como consecuencia de la negativa de las empresas para realizar trabajo de campo en los salares que controlan (López y otros, 2019).

En 2010, entre las principales conclusiones de la Reunión del Grupo de Expertos Senior sobre el Desarrollo Sostenible del Litio en América Latina se destacó la necesidad de realizar estudios de impacto medioambiental, así como el monitoreo de los ecosistemas de los salares y las áreas adjuntas (Mignaqui, 2020). Años más tarde, La Comisión Nacional del Litio en Chile señaló la necesidad de disponer de un marco normativo y de un presupuesto que permita llevar adelante estudios de este tipo (Comisión Nacional del Litio, 2015).

En Argentina, en octubre de 2020, JEMSE firmó un convenio con la Universidad Nacional de Jujuy para llevar a cabo una caracterización hidrogeológica de la cuenca de Salinas Grandes - Guayatayoc. Provincia de Jujuy. El proyecto, que surgió como una iniciativa del Instituto de Geología y Minería de la Universidad Nacional de Jujuy, “llevará a cabo una recopilación y análisis de antecedentes bibliográficos con generación de base de datos, estudios hidrogeológicos subterráneos y geomorfológicos, estudios hidrometeorológicos e hidrológico superficial, estudios hidroquímicos, actividades de extensión para las comunidades e informes de avances como así también un informe final”¹¹⁵. Las comunidades de la región

¹¹⁵ Véanse más detalles [en línea] <https://noticias.unju.edu.ar/noticia.php?id=3501>.

de Salinas Grandes, que no participaron de la elaboración de los términos de referencia del convenio, solicitaron información sobre el convenio, expresando preocupación sobre el alcance, los fines y objetivos del estudio, así como sobre la propiedad y uso de la información y datos producidos.

Debajo se describirán algunos procesos de resistencia y confrontación entre las comunidades, los actores estatales y las empresas en torno a la minería del litio¹¹⁶. Como se verá, los alcances, las modalidades de articulación entre estos agentes, así como las dinámicas que se observan en cada caso difieren. Hay varios factores que contribuyen a explicar estas diferencias: las características propias de los territorios (por ejemplo, la composición química de los salares o las condiciones climatológicas), la velocidad de radicación de empresas, las estrategias utilizadas para la obtención de las licencias sociales y las relaciones diferenciales de las comunidades con el salar, sus usos y prácticas productivas. Los procesos de organización en estas últimas son importantes para explicar las distintas experiencias nacionales, así como también entre distintas áreas geográficas al interior del mismo país, como muestran los casos de la cuenca de Olaroz y Cauchari, por un lado, y los territorios de Salinas Grandes y Laguna de Guayatayoc, por el otro, en el caso de Argentina (Argento y Puente, 2021).

1. Estado Plurinacional de Bolivia

En términos generales, las comunidades indígenas y campesinas que habitan en territorios aledaños al salar de Uyuni han apoyado (o, al menos, no han rechazado activamente) la estrategia diseñada por el gobierno boliviano. Como se ha visto, la FRUTCAS ha sido, de hecho, la organización que presentó el proyecto original durante el primer gobierno de Morales. Esta organización, junto a sus aliados, han formado junto al gobierno lo que Olivera (2017) denomina el eje articulador de la estrategia de industrialización del litio en Bolivia. El apoyo de estos grupos resulta importante, toda vez que habían formado parte de la coalición que rechazó el contrato que se firmó con la empresa Lithco (actual Livent) a comienzos de los años '90 (Daza, 2017).

Desde los inicios del proyecto, los vínculos entre el gobierno y las comunidades se han manejado de un modo verticalista. La Ley de Minería y Metalurgia N° 535 en su artículo 207, establece que la consulta previa a las comunidades se realizará sólo para las solicitudes de nuevos contratos mineros en áreas libres que se presenten a partir de la publicación de la mencionada Ley. Por lo tanto, los mecanismos públicos de consulta previa no han sido los canales privilegiados por el gobierno para vincularse con las comunidades (Revette, 2017).

Argento (2018) señala que se utilizaron distintos tipos de mecanismos que contribuyeron a reforzar la alianza entre el gobierno central y FRUTCAS, entre los que se encuentra la titulación sobre tierras comunitarias que estaban en disputa con una provincia de la región. Además de las implicancias directas en términos de la distribución de las tierras, la decisión consagró a FRUTCAS como "canal único para demandar su derecho a la Consulta Previa Libre e Informada" (Argento, 2018, p. 236). Durante la fase inicial de la Estrategia, el representante de relaciones comunitarias de la GNRE jugó un papel muy importante para fomentar la coalición entre el proyecto y las comunidades del territorio a través de actividades de "sensibilización" que consistían, por ejemplo, en plenarios, reuniones abiertas y visitas a la planta (Argento, 2018). Otros mecanismos para favorecer el apoyo de las comunidades han incluido la generación de encadenamientos productivos con cooperativas comunitarias que operaban en la zona (Fornillo, 2017; Argento, 2018). También ha sido importante el empleo de miembros de las comunidades en las plantas piloto e industrial de carbonato de litio y potasio. Se desarrollaron para ello procesos de reclutamiento y capacitación entre estudiantes de escuelas secundarias de la región que permitieron que la representación de estos trabajadores en el empleo total de la planta alcance alrededor del 70% (Obaya, 2019).

¹¹⁶ En esta sección se presentan algunos hitos en el proceso de reclamos de las comunidades y su articulación con los actores estatales y las empresas que operan en la región. Para un análisis más profundo, se recomienda Jerez (2018); Jerez y otros (2021), Puente y Argento (2015); Argento (2018); Argento y Puente (2019).

A pesar de la relativa calma de las comunidades en torno a los proyectos, Campanini (2021) señala que, desde el punto de vista ambiental, los estudios de impacto de las plantas industriales que están en proceso de construcción en el Estado Plurinacional de Bolivia “adolecen de vacíos y criterios que pueden afectar ecológicamente el salar, incluyendo riesgos para el mismo proceso de explotación”. Uno de los factores de riesgo es que el uso de agua de proceso podría poner en riesgo actividades de agricultura y ganadería desarrolladas por las comunidades en las áreas que rodean el salar (quinua y camélidos). Tal como ocurre en los otros países de la región, no hay disponible información pública que permita evaluar el impacto de la actividad extractiva balance hidrogeológico de la cuenca del Río Grande de Lipez, desde donde obtiene agua para los procesos industriales (Olivera, 2017). La comunidad de Río Grande ha expresado sus reclamos frente a la falta de información sobre el proyecto. También ha expresado su intención de tener un mayor grado de participación en la toma de decisiones, puesto que las plantas de producción se encuentran dentro de jurisdicción de la comunidad.

2. Chile

Antes de la renegociación de los contratos con Albemarle y SQM, la participación del Estado central en la relación entre las empresas y las comunidades era limitado. El vínculo entre las partes era de carácter bilateral, ya sea con individuos o pequeños grupos organizados. La misma se materializaba a través de transferencias económicas compensatorias que tenían lugar en el marco de los programas de responsabilidad social empresarial. En algunos casos, las transferencias financiaban proyectos productivos para la producción de alimentos —como el de “vinos de altura”, por parte de SQM en Toconao— o para la construcción de viviendas para arrendamiento (Argento y Puentes, 2019).

La renegociación de los contratos procuró cambiar este tipo de relacionamiento, orientándose hacia la adopción de un enfoque de valor compartido a instancias de las recomendaciones de la Comisión Nacional del Litio. Este enfoque supone reconocer el derecho de las comunidades a percibir beneficios por el uso de recursos naturales y del territorio, así como también en concepto de compensación por las externalidades negativas que genera la actividad (Obaya y Pascuini, 2020). En este proceso también ha tenido un peso importante el proceso de organización de las propias comunidades atacameñas, en el marco jurídico establecido por la Ley Indígena N° 19.253, sancionada en 1993.

Los contratos renegociados incorporaron cláusulas referidas al vínculo con las comunidades indígenas y campesinas de la región de Atacama. Las comunidades fueron dotadas de facultades de monitoreo ambiental, la posibilidad de tener acceso a información científica relevante que permita proponer un modelo hidrogeológico para el salar de Atacama. En términos económicos, el contrato con Albemarle otorga un 3,5% de las ventas de la empresa a las comunidades, exigiendo en contrapartida una planificación presupuestada del uso de los fondos y la realización de auditorías anuales. En el caso del convenio firmado con SQM, en 2018 se acordó un 1,7% de las ventas de la empresa a las comunidades más un monto de entre US\$ 10 y 15 millones anuales para desarrollo comunitario¹¹⁷.

Estos avances, sin embargo, no eliminaron las tensiones y el conflicto entre las comunidades y las empresas. Por ejemplo, el CPA se encuentra en conflicto con SQM debido a que el plan ambiental de estas no fue aprobado por la Superintendencia del Medioambiente. Esta organización, junto al Observatorio Plurinacional de Salares Andinos (OPSAL) ahora exigen que se revoque la resolución de calificación ambiental (RCA) de SQM (Blair, 2021).

3. Argentina

Las modalidades de interacción entre los gobiernos provinciales y las comunidades han oscilado entre la confrontación y la negociación. El caso en el que estas relaciones se manifestaron con mayor intensidad es el de las comunidades que habitan en la cuenca de los salares Olaroz y Cauchari (Jujuy) y, especialmente, en Salinas Grandes y Laguna de Guayatayoc (Salta y Jujuy).

¹¹⁷ Véase más información [en línea] <https://www.sqm.com/en-comunidad/aporte-por-contrato-corfo/>.

De acuerdo con Argento y Puente (2021), desde la intensificación de la minería del litio, la resistencia de las comunidades evolucionó a lo largo de tres períodos. El primero, que se extiende entre 2011 y 2015, se caracterizó por un proceso de organización de las comunidades, que conformaron la “Mesa de comunidades originarias de la Cuenca de Salinas Grandes y Laguna de Guayatayoc para la defensa y gestión del Territorio”. Asimismo, las demandas se focalizaron en las exigencias de un proceso de CPLI y en demandas de autodeterminación territorial, tanto en lo que se refiere a la decisión sobre los territorios como a la entrega de títulos de propiedad.

Durante el segundo período, que llega hasta 2019, las comunidades elaboraron un protocolo de consulta que incorpora criterios y normativas del derecho indígena y el derecho ambiental. Durante este período, las demandas se focalizaron sobre el incumplimiento de la legislación ambiental y contaron con el apoyo de organizaciones no gubernamentales. Uno de los aspectos conflictivos se refiere al uso de agua, que pone en riesgo las pasturas y pastoreos campo arriba, producida por la sequía de las aguadas u “ojos de agua”. En 2017, las comunidades organizadas realizaron movilizaciones en contra de la Ley de Servidumbre, mientras que las asambleas socio ambientales y comunidades originarias de Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca y Buenos Aires se reunieron para exigir el cese inmediato de cualquier actividad extractiva que atente contra el curso y ciclo natural del agua, y la inmediata remediación por los pasivos ambientales en la Laguna de Pozuelos y su entorno.

En la región de Susques, donde hay operaciones en fase de producción y los proyectos se encuentran en fases más avanzadas, las relaciones han sido menos conflictivas, ya que las comunidades se han visto beneficiadas mediante proyectos y obras de infraestructura. Asimismo, muchos miembros de la comunidad trabajan directamente en las empresas mineras.

La tercera etapa se inicia en 2019 cuando, ante la apertura de ofertas para proyectos de extracción de litio en la Cuenca Salinas Grandes y Laguna de Guayatayoc realizada por el gobierno de Jujuy a través de JEMSE, se reactivaron las resistencias de sus comunidades. A partir de entonces, el carácter de las protestas se radicalizó y, los reclamos de las comunidades dejaron de focalizarse sobre la realización del proceso de CPLI para pasar a rechazar de plano cualquier tipo de actividad extractiva en la región.

VIII. Reflexiones finales: hacia una agenda de cooperación en el triángulo del litio

El informe ha examinado distintas dimensiones de las RGP de baterías de ion de litio. El propósito del estudio ha sido contribuir a una mejor comprensión sobre las implicancias que el funcionamiento de dichas redes tiene sobre los países del triángulo del litio. En este marco, el primer objetivo específico que se ha planteado el trabajo es analizar el impacto de la estructura y las dinámicas que se desenvuelven al interior de las RGP de baterías de ion de litio sobre la producción de compuestos, que es la principal actividad que desarrollan estos países en la actualidad.

Para abordar este objetivo, el informe analiza la división del trabajo al interior de la red, identificando a los principales actores, el papel que desempeñan y la distribución geográfica de sus actividades de producción y comercialización. El análisis muestra, en primer lugar, que el ciclo ascendente del precio del litio es un proceso traccionado por fuerzas que están fuera del alcance de los países que cuentan con recursos abundantes. El principal impulso proviene de una mayor demanda originada en la aceleración de la transición hacia la electromovilidad, que tiene lugar en el marco de los compromisos internacionales que tienen como propósito reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Por lo tanto, el liderazgo de las RGP de baterías de ion de litio de las que participan los países sudamericanos está en manos de empresas automotrices, tanto las tradicionales como aquellas que se han expandido a la luz del crecimiento de los vehículos eléctricos, como Tesla y algunas empresas chinas. En su papel de líderes de la red, estas empresas crean y controlan las marcas, modelos y mercados de vehículos, así como los canales de distribución.

A pesar de su liderazgo, las empresas automotrices no cuentan con las capacidades para controlar la tecnología de celdas de BiL. Por ellos, utilizan distintos mecanismos para crear asociaciones estratégicas con los productores de celdas de BiL, que constituyen el componente central de los vehículos eléctricos y son la fuente directa de tracción de la demanda de litio. El tándem conformado entre los productores de vehículos y de celdas delinea estrategias que son centrales para las dinámicas que siguen las RGP. Allí se define el pulso de la carrera tecnológica que determina gran parte de los atributos de las BiL y de los vehículos que son decisivos para la consolidación de la electromovilidad: el costo, la autonomía, la velocidad y la seguridad.

Debe destacarse, sin embargo, que en la configuración de las RGP y sus dinámicas también desempeñan un papel importante los actores estatales, en particular, en aquellos países y regiones, como China, Estados Unidos y la Unión Europea, que fomentan la transición hacia la electromovilidad. Dado el estado incipiente de la tecnología y de los mercados, los actores estatales despliegan un conjunto de acciones para “crear” nuevos mercados, mediante la promoción del consumo y la definición de estándares. Asimismo, desde el lado de la oferta, han implementado políticas industriales que fomentan la expansión de la producción de vehículos y sus componentes. Más recientemente, se han volcado también al desarrollo de capacidades para la producción de materias primas críticas o, al menos, a garantizarse una provisión estable de las mismas. Estas medidas, han sido acompañadas por la provisión de la infraestructura necesaria para la expansión de la electromovilidad.

El papel del triángulo del litio en este esquema se ha focalizado hasta el momento en la provisión de uno de los recursos fundamentales para la expansión de la electromovilidad. Su posición estratégica al interior de las RGP deriva, en primer lugar, de las dificultades para reemplazarlo y, en segundo lugar, del hecho de que solo en pocos países se encuentra en niveles de concentración que permitan una explotación rentable en términos económicos. Esto constituye una fuente de poder para los países que cuentan con reservas de estas características. Desde la década del 2010, los gobiernos han buscado aumentar la renta generada a partir de la explotación del recurso, mejorar las condiciones de captura de dicha renta y desarrollar eslabonamientos productivos a partir del litio.

El análisis ha mostrado que, aunque esta posición de fortaleza esté asegurada en el corto y mediano plazo, hay ciertas dinámicas en desarrollo, principalmente de naturaleza tecnológica y geopolítica, que la ponen en riesgo. En primer lugar, los países promotores de la electromovilidad se están orientando al desarrollo de una cadena de valor cada vez más sustentable. Ello supone, entre otras cosas, la intención de obtener una porción cada vez mayor de los insumos de baterías a partir de su reciclaje. Esto se ha presentado de manera explícita en el proyecto de directiva europea sobre baterías, en diciembre de 2020, así como también en el Plan de Desarrollo Industrial para Vehículos de Nuevas Energías (2021-2035) presentado por China un mes antes. El avance del reciclaje de baterías permitiría reducir la dependencia de los países productores de BiL del abastecimiento externo de ciertos materiales críticos, entre los que se encuentra el litio.

En segundo lugar, y en línea con este último objetivo, las tres regiones productoras de vehículos eléctricos y celdas de baterías aspiran a desarrollar operaciones en depósitos de litio en sus propios territorios. Aun cuando los costos de extracción serían mayores que aquellos vigentes actualmente en salares, ello contribuiría al objetivo de reducir la dependencia de fuentes externas. Esto se ha convertido en un tema estratégico para los gobiernos de estos países, que apoyan con subsidios distintos proyectos de desarrollo de las tecnologías necesarias para lograr este objetivo. Si bien los países del triángulo del litio podrían mantener una renta extraordinaria gracias a sus menores costos de explotación, la diversificación de fuentes disminuiría la importancia estratégica de la región.

Finalmente, un tercer factor que amenaza el poder de los países productores de litio es la posibilidad de que, en un plazo mayor de tiempo, la fabricación de celdas de baterías no utilice litio como insumo. Existen actualmente tecnologías de este tipo en distintos estados de desarrollo, por ejemplo, las pilas de combustible de hidrógeno o las baterías de sodio-azufre. Aunque ambas tecnologías deben resolver importantes cuellos de botella para alcanzar el desempeño de las BiL, en los últimos años han logrado desarrollos significativos que las posicionan como potenciales reemplazos.

Por lo tanto, la actual situación de fortaleza de los países productores de litio puede derivar en cierta vulnerabilidad en un plazo más largo. Esto ha motivado que el estudio proponga abordar otros dos objetivos. En primer lugar, examinar cuáles son las oportunidades y obstáculos que enfrentan los países de la región para lograr una mayor localización de funciones y operaciones productivas en distintos segmentos de las RGP. En segundo lugar, analizar cuáles son las políticas públicas tecno-productivas para el desarrollo de capacidades tecnológicas en los países del triángulo del litio y su potencial para mejorar la posición de esta región al interior de las RGP.

Aunque ambas cuestiones son independientes, se encuentran profundamente interrelacionadas. Como se ha visto, los países del triángulo buscan, a través de distintos modos, lograr un mejor posicionamiento en las RGP. Más allá de sus diferencias estratégicas, todos ellos han asignado gran importancia a las actividades en segmentos aguas abajo, aspirando a localizar la producción de celdas y baterías. La fundamentación de esta visión es que, contando con una dotación abundante de un recurso que es considerado crítico para gran parte del mundo por su importancia en la electromovilidad, el papel de la región no puede limitarse a su exportación sin avanzar en un mayor nivel de procesamiento local.

Lo que se ha mostrado en el informe es que el avance hacia segmentos aguas abajo enfrenta grandes obstáculos, que ninguna estrategia debería desconocer. En primer lugar, se ha identificado un obstáculo de naturaleza tecno-productiva. Como se ha visto, el litio representa una porción pequeña del valor de la BiL. La brecha que existe entre el costo de los compuestos de litio y el de la celda está explicado, entre otras cosas, por el costo de otros insumos (algunos de los cuales también son críticos), por el conocimiento necesario para montar una planta para construir BiL a gran escala y por la capacidad de comercializar en el mercado las BiL. Los obstáculos tecno-productivos se profundizan, además, cuando se trata de celdas destinadas al segmento automotriz, donde los estándares de eficiencia y calidad son más elevados que en otros usos posibles de las baterías.

En principio, se podría señalar que este tipo de problemas los sufren también Estados Unidos y Europa, que también están intentando desarrollar una industria de celdas de BiL. Más aún, estas regiones ni siquiera cuentan con recursos de litio en alta concentración. Sin embargo, en estos casos se observan al menos dos ventajas importantes. Las capacidades tecnológicas —incluyendo aquí nivel educativo, la capacidad de realizar investigación y desarrollo, etc.— y productivas disponibles en aquellas regiones son muy superiores, tanto en el sector público como en el sector privado. Además, el presupuesto —también público y privado— disponible para apoyar emprendimientos vinculados al desarrollo de una cadena local de BiL es mucho mayor al de los países latinoamericanos.

Otro obstáculo que enfrentan los países sudamericanos en su intención de avanzar en la localización de actividades en segmentos aguas abajo es la falta de un mercado local de electromovilidad y de energías renovables a gran escala. Ambos temas son muy incipientes en la agenda de los países de la región. Como muestra la experiencia de los países más avanzados en el ámbito de la electromovilidad, la creciente tendencia a la colocación entre productores de BiL y de vehículos eléctricos parece replicar ciertos patrones de la industria automotriz tradicional. El reducido tamaño de los mercados nacionales de vehículos eléctricos, así como la falta de perspectivas para la producción a gran escala en el futuro cercano, no parecen indicar que esta restricción fuera a levantarse en el corto plazo. Como se ha visto, el desarrollo de un mercado de vehículos eléctricos no depende solo de la capacidad de compra de los consumidores, sino que está afectado por múltiples factores que incluyen la tecnología de los vehículos o la infraestructura de carga disponible. Tampoco sobre estos puntos hay perspectivas claras en el futuro cercano.

Finalmente, es interesante notar que los casos identificados que se encuentran en fase operativa en los países de la región en el segmento automotriz, focalizadas en nichos muy específicos de mercado, no tienen ninguna conexión con la actividad extractiva de litio. Su modelo de negocios se basa en la importación de BiL desde China. Es decir, su existencia no está explicada por una ventaja competitiva derivada de operar en países dotados con recursos de litio.

Las estrategias tecno-productivas en Chile y en el Estado Plurinacional de Bolivia están orientadas a generar esa ventaja competitiva, ya sea a través del control directo del recurso o del establecimiento de una cuota a precio preferencial para quienes localicen actividades en el país. En Argentina, en cambio, el marco normativo que regula el litio no permite generar este tipo de ventajas. Por lo tanto, cualquier empresa que aspire a procesar compuestos de litio localmente deberá comprarlo en el mercado o lograr el apoyo de alguna provincia productora que pueda negociar una cuota —o, en el caso de Jujuy, hacerlo a través de JEMSE.

La importancia de estos obstáculos lleva a preguntarse si existen segmentos o nichos de mercado que sean más accesibles para su desarrollo local en conexión con la actividad extractiva, ya sea por sus características tecnológicas o por su articulación con procesos locales. El caso de Dynami, presentado

en el informe, ofrece un modelo de referencia interesante. El desarrollo, focalizado sobre la arquitectura de las baterías a partir de un proceso digital de impresión de electrodos nanoestructurados, aborda un nicho donde aún no existe producción a escala industrial. En caso de poder llevarse a cabo, el modelo de negocios admitiría tanto el licenciamiento de la tecnología como el desarrollo de capacidad productiva local, especialmente en segmentos donde la competencia no sea principalmente vía precios.

Una alternativa sería la vinculación entre el desarrollo de energías renovables y la producción local de BiL. En este caso, el impulso de un mercado local con capacidad de expansión podría significar una oportunidad para los productores locales, en un segmento en el que las demandas de calidad son inferiores a las que prevalecen en el sector automotriz. Sin embargo, la competencia por precio con China sería mucho más intensa en este segmento (en parte, justamente, por los menores requisitos de calidad), ya que este país concentra el 70% de la producción y una parte aún mayor del mercado de este tipo de BiL. Por ello, es probable que un desarrollo de este tipo requiera, además de acceso al litio local, de un programa de compras públicas que permita solventar el desarrollo inicial de la industria. Sin embargo, la factibilidad económica debería ser una condición para el apoyo público a proyectos de este tipo, lo que requiere una curva de aprendizaje acelerada.

Un aspecto menos explorado por la política pública ha sido la posibilidad de fortalecer las capacidades tecnológicas y productivas en segmentos aguas arriba. Con la excepción del Estado Plurinacional de Bolivia, donde el control estatal se extiende a lo largo de toda la cadena de producción, Argentina y Chile han mantenido sobre este tipo de actividades una postura principalmente de naturaleza regulatoria. Esta actitud puede tener origen en que la producción de compuestos de litio ha sido considerada una actividad extractiva que contribuye a la “primarización” de la canasta exportadora. Sin embargo, esta postura pierde de vista no solo algunas de las oportunidades que presenta este segmento sino también un conjunto de necesidades que hoy no es atendido y concierne especialmente a los países productores.

En primer lugar, una característica de las actividades de explotación de litio es que se encuentran directamente bajo la órbita regulatoria de los países donde se encuentran los depósitos. Esto brinda a los gobiernos competencias para ajustar el sistema normativo en virtud del tipo de estrategia que se adopte en relación con el recurso. En segundo lugar, hay un conjunto de actividades, vinculadas a la explotación del litio, que necesariamente se deben desarrollar en localidades cercanas a los yacimientos. En línea con la idea de que “una cosa lleva a la otra”, trabajada por Hirschman (1981) y más recientemente por Morris y otros (2012), el desarrollo de una estrategia de eslabonamientos productivos —ya sea hacia adelante o hacia atrás— debería partir de actividades que ya se desarrollan. Los encadenamientos surgen como “necesidades” (aun aquellas “creadas” por las regulaciones) que presenta el esquema de producción del recurso. La producción de celdas de baterías o vehículos eléctricos como negocios independientes de la dotación de reservas de litio —tal como es el caso de la mayor parte de los casos relevados en el informe— no es un eslabonamiento que emerja de las condiciones que presenta la explotación del recurso.

Un tercer factor que justificaría dedicar más esfuerzos al desarrollo del segmento aguas arriba es que la capacidad de los países de la región para mejorar las condiciones de generación de renta está ligada a la mejora en los productos y los procesos de explotación de los salares —en otras palabras, a la innovación tecnológica. En relación con el primer punto, debe recordarse que los compuestos de litio son productos diferenciados, en términos de especificaciones técnicas y calidades. Las diferencias en los valores de exportación entre los tipos de producto son significativas. Como se ha visto, Argentina y Chile exportan el carbonato de litio a un precio promedio que se encuentra por debajo del precio que prevalece en el mercado mundial. En el caso argentino, ello se debe en parte a que entre sus exportaciones hay productos que no alcanzan la calidad de grado batería. Más aún, en 2020, el país llegó a exportar salmuera sin procesar.

Las innovaciones de proceso tienen también un potencial importante para aumentar la renta del producto. Conviene recordar que la producción de compuestos de litio es una actividad compleja, muy afectada por las especificidades que presentan los salares y su entorno socioambiental. La tecnología utilizada actualmente no ha experimentado avances significativos desde hace décadas. Son varios, por

lo tanto, los desafíos pendientes en este terreno. Sin pretensión de exhaustividad, se pueden señalar, por ejemplo, el desarrollo de métodos de explotación que permitan recuperar de manera eficiente otros elementos presentes en los salares o producir hidróxido de litio sin necesidad de pasar por carbonato de litio. Otro avance importante sería el desarrollo de técnicas no evaporíticas para la concentración de litio.

Este último punto se vincula estrechamente a los problemas de carácter territorial analizados en el informe, por la contribución que innovaciones de este tipo podrían hacer para morigerar los conflictos en relación con el problema del agua. También existe una profunda necesidad de desarrollar innovaciones sociales que permitan incorporar mecanismos de gobernanza del recurso, contemplando las necesidades y demandas de distintos actores sociales, como las comunidades indígenas y campesinas, que presentan resistencia a las actuales formas de explotación de los salares. Es importante destacar que el tratamiento de los temas ambientales y sociales no solo responde a la obligación de respetar los derechos establecidos, sino también a condiciones de mercado. Por ejemplo, la propuesta de directiva de la Comisión Europea sobre baterías contempla que las BiL producidas y utilizadas en la región deben utilizar insumos que hayan sido producidos de manera sostenible y socialmente responsable.

Este tipo de innovaciones en el segmento aguas arriba no solo mejoraría las condiciones de producción en el triángulo del litio, sino que potencialmente podría traducirse en desarrollo de proveedores o en exportaciones de servicios hacia nuevos países productores. Una condición para ello, tal como muestran experiencias exitosas de desarrollo en base a recursos naturales (Smith, 2007; Fagerberg y otros, 2009), es el fortalecimiento de los sistemas de innovación, de modo que los procesos de creación de conocimiento en torno a la industria litífera se realicen a partir de una mayor interacción y colaboración con actores que operan en otros sectores de la economía. Cuanto mayor sea el número de actores locales que participen del sistema, mayor será la difusión del conocimiento creado a través del sistema productivo. Aquí cumplen un papel importante los sectores que Pol y otros (2002) denominan sectores “habilitantes” (*enabling sectors*), es decir aquellos que se caracterizan por contribuir de manera sistemática a introducir mejoras y transformaciones en la actividad económica. El desarrollo de los sistemas de innovación requiere asimismo una mayor inversión en la infraestructura necesaria, tanto para la creación de nuevas capacidades (por ejemplo, laboratorios) como, por ejemplo, para mejorar las condiciones de transporte, provisión de servicios básicos, etc.

Los países del triángulo del litio muestran experiencias disímiles en este ámbito. El Estado Plurinacional de Bolivia ha desarrollado un proceso sostenido de inversión en infraestructura, tanto física como tecnológica, para sostener el desarrollo de la estrategia litífera. Esto ha permitido un crecimiento acelerado de las capacidades locales en áreas vinculadas a la explotación de los salares y la tecnología de producción de baterías de ion de litio. El proyecto de acumulación de capacidades tecnológicas en el Estado Plurinacional de Bolivia ha sido liderado por el Estado, primero por la GNRE y, luego, por YLB. En este sentido, el proyecto es original y genera expectativas, ya que es la única empresa pública en la región que podría tener un impacto positivo en la generación de conocimiento endógeno, en el fortalecimiento de capacidades propias y la formación de talento humano. El posicionamiento de YLB como un actor relevante a nivel global incrementaría la participación de empresas locales en el mercado global, además de impulsar los encadenamientos productivos y la logística a nivel regional.

Sin embargo, una crítica recurrente que ha recibido el proyecto boliviano ha sido su limitada apertura respecto a actores que operan fuera del proyecto —por ejemplo, las universidades. Esto ha tenido un doble efecto, por un lado, ha limitado el proceso mismo de aprendizaje por parte de YLB y quienes participan de la estrategia boliviana. Por otro lado, ha restringido la difusión de las capacidades adquiridas, más allá del ámbito de los actores a cargo de su implementación (Olivera, 2017) y, por lo tanto, las posibilidades de retroalimentación.

Chile cuenta con una trayectoria de acumulación de capacidades e infraestructura física que se remonta a los años noventa. Son particularmente relevantes las capacidades acumuladas a nivel de empresa, debido a la extensa trayectoria en el sector. Sin embargo, el desarrollo del sector en Chile no ha logrado avanzar más allá de las operaciones extractivas, con un limitado desarrollo de eslabonamientos

a lo largo de la cadena de valor o avances hacia la explotación integral de otros elementos contenidos en la salmuera (Comisión Nacional del Litio, 2015). Asimismo, se ha mantenido encapsulado en un pequeño grupo de actores en torno a las empresas operadoras, con escaso involucramiento del sistema de ciencia y tecnología. La iniciativa de creación de tres centros de investigación sobre temas de tecnologías limpias, economía circular y electromovilidad, a partir de la renta generada por la explotación del recurso, representa un intento por generar un sistema de innovación vinculado al recurso.

El caso argentino se caracteriza por su apertura y capacidad para atraer a empresas del exterior para la explotación del litio. A pesar de su capacidad para convocar a potenciales desarrolladores, el marco normativo que regula la actividad en Argentina es el que cuenta con herramientas más limitadas para promover la creación de capacidades locales, más allá de las funciones operativas de producción. Por lo tanto, los procesos más intensivos en conocimiento son desarrollados comúnmente por las casas matrices que, en algunos casos, montan sus plantas piloto o realizan ensayos de laboratorio en el exterior.

Sin embargo, es importante resaltar la cantidad de actores del sistema de ciencia, tecnología e innovación argentino que trabajan sobre el sector litífero, los cuales son más numerosos que en los países de la región. De acuerdo a un relevamiento llevado a cabo por Fornillo (2019), Argentina cuenta con 75 líneas de investigación distribuidas en alrededor de 40 centros o institutos de investigación que trabajan en torno al litio. La agenda de investigación, aun cuando sus recursos son limitados, es nutrida y abierta a una amplia variedad de temas. A pesar de ello, su interacción con el sector privado es marginal. Esto es consecuencia de una combinación de factores, entre los que se incluyen las preferencias de las empresas extranjeras que operan el sector, así como las limitaciones propias del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para coordinar una agenda de investigación y vinculación, y los escasos incentivos que tienen los investigadores y el sector privado para vincularse entre sí.

El informe se ha planteado un cuarto objetivo orientado a identificar oportunidades y desafíos para la colaboración entre los países del triángulo del litio, con el propósito de mejorar las condiciones para la creación de valor, la captura de renta y la diversificación productiva a nivel subregional o regional de las RGP. La cooperación transfronteriza potenciaría la posición relativa de los países del triángulo, creando condiciones para un mayor protagonismo al interior de las RGP. Los diferentes actores que participan de la red dentro de la región —empresariales, estatales, comunitarios, de la sociedad civil—comparten ciertos intereses comunes. Esto abre una oportunidad para impulsar diferentes esquemas de cooperación regional e intercambio de conocimientos y experiencias que podrían redundar en beneficios para los tres países.

Un primer paso para abordar este objetivo sería identificar temas específicos para los cuales una plataforma de alcance regional ofrezca una escala de intervención más adecuada. En base al análisis realizado, se proponen aquí cuatro áreas: cooperación científica, precio de los compuestos de litio, desarrollo de un mercado regional de electromovilidad, y gobernanza del recurso.

En todos los casos, sería deseable que los instrumentos específicos de intervención no se decidan a nivel de cúpula de los gobiernos, sino que sean el resultado de procesos que involucren a los múltiples actores involucrados. Del mismo modo, según el área de intervención, el financiamiento de los instrumentos debería incluir fuentes públicas, privadas, así como también de organismos internacionales.

A. Cooperación científica

De acuerdo con las diferentes consideraciones, tanto de orden científico como comercial, es importante definir una estrategia regional sobre cómo abordar las oportunidades que ofrece el litio como un recurso natural estratégico. Para esto se requieren políticas que permitan a los países del triángulo enfrentar complejos desafíos que exige una industria emergente y que requiere una coordinación entre múltiples actores. En este marco, resulta conveniente adoptar un enfoque de innovación orientada por misiones, dirigido a lograr objetivos específicos involucrando diferentes actores (tanto públicos como privados) que desarrollen actividades en distintos sectores productivos, permitiendo la experimentación y el aprendizaje para que el proceso de innovación se nutra a través de ciclos de retroalimentación dinámica (Mazzucato, 2018a).

La industria litífera —y su vínculo con la electromovilidad y el cambio de la matriz energética— cumple algunas de las condiciones señaladas para adoptar un enfoque de política de estas características (Mazzucato, 2018b). En primer lugar, tiene relevancia social por su vínculo con la transformación global de la matriz energética tanto a nivel local y regional como global. Además, se trata de un proceso que tiene una dirección clara y que permite plantear objetivos cuantificables. Las acciones de investigación e innovación deberían ser ambiciosas, pero a la vez realistas. Al ser una industria naciente, oligopólica en varios de sus segmentos y con información poco transparente, los riesgos son todavía muy altos. Por ende, es necesario evitar la generación de expectativas que puede afectar la credibilidad de los esfuerzos puestos en marcha por los gobiernos.

Los proyectos requieren de innovaciones que involucran acciones de naturaleza interdisciplinaria e intersectorial entre distintos tipos de actores. Como se ha visto, la participación en RGP de BiL requiere la intervención de múltiples disciplinas científicas, incluidas las ciencias sociales y diferentes tipos de actores público, privado y organizaciones de la sociedad civil. Finalmente, la industria litífera y sus vínculos con la electromovilidad y la transición energética admiten múltiples formas de experimentación y soluciones desarrolladas desde las bases (*bottom-up*). Las iniciativas existentes en las universidades, en empresas o en los emprendimientos locales descritos en los estudios de caso muestran que existen múltiples caminos posibles para la acumulación de capacidades. Los gobiernos deben estar abiertos a diversos enfoques. En las RGP de las BiL, la interacción entre proyectos y experimentación permitirá reducir los riesgos y acelerar los procesos de aprendizaje entre los tres países. Esto adquiere una mayor importancia al momento de pensar en la fabricación de baterías lo cual requiere de un alto nivel de especialización tecnológica, que no puede ser creadas en el corto plazo.

En base a las fortalezas de cada país, es posible identificar oportunidades de cooperación en el terreno de la cooperación científica, que pueden generar sinergias a nivel regional. Los proyectos pueden asentarse en el fortalecimiento de redes ya existentes, así como generar las condiciones para crear nuevos consorcios de investigación. En el ámbito académico, se identifican algunas experiencias que han contribuido a la creación de lazos en el sector a escala regional. Se destacan, en particular, dos actividades. En primer lugar, el Seminario Internacional “ABC del Litio Sudamericano”, una iniciativa liderada por la Universidad de Quilmes de Argentina, que se realizó por cuarta vez en 2020¹¹⁸. Esta actividad constituye un espacio de análisis sociotécnico acerca del rumbo económico y productivo de los países que conforman el triángulo del litio donde las políticas disciernen sobre las condiciones y posibilidades del desarrollo a partir de este recurso. Una segunda actividad de carácter primordialmente científico es el Taller Internacional sobre Litio, Minerales Industriales y Energía (IWLiME¹¹⁹, por sus siglas en inglés: *International Workshop on Lithium Industrial Minerals and Energy*), organizado en su séptima versión en 2020 por el Centro de Investigación Avanzada del Litio y Minerales Industriales (CELIMIN) de la Universidad de Antofagasta de Chile. Este espacio científico de discusión, análisis e integración presenta investigaciones desarrolladas a nivel global sobre procesos, sostenibilidad, almacenamiento de energía y nanomateriales.

Ambas iniciativas provenientes desde la academia visibilizan y estimulan los esfuerzos realizados por los tres países para aprovechar sus recursos naturales. Estos espacios académicos ofrecen una plataforma para la identificación de temas que permitan la conformación de redes temáticas de colaboración nacionales e internacionales, la identificación de temas comunes de trabajo y que promuevan la aplicación investigaciones realizadas por universidades, organismos gubernamentales y empresas que intervienen en esta industria.

Sin embargo, como se ha destacado, sería conveniente que la identificación de los temas, así como el desarrollo de los proyectos científico-tecnológicos y su financiamiento, involucren además del sector académico a actores privados, de la administración pública y de la sociedad civil. Ello requiere un delicado trabajo de diálogo y negociación donde ninguno de los grupos de actores se “apropie” de la agenda, sino más bien se logren identificar temas de interés común. Existen acciones transversales que pueden ser abordadas por múltiples actores, como el impacto de la actividad minera en el equilibrio de los salares,

¹¹⁸ Véanse más detalles [en línea] <https://www.innovat.org.ar/el-abc-del-litio-sudamericano-una-mirada-regional-que-nos-interpela/>.

¹¹⁹ Véase más información [en línea] <https://www.celimin.com/workshop2020>.

especialmente debido al limitado suministro de agua dulce y/o subterránea. Los estudios integrales de evaluación de impacto ambiental y el monitoreo han sido insuficientes hasta la fecha y, como se ha visto, pueden ser cruciales para prevenir, minimizar y mitigar cualquier impacto negativo sobre los ecosistemas. Contar con información actualizada y transparente, permitirá evaluar y tomar decisiones de manera objetiva basada evidencia científica. Asimismo, se podrán reducir posibles conflictos sociales y atender las demandas de comunidades locales, incluidos los pueblos indígenas que habitan en las áreas adyacentes a las zonas de operación de las empresas que explotan los salares. La ejecución de programas conjuntos de cooperación también pueden incluir proyectos que permitan incrementar la eficiencia y/o reducir los tiempos en los procesos de obtención de compuestos de litio; se pueden crear sinergias orientadas a estudiar la estructura de los salares, identificar nuevos yacimientos que sean viables para su explotación económica en el entendido de que la mayor demanda y el aumento del precio del mineral incentivarán la exploración de nuevos depósitos.

B. Precio de los compuestos de litio

Un punto sensible que afecta a los países de la región, especialmente a Chile y Argentina, concierne al precio de los compuestos de litio exportados. Como se ha visto en el informe, el mercado actual es poco transparente, basado en contratos entre privados. Los precios son estimados por consultoras privadas, a partir de metodologías basadas fundamentalmente en informantes clave. La dificultad para contar con precios de referencia se profundiza por dos motivos. En primer lugar, por la diversidad de especificaciones técnicas de las sales producidas. En segundo lugar, en los países de la región operan empresas que tienen casas matrices, subsidiarias o socios estratégicos en el exterior, donde el carbonato de litio es sometido a fases posteriores de procesamiento. En consecuencia, una parte sustancial de las exportaciones corresponden a comercio intra-firma, a precios de transferencia que pueden estar subvaluados.

Uno de los problemas que genera la opacidad del mercado para los países de la región es que no es posible contar con precios de referencia confiables que permitan calcular la base para el cobro de regalías e impuestos a las operadoras. Tampoco hay agencias nacionales de fiscalización que cuenten con las capacidades y recursos necesarios para hacerlo. En el caso chileno, además, los contratos con las operadoras contemplan una cuota que debe ser vendida a precios preferenciales a quienes sean adjudicatarios de las licitaciones organizadas por CORFO. Desde 2018, el gobierno chileno ha tenido conflictos con Albemarle en relación con el precio del carbonato de litio exportado, que según CORFO se ubican entre un 25-35% por debajo de los precios de mercado¹²⁰. Como consecuencia de ello, durante 2020, CORFO reclamó a la empresa por incumplimiento en el pago de cerca de US\$ 11 millones en concepto de comisiones¹²¹.

Los países de la región podrían cooperar buscando mecanismos que morigeren los efectos negativos de prácticas de este tipo. Una de las dimensiones sobre las que se podría intervenir es en el desarrollo de prácticas que faciliten el desarrollo de un mercado más transparente. Esto podría ser a partir de iniciativas propias orientadas a promover la publicación de información o la estimación de precios de referencia, o a partir de una colaboración con actores del mercado que están trabajando sobre el desarrollo de contratos de futuro para materiales utilizados en baterías. Este es, por ejemplo, el caso del London Metal Exchange, que ha anunciado que a partir del primer semestre de 2021 comenzará a negociar contratos de futuro para hidróxido de litio, basado en las estimaciones de precios realizadas por Fastmarkets. Estos contratos podrían ser tomados como referencia para la relación con las empresas que operen dentro del triángulo del litio.

De acuerdo con las recomendaciones del programa que llevan adelante el Foro Intergubernamental sobre Minería, Minerales, Metales y Desarrollo Sostenible (FIG) y la Organización para la Cooperación y el

¹²⁰ Véase el siguiente enlace para más información: <https://www.mch.cl/2018/04/11/albemarle-bitran-no-corresponde-especular-precios-transferencia/>; <https://www.revistaei.cl/2018/04/10/corfo-entrego-al-sii-datos-albemarle-vende-litio-35-mas-barato-filial/>.

¹²¹ Véanse más detalles [en línea] <https://www.ocmal.org/corfo-reclama-a-albemarle-incumplimientos-de-pagos-en-contrato-por-casi-us-11-millones/>.

Desarrollo Económicos (OCDE) para abordar el problema de la erosión de bases imponibles y el traslado de beneficios (BEPS, por sus siglas en inglés: *Base Erosion and Profit Shifting*) en el sector minero, otra medida conveniente en este ámbito sería realizar un muestreo y testeo de los productos exportados. Esto permitiría evaluar la calidad y, así, valorar los productos exportados. El uso de laboratorios acreditados, que respeten estándares de calidad internacionalmente reconocidos, es importante, sobre todo en el caso eventual que un litigio escale y deba ser presentado ante un tribunal internacional. Dado que el costo de estos laboratorios puede ser muy elevado, sería conveniente la colaboración entre países de la región para montar un único laboratorio que cumpla estas funciones (Readhead, 2018). La cooperación regional podría extenderse, más en general, al intercambio de buenas prácticas y capacitación de funcionarios de los gobiernos nacional y subnacionales con relación a los temas relacionados al BEPS. Por ejemplo, se podría dotar de mayores capacidades y recursos a las agencias de aduana para fiscalizar y cruzar información con otras aduanas y entidades impositivas.

C. Desarrollo de un mercado regional de electromovilidad

Otro de los temas que ofrece un espacio para la cooperación —aún más allá del triángulo del litio— concierne a una condición que es necesaria (aunque no suficiente) para desarrollar eslabonamientos en segmentos aguas abajo de las RGP de baterías de ion de litio: la creación de una demanda regional de productos de electromovilidad. Como se ha mencionado, ello requiere mejorar las posibilidades para acceder a los vehículos eléctricos (por ejemplo, a través de subsidios o exenciones impositivas), que todavía tienen precios alientan el recambio de los vehículos a combustión interna. Sin embargo, también resultaría conveniente generar otras condiciones para la creación de un mercado de escala regional. Una de ellas sería la armonización de estándares y normas vinculadas a los productos y servicios vinculados a la electromovilidad. Asimismo, podría promoverse la integración regional del mercado de electromovilidad, eliminando los aranceles al comercio entre países de la región. Esto permitiría ampliar la escala de los mercados nacionales, cuyo pequeño tamaño representa un obstáculo para el desarrollo de emprendimientos que pueden ser muy intensivos en capital, con altos rendimientos a escala.

Sin embargo, como se ha dicho anteriormente, esta es solo una condición necesaria para la existencia de un mercado de electromovilidad y, de este modo, para las estrategias de eslabonamientos aguas abajo. En el informe se ha visto que existen muchos otros obstáculos que deberían superarse para que la localización de actividades en estos segmentos tenga lugar: tecnológicos, productivos, normativos, comerciales.

D. Gobernanza del recurso

En relación con los mecanismos de gobernanza, especialmente aquellos vinculados a la relación con las comunidades que habitan en zonas aledañas a los salares, hay un amplio espacio de cooperación. La misma debería involucrar no solo a los gobiernos de la región, sino también a las empresas, a las comunidades mismas y a organismos de la sociedad civil involucrados. Aunque las reglas y mecanismos a seguir deberían ser definidos para cada territorio específico, de acuerdo con las condiciones que prevalecen en cada uno de ellos, resultaría valioso contar con estándares mínimos comunes y mecanismos de intercambio de experiencias que sirvan como referencia a los actores participantes. Existen múltiples iniciativas a nivel internacional que podrían ser utilizadas como referencia para la definición de mecanismos (Elkind y otros, 2020). Entre las cuestiones a abordar se encuentran, por ejemplo, la generación y difusión de información, en particular sobre temas ambientales vinculados al monitoreo e impacto de la explotación de los recursos; la toma de decisiones respecto a la gestión de los recursos; la gestión y resolución de conflictos. Es importante considerar que, para lograr un compromiso por parte de todos los actores involucrados, el vínculo debe ir más allá de los canales de relaciones públicas empresariales, incorporando mecanismos transparentes de gobernanza de los que participen las empresas, comunidades, los gobiernos y actores de la sociedad civil, y que sean aceptados por todas las partes.

Los organismos internacionales ocupan una posición privilegiada para actuar como líderes coordinadores de proyectos de estas características. Algunos ya han puesto en marcha iniciativas vinculadas a la industria del litio y la electromovilidad que podrían constituir una base para fomentar la cooperación en distintas esferas. Por ejemplo, el Banco Interamericano de Desarrollo cuenta con una plataforma de relacionamiento permanente con relación al litio, en el marco de su programa de Bienes Públicos Regionales, que es adecuada para el diálogo entre países del triángulo del litio¹²². A través de ese canal se podría delinear una agenda de temas de cooperación prioritarios, vinculados a la ciencia y la tecnología, el medio ambiente y prácticas de gobernanza para la gestión del territorio. Por su parte, el Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas cuenta con la plataforma MOVE, dedicada a la capacitación para la transición hacia la movilidad eléctrica en Latinoamérica¹²³.

¹²² Ver <https://blogs.iadb.org/energia/es/litio-oportunidades-en-argentina/>.

¹²³ Ver <https://movelatam.org/>.

Bibliografía

- Ablo, A. D. (2015), "Local content and participation in Ghana's oil and gas industry: Can enterprise development make a difference?". *The Extractive Industries and Society*, 2(2), 320-327.
- Adewuyi, A. O. y T. Ademola Oyejide (2012), "Determinants of backward linkages of oil and gas industry in the Nigerian economy". *Resources Policy*, 37(4), 452-460.
- Albemarle (2016), "Global Lithium Market Outlook, Albemarle". Goldman Sachs HCID Conference.
- Andersen, A. D., A. Marín y E. O. Simensen (2018), "Innovation in natural resource-based industries: a pathway to development?". *Innovation and Development*, 8(1), 1-27.
- Argento, M. (2018), "Espejo de sal: estructuras de la acción colectiva e integración territorial del proyecto de extracción e industrialización del litio en Bolivia". *Revista de Políticas y Problemas Públicos*, 7(2), 227-248.
- Argento, M. y F. Puente (2019), "Entre el boom del litio y la defensa de la vida. Salares, agua, territorios y comunidades en la región atacameña". En: B. Fornillo (Coordinador), *Litio en Sudamérica. Geopolítica, energía, territorios*, Editorial El Colectivo, Buenos Aires.
- _____(2021), "7 hipótesis sobre las dinámicas territoriales y el litio en Argentina. Salares Andinos". En: B. Jerez, S. Uribe y R. Morales (Editores), *Ecología de Saberes por la Protección de Nuestros Salares y Humedales*. Fundación Tanti, San Pedro de Atacama.
- AUSTRADE (2018), "The lithium-ion battery value chain: new economy opportunities for Australia". Australian Trade and Investment Commission, Australia.
- Auty, R. (2002), "Sustaining development in mineral economies: the resource curse thesis". Routledge.
- Ayentimi Desmond, T. (2016), "Developing effective local content regulations in sub-Saharan Africa". *Multinational Business Review*, 24(4), 354-374.
- Azevedo, M., N. Campagnol, T. Hagenbruch, K. Hoffman, A. Lala y O. Ramsbottom (2018), "Lithium and Cobalt. A tale of two commodities". New York, McKinsey&Co.
- Barandiarán, J. (2019), "Lithium and development imaginaries in Chile, Argentina and Bolivia". *World Development*, 113, 381-391.
- Barrera, P. (2019), "Will Lithium Hydroxide Really Overtake Lithium Carbonate? INN". Lithium Investing News. Vancouver, INN.
- Barton, B. y P. Schütte (2017), "Electric vehicle law and policy: a comparative analysis". *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 35(2), 147-170.
- Bastida, A. E., R. Irrazábal Sánchez y R. Labó (2005), "Mining Investment and Policy Developments: Argentina, Chile and Peru". London, University of Dundee.
- Benchmark Mineral Intelligence (2019), "Lithium supply revisited". Benchmark Mineral Intelligence Blog 2020.

- Bernhart, W. (2019), "Challenges and opportunities in lithium-ion battery supply". En: A. Eftekhari (ed.), *Future Lithium-ion Batteries*, Royal Society of Chemistry.
- BIS Research (2020), "Global lithium-ion battery recycling market: focus on technology, chemistry, end source, and regional analysis", BIS Research: <https://www.researchandmarkets.com/>.
- Blair, J. J. A. (2021), "Extractivismo del Litio y el Problema de la Escala: Acción Climática Global y Justicia Ambiental Local. Salares Andinos". En: B. Jerez, S. Uribe y R. Morales (Editoriales), *Ecología de Saberes por la Protección de Nuestros Salares y Humedales*. Fundación Tanti, San Pedro de Atacama.
- Bremmer, I. y R. Johnston (2009), "The Rise and Fall of Resource Nationalism". *Survival*, 51(2), 149-158.
- Broadbent, G. H., D. Drozdowski y G. Metternicht (2018), "Electric vehicle adoption: An analysis of best practice and pitfalls for policy making from experiences of Europe and the US". *Geography Compass*, 12(2), e12358.
- Burdiles P. G. (2021), "La regulación jurídica de los salares en Chile: obstáculos para su protección a la luz del caso del Salar de Atacama". En: B. Jerez, S. Uribe y R. Morales (Editoriales), *Ecología de Saberes por la Protección de Nuestros Salares y Humedales*. Fundación Tanti, San Pedro de Atacama.
- Calabrese, G. (2016), *The greening of the automotive industry. Basingstoke*. UK, Palgrave MacMillan.
- Calla, O. R. (2014), "Impactos de la producción industrial del carbonato de litio y del cloruro de potasio en el salar de Uyuni". En: R. O. Calla, J. C. Montenegro, Y. Montenegro y P. Poveda (eds.), *Un presente sin futuro: el proyecto estatal del litio en Bolivia*. Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA), La Paz, Bolivia.
- Campanini, J. T. (2021), "Los devenires del litio en Bolivia. Salares Andinos. Ecología de Saberes por la Protección de Nuestros Salares y Humedales". En: B. Jerez, S. Uribe y R. Morales (Editoriales), *Ecología de Saberes por la Protección de Nuestros Salares y Humedales*. Fundación Tanti, San Pedro de Atacama.
- Capuder, T., D. Miloš Sprčić, D. Zoričić y H. Pandžić (2020), "Review of challenges and assessment of electric vehicles integration policy goals: Integrated risk analysis approach". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 119, 105894.
- Castillo, T., F. García, L. Mosquera, T. Rivadeneira, K. Segura and M. Yujato (2018), *Panorama energético de América Latina y el Caribe 2018. Quito*. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE),
- Cheng, X.-B., C.-Z. Zhao, Y.-X. Yao, H. Liu y Q. Zhang (2019), "Recent Advances in Energy Chemistry between Solid-State Electrolyte and Safe Lithium-Metal Anodes". *Chem*, 5(1), 74-96.
- Christmann, P., E. Gloaguen, J.-F. Labbé, J. Melleton y P. Piantone (2015), "Global lithium resources and sustainability issues". En: A. Chagnes and J. Swiatowska (editors), *Lithium Process Chemistry. Resources, Extraction, Batteries, and Recycling*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO, 2020), "Oferta y demanda de litio hacia 2030". C. C. d. Cobre, COCHILCO, Santiago.
- Coe, N., P. Dicken y M. Hess (2008), "Global production networks: realizing the potential". *Journal of Economic Geography*, 8 271-295.
- Coe, N. M., M. Hess, H. W-c Yeung, P. Dicken y J. Henderson (2004), "'Globalizing' regional development: A global production networks perspective". *Transactions of the Institute of British Geographers*, 29(4), 468-484.
- Coe, N. M. y H. W-c Yeung (2019), "Global production networks: mapping recent conceptual developments". *Journal of Economic Geography*, 19(4), 775-801.
- _____(2015), *Global production networks: Theorizing economic development in an interconnected world*. Oxford University Press.
- Coffin, D. y J. Horowitz (2018), "The supply chain for electric vehicle batteries". *Journal of International Commerce and Economics*, 1(12), 1-21.
- Comisión Nacional del Litio (2015), "Litio: una fuente de energía, una oportunidad para Chile". Ministerio de Minería, Santiago de Chile.
- Corporación de Fomento de la Producción (CORFO, 2018), "Comparado. Contratos 1993 vs Modificaciones 2018". Santiago de Chile.
- Dantas, E. y M. Bell (2009), "Latecomer firms and the emergence and development of knowledge networks: The case of Petrobras in Brazil". *Research Policy*, 38(5), 829-844.
- _____(2011), "The co-evolution of firm-centered knowledge networks and capabilities in late industrializing countries: the case of Petrobras in the offshore oil innovation system in Brazil". *World Development*, 39(9), 1570-1591.

- Daza, W. G. I. (2017), "Historia del extractivismo del litio en Bolivia. El movimiento cívico de Potosí y la defensa de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni (1987-1990)". *Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, 10(10), 173-188.
- De la Torre, A., F. Filippini y A. Ize (2016), "LAC Semiannual Report April 2016: The Commodity Cycle in Latin America - Mirages and Dilemmas". Washington D.C., The World Bank Group.
- Deutsche Bank (2016), Welcome to the Lithium-ion Age. Sydney, Deutsche Bank AG.
- Díaz, S., y otros (2019), "El Informe de la Evaluación Mundial sobre la Diversidad Biológica y los Servicios de los Ecosistemas. Resumen para los encargados de formulación de políticas". Bonn, IPBES.
- Dicken, P. (2011), *Global shift. New York and London*. The Guilford Press.
- Dietsche, E. (2014), "Diversifying mineral economies: conceptualizing the debate on building linkages". *Mineral Economics*, 27(2), 89-102.
- Djeflat, A. y B. Å. Lundvall (2016), "The resource curse and the limited transformative capacity of natural resource-based economies in Africa: evidence from the oil and gas sector in Algeria and implications for innovation policy". *Innovation and Development*, 6(1), 67-85.
- Dong, J., M. Hietaniemi, J. Välikangas, T. Hu y U. Lassi (2019), "Modification of Layered Oxide Cathode Materials". En: A. Eftekhari (ed.), *Future Lithium-ion Batteries*, Royal Society of Chemistry.
- Duan, J., L. Huang, T. Wang, Y. Huang, H. Fu, W. Wu, W. Luo y Y. Huang (2020), "Shaping the Contact between Li Metal Anode and Solid-State Electrolytes". *Advanced Functional Materials*, 30(15), 1908701.
- Echazú, A. L. A. (2015), "Un proyecto 100% estatal. Industrializando carbonato de litio y cloruro de potasio con dignidad y soberanía". En: F. Nacif y M. Lacabana (Eds.), ABC del litio sudamericano. Soberanía, ambiente, tecnología e industria. Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes.
- Elkind, E. N., P. R. P. Heller y T. Lamm (2020), "Sustainable Drive. Sustainable Supply. Priorities to Improve the Electric Vehicle Battery Supply Chain". Center for Law, Energy & the Environment (Berkeley Law) - Natural Resource Governance Institute (NRGI).
- Eshetu, G. G., y otros (2019), "Solid electrolytes for lithium metal and future lithium-ion batteries". En: A. Eftekhari (ed.), *Future Lithium-ion Batteries*, Royal Society of Chemistry.
- European Commission (2020), "State aid: Commission opens in-depth investigation into public support for expansion of LG Chem's electric vehicles battery plant in Poland". European Commission. Brussels, European Commission (IP/20/1470), 2.
- Fact.MR (2019), "Lithium-ion battery cathode market forecast, trend analysis & competition tracking-Global Market Insights 2019 to 2029". Reporte en línea: <https://www.factmr.com/report/3816/lithium-ion-battery-cathode-market>.
- Fagerberg, J., D. C. Mowery and B. Verspagen (2009), "The evolution of Norway's national innovation system". *Science and Public Policy*, 36(6), 431-444.
- Flexer, V., C. F. Baspineiro y C. I. Galli (2018), "Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing". *Science of The Total Environment*, 639, 1188-1204.
- Fornillo, B. M. (2019), *Litio en Sudamérica. Geopolítica, energía y territorios*. Instituto de Estudios de América Latina y el Caribe - Ed. El Colectivo – CLACSO, Buenos Aires, Argentina.
- _____(2017), "La política del MAS en los proyectos de desarrollo estratégicos. Discusiones en Bolivia en torno al caso del litio". *Revista Política Latinoamericana*, 4, 1-14.
- _____(2015a), "Del salar a la batería": Política, ciencia e industria del litio en la Argentina. En: B. Fornillo (ed.), *Geopolítica del Litio: Industria, Ciencia y Energía en Argentina*. Editorial El Colectivo, Buenos Aires, Argentina.
- _____(2015b), "¿Nueva energía Argentina? Política, ciencia e industria del litio". *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 26(51), 271-304.
- Frigant, V. y J.-B. Layan (2009), "Modular production and the new division of labour within Europe. The perspective of French automotive parts suppliers". *European Urban and Regional Studies*, 16(1), 11-25.
- Frigant, V. y S. Miollan (2014), "The geographical restructuring of the European automobile industry in the 2000s". Munich Personal RePEc Archive (MPRA) Paper No. 53509, 1-26.
- Fundación Solón (2019), "Litio boliviano ¿Industrialización o extractivismo?". *TUNUPA*, No. 108, 1-9. Fundación Solón, La Paz, Bolivia.
- Goldie-Scot, L. (2019), "A Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices". BloombergNEF [disponible en línea] <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>.

- Goldman, A. R., F. Rotondo y J. Swallow (2019), *Lithium Ion Battery Industrial Base in the U.S. and Abroad*. Institute for Defense Analyses (IDA), Document D-11032.
- Gómez-Gélvez, J. A., C. H. Mojica, V. Kaul y L. Isla (2016), *The incorporation of electric cars in Latin America*. Washington DC, Inter-American Development Bank.
- Grágeda, M. (2020), "El litio y la transición energética en Chile". Presentación en el Seminario Internacional ABC del Litio Sudamericano, 8-9 de octubre, Buenos Aires, Argentina.
- Grageda, M., A. Gonzalez, A. Quispe y S. Ushak (2020), "Analysis of a process for producing battery grade lithium hydroxide by membrane electrodialysis". *Membranes*, 10(9), 198.
- Gylfason, T. (2001), "Natural resources, education, and economic development". *European Economic Review*, 45(4), 847-859.
- Harper, G., R. Sommerville, E. Kendrick, L. Driscoll, P. Slater, R. Stolkin, A. Walton, P. Christensen, O. Heidrich, S. Lambert, A. Abbott, K. Ryder, L. Gaines y P. Anderson (2019), "Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles". *Nature*, 575(7781), 75-86.
- Hirschman, A. O. (1981), "A generalized linkage approach to development, with special reference to staples". En: Albert O. Hirschman (ed.), *Essays in Trespassing: Economics to Politics and Beyond*. Cambridge University Press.
- Hofer, J. (2020), *The future of energy storage: cobalt and lithium markets strategic view*. Benchmark Mineral Intelligence Contact, London, UK.
- Home, A. (2019), "Boom-and-bust lithium market needs a pricing rethink". Documento en línea s [en línea] <https://www.reuters.com/article/metals-lithium-ahome/column-boom-and-bust-lithium-market-needs-a-pricing-rethink-andy-home-idUSL8N23V4IE>.
- Hongyang, C. y H. Hui (2020), *China announced 2020-2022 subsidies for new energy vehicles*. The International Council on Clean Transportation (ITCCT) Policy Updates.
- Hu, Y., Z. Wang y X. Li (2020), "Impact of policies on electric vehicle diffusion: An evolutionary game of small world network analysis". *Journal of Cleaner Production*, 265, 121703.
- Huisman, J., T. Ciuta, F. Mathieux, S. Bobba, K. Georgitzikis y D. Pennington (2020a), "RMIS – Raw Materials in the Battery Value Chain". Joint Research Centre (JRC). Luxembourg, European Commission.
- _____ (2020b), "RMIS, raw materials in the battery value chain: final content for the Raw Materials Information System : strategic value chains : batteries section". Joint Research Centre (European Commission).
- Humphrey, J. y O. Memedovic (2003) "The global automotive industry value chain: what prospects for upgrading by developing countries". UNIDO Sectorial Studies Series Working Paper.
- Humphrey, J. and H. Schmitz (2002), "How does insertion in global value chains affect upgrading in industrial clusters?" *Regional studies* 36(9), 1017-1027.
- IEA (2020), "Global EV Outlook 2020 - Entering the decade of electric drive?". Paris, Francia.
- Ingeborgrud, L. y M. Ryghaug (2019), "The role of practical, cognitive and symbolic factors in the successful implementation of battery electric vehicles in Norway". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 130, 507-516.
- Iorio, P. and M. E. Sanin (2019), "Acceso y asequibilidad a la energía eléctrica en América Latina y El Caribe". Inter-American Development Bank.
- Jerez, H. B. (2018), "Impacto socioambiental de la extracción de litio en las cuencas de los salares altoandinos del Cono Sur". Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina (OCMAL), Santiago de Chile.
- Jerez, H. B., S. Uribe y R. Morales (2021), "Salares andinos. Ecología de saberes por la protección de nuestros salares y humedales". Fundación Tanti, San Pedro de Atacama, Chile.
- Kalantzakos, S. (2020), "The race for critical minerals in an era of geopolitical realignments". *The International Spectator*, 55(3), 1-16.
- Katz, J. (2020), "Recursos naturales y crecimiento. Aspectos macro y microeconómicos, temas regulatorios, derechos ambientales e inclusión social". Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/14), Santiago, Chile.
- Kavanagh, L., J. Keohane, G. Garcia Cabellos, A. Lloyd y J. Cleary (2018), "Global lithium sources—industrial use and future in the electric vehicle industry: a review". *Resources*, 7(3), 57.
- Kazimierski, M. A. (2018), "Energy storage towards the imminent renewable paradigm: the role of ion-lithium batteries and South American perspectives". *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (23), 108-132.

- Ke, Y.-K. and T.-H. Wu (2019), "Application of lithium-ion batteries in energy storage systems". *Journal of Marine Science and Technology-Taiwan*, 27(4), 326-331.
- Kester, J., L. Noel, G. Z. de Rubens y B. K. Sovacool (2018), "Policy mechanisms to accelerate electric vehicle adoption: a qualitative review from the Nordic region". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 719-731.
- Kohl, B. y L. Farthing (2012), "Material constraints to popular imaginaries: The extractive economy and resource nationalism in Bolivia". *Political Geography*, 31(4), 225-235.
- Kumar, V. (2020), *Lithium ion battery supply chain technology development and investment opportunities*. Carnegie Mellon University Battery Seminar, Benchmark Mineral Intelligence.
- LaRocca, M. G. (2020), *Global Value Chains: Lithium in Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles*. Office of Industries Working Paper ID-069.
- Lebedeva, N., F. Di Persio y L. Boon-Brett (2016), *Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe*. Petten, European Commission.
- Lennon, A., Y. Jiang, C. Hall, D. Lau, N. Song, P. Burr, C. P. Grey y K. J. Griffith (2019), "High-rate lithium ion energy storage to facilitate increased penetration of photovoltaic systems in electricity grids". *MRS Energy & Sustainability: A Review Journal*, 6, 1-18.
- Li, X., B. Meng y Z. Wang (2019), "Recent patterns of global production and GVC participation". En: World Trade Organization (WTO), the Institute of Developing Economies (IDE-JETRO), the Organisation for Economic Co-operation and Development, the Research Center of Global Value Chains headquartered at the University of International Business and Economics (RCGVC-UIBE), the World Bank Group, and the China Development Research Foundation (editors), *Global Value Chain Development Report 2019 : Technological Innovation, Supply Chain Trade, and Workers in a Globalized World*. World Trade Organization.
- Liang, G., V. K. Peterson, K. W. See, Z. Guo y W. K. Pang (2020), "Developing high-voltage spinel LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O₄ cathodes for high-energy-density lithium-ion batteries: current achievements and future prospects". *Journal of Materials Chemistry A*, 8(31), 15373-15398.
- Liu, W., D. B. Agusdinata and S. W. Myint (2019), "Spatiotemporal patterns of lithium mining and environmental degradation in the Atacama Salt Flat, Chile". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 80, 145-156.
- López, A., M. Obaya, P. Pascuini y A. Ramos (2019), *Litio en la Argentina. Oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor*. Buenos Aires. Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación - Banco Interamericano de Desarrollo.
- López, M. y E. Vargas (2021), "Ecología y economía en proyecciones ambientales espurias para salares altoandinos. Salares Andinos". En: B. Jerez, S. Uribe y R. Morales (Editores), *Ecología de Saberes por la Protección de Nuestros Salares y Humedales*. Fundación Tanti, San Pedro de Atacama.
- Lutsey, N. and M. Nicholas (2019), "Update on electric vehicle costs in the United States through 2030". International Council on Clean Transportation (ICCT) Working Paper 2019-06.
- McKinsey & Company (2020) "McKinsey Electric Vehicle Index: Europe cushions a global plunge in EV sales" Documento disponible [en línea] <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mckinsey-electric-vehicle-index-europe-cushions-a-global-plunge-in-ev-sales>.
- Marchegiani, P. (2021), El momento del litio: es tiempo de hacerse las preguntas adecuadas. Salares Andinos. En: B. Jerez, S. Uribe y R. Morales (Editores), *Ecología de Saberes por la Protección de Nuestros Salares y Humedales*. Fundación Tanti, San Pedro de Atacama.
- Markusen, A. (1996), "Sticky places in slippery space: A typology of industrial districts". *Economic Geography*, 72(3), 293-313.
- Maxwell, P. (2015), "Transparent and opaque pricing: The interesting case of lithium". *Resources Policy*, 45, 92-97.
- Mayyas, A., D. Steward y M. Mann (2019), "The case for recycling: Overview and challenges in the material supply chain for automotive li-ion batteries". *Sustainable Materials and Technologies*, 19, e00087.
- Mazzucato, M. (2018a), "Mission-oriented innovation policies: challenges and opportunities". *Industrial and Corporate Change*, 27(5), 803-815.
- _____(2018b), *Mission-oriented research & innovation in the European Union. A problem-solving approach to fuel innovation-led growth*. Brussels, European Commission.

- McKinsey (2020) "McKinsey Electric Vehicle Index: Europe cushions a global plunge in EV sales". Documento disponible [en línea] <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mckinsey-electric-vehicle-index-europe-cushions-a-global-plunge-in-ev-sales>
- Mignaqui, V. (2020), "Impactos ambientales por extracción del litio en salmuera en la Puna argentina: un llamado a la investigación". *Ambiens*, 2(4), 68-84.
- Ministerio de Energía y Minería (MINEM, 2018) "*Situación actual y perspectivas*". MINEM de la República Argentina.
- Ministerio de Desarrollo Productivo (2020), "*Proyecto Ley de Movilidad Sustentable*". Ministerio de Desarrollo Productivo de la República Argentina.
- Montenegro, B. J. C. (2018), "El modelo de industrialización del litio en Bolivia". *Revista de Ciencias Sociales (Segunda Época)*, 10(34), 69-82.
- Montenegro, B. J. C. e Y. Montenegro Pinto (2014), El proyecto estatal de industrialización del litio y potasio en Bolivia. Impactos previstos. En: R. O. Calla, J. C. Montenegro, Y. Montenegro y P. Poveda (eds.), Un presente sin futuro: el proyecto estatal del litio en Bolivia. Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA), La Paz, Bolivia.
- Moreno-Brieva, F. y R. Marín (2019), "Technology generation and international collaboration in the Global Value Chain of Lithium Batteries". *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 232-243.
- Morris, M., R. Kaplinsky and D. Kaplan (2012), "'One thing leads to another'. Commodities, linkages and industrial development". *Resources Policy*, 37(4), 408-416.
- Morrison, A., C. Pietrobelli y R. Rabellotti (2008), "Global value chains and technological capabilities: a framework to study learning and innovation in developing countries". *Oxford Development Studies*, 36(1), 39-58.
- Nacif, F. (2012), "Bolivia y el plan de industrialización del litio: un reclamo histórico". *Revista del Centro Cultural de la Cooperación*, 300, 14-15.
- Nian, V., M. P. Hari y J. Yuan (2019), "A new business model for encouraging the adoption of electric vehicles in the absence of policy support". *Applied Energy*, 235, 1106-1117.
- Obaya, M. (2019), "Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en el Estado Plurinacional de Bolivia". *Documentos de Proyectos (LC/TS.2019/49)*, Santiago, Chile.
- Obaya, M., A. López y P. Pascuini (2020), "Curb your enthusiasm. Challenges to the development of lithium-based linkages in Argentina". *Resources Policy*, 70, 101912.
- Obaya, M. y P. Pascuini (2020), "Estudio comparativo sobre los modos de gobernanza del litio en la Argentina, Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia". En: M. León, C. Muñoz y J. Sánchez (editores), *La gobernanza del litio y el cobre en los países andinos*, Santiago de Chile.
- Olivera, M. (2017), "*La industrialización del litio en Bolivia: un proyecto estatal y los retos de la gobernanza, el extractivismo histórico y el capital internacional*". UNESCO/CIDES.
- Ovadia, J. S. (2014), "Local content and natural resource governance: The cases of Angola and Nigeria". *The Extractive Industries and Society*, 1(2), 137-146.
- Page, S. (2007), "*Policy space: Are WTO rules preventing development?*", Overseas Development Institute.
- Pagliaro, M. y F. Meneguzzo (2019), "Lithium battery reusing and recycling: A circular economy insight". *Heliyon*, 5(6), e01866.
- Paredes, R. (2017), "*La Red del Futuro: Desarrollo de una red eléctrica limpia y sostenible para América Latina*". Banco Interamericano de Desarrollo.
- Pellegrini, L. (2016), "Resource Nationalism in the Plurinational State of Bolivia". En: P. A. Haslam y P. Heidrich (editores), *The political economy of natural resources and development: from neoliberalism to resource nationalism*. Routledge.
- Pillot, C. (2019), "The Rechargeable Battery Market and Main Trends 2018-2030". Annual International Battery Seminar & Exhibit. Avicenne Energy, Paris, Francia.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2020), "Movilidad eléctrica: Avances en América Latina y el Caribe 2019". Oficina para América Latina y el Caribe, Panamá.
- Poveda, B. R. (2020), "*Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile*". Serie Recursos Naturales y Desarrollo, No. 195 (LC/TS.2020/40), Santiago, Chile.
- Puchta, M. (2019), "Li-Ion Batteries for the Future of E-Mobility". Workshop Litiomanía. AHK, Buenos Aires, Argentina.

- Puente, F. y M. Argento (2015), Conflictos territoriales y construcción identitaria en los salares del noroeste argentino. En: B. Fornillo (ed.), *Geopolítica del Litio: Industria, Ciencia y Energía en Argentina*. Editorial El Colectivo, Buenos Aires, Argentina.
- Quirós-Tortós, J., L. Victor-Gallardo y L. Ochoa (2019), "Electric vehicles in Latin America: Slowly but surely toward a clean transport". *IEEE Electrification Magazine*, 7(2), 22-32.
- Readhead, A. (2018), "Monitoring the Value of Mineral Exports: Policy Options for Governments. Winnipeg". The International Institute for Sustainable Development (IISD) and the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).
- Revette, A. C. (2017), "This time it's different: lithium extraction, cultural politics and development in Bolivia". *Third World Quarterly*, 38(1), 149-168.
- Romero, V. J. (2019), "*Natural Resource Governance, Grievances and Conflict: The Case of the Bolivian Lithium Program*", Springer Nature.
- Rosina, M. (2018), "Li-ion battery packs for automotive and stationary storage applications". Véanse más detalles [en línea] <https://www.i-micronews.com/products/li-ion-battery-packs-for-automotive-and-stationary-storage-applications-2020>.
- Rugman, A. M. y S. Collinson (2004), "The regional nature of the world's automotive sector". *European Management Journal*, 22(5), 471-482.
- Sachs, J. D., y A. M. Warner (1995), "*Natural resource abundance and economic growth*". Working Paper No. 5398, National Bureau of Economic Research.
- Scott, S. y R. Ireland (2020), "*Lithium-Ion battery materials for electric vehicles and their global value chains*". Office of Industries Working Paper No. ID-20-068.
- Secretaría de Minería (2020), "South America's Lithium Triangle and the Future of the Green Economy". Ministerio de Desarrollo Productivo, Buenos Aires, Argentina.
- Sharova, V., P. Wolff, B. Konersmann, F. Ferstl, R. Stanek y M. Hackmann (2020), "Evaluation of Lithium-Ion Battery Cell Value Chain". Working Paper Forschungsförderung, No. 168.
- Sistema de Información Online del Mercado Automotor de Argentina (SIOMAA, 2021), "Electromovilidad. Un repaso por el estado de la tecnología y el mercado. Buenos Aires, Asociación de Concesionarios Automotores de la República Argentina.
- Smith, K. (2007), "*Innovation and growth in resource-based economies. Competing from Australia*". CEDA. Melbourne, Committee for Economic Development of Australia.
- Song, Y., G. Li, Q. Wang, X. Meng y H. Wang (2020), "Scenario analysis on subsidy policies for the uptake of electric vehicles industry in China". *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 104927.
- Statharas, S., Y. Moysoglou, P. Siskos, G. Zazias y P. Capros (2019), "Factors influencing electric vehicle penetration in the EU by 2030: A model-based policy assessment". *Energies*, 12(14), 2739.
- Stokes, L. C. y H. L. Breetz (2018), "Politics in the U.S. energy transition: Case studies of solar, wind, biofuels and electric vehicles policy". *Energy Policy*, 113, 76-86.
- Sturgeon, T., J. Van Biesebroeck y G. Gereffi (2008), "Value chains, networks and clusters: reframing the global automotive industry". *Journal of Economic Geography*, 8(3), 297-321.
- Sturgeon, T. J., O. Memedovic, J. Van Biesebroeck y G. Gereffi (2009), "Globalisation of the automotive industry: main features and trends". *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, 2(1), 7-24.
- Tran, T. y V. T. Luong (2015), "Lithium production processes. Lithium Process Chemistry". En: A. Chagnes and J. Swiatowska (editors), *Lithium Process Chemistry. Resources, Extraction, Batteries, and Recycling*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Taylor, S. R. y S. M. McLennan (1985), *The continental crust: its composition and evolution*. Palo Alto, CA, Blackwell Scientific Pub.
- Teka, Z. (2012), "Linkages to manufacturing in the resource sector: The case of the Angolan oil and gas industry". *Resources Policy*, 37(4), 461-467.
- Thomas, V. y E. Maine (2019), "Market entry strategies for electric vehicle start-ups in the automotive industry—lessons from tesla motors". *Journal of Cleaner Production*, 235, 653-663.
- Turcheniuk, K., D. Bondarev, V. Singhal and G. Yushin (2018), "Ten years left to redesign lithium-ion batteries". *Nature* 559(7715), 467-470.
- UBS (2017) "UBS evidence lab electric car teardown – disruption ahead?". Documento disponible [en línea] <https://neo.ubs.com/shared/d1wkuDIEbYPjF/>

- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD, 2014), "World Investment Report 2013. Global Value Chains: Investment and Trade for Development". Geneva, UNCTAD.
- U.S. Geological Survey (USGS, 2021), "Mineral Commodity Summaries 2021". U.S. Geological Survey.
- _____(2020), Mineral commodity summaries 2020, U.S. Geological Survey.
- _____(2011), Mineral commodity summaries 2020, U.S. Geological Survey.
- Valta, J., S. Mäkinen, K. Kotilainen, A. Rautiainen y P. Järventausta (2018), "Comparison of Innovation Policies for Electric Vehicle Business Ecosystems". 15th International Conference on the European Energy Market (EEM).
- Velandia Vargas, J. E., J. E. Seabra, C. K. Cavaliero, A. Walter, S. P. Souza y D. G. Falco (2020), "The new neighbor across the street: an outlook for battery electric vehicles adoption in Brazil". *World Electric Vehicle Journal*, 11(3), 60.
- Vetter, M., S. Lux y J. Wüllner (2019), "Chapter 10: Battery storage for grid connected PV applications". En: A. Eftekhari (ed.), *Future Lithium-ion Batteries*, Royal Society of Chemistry.
- Vikström, H., S. Davidsson y M. Höök (2013), "Lithium availability and future production outlooks". *Applied Energy*, 110, 252-266.
- Vivaldi, E. (2021), "Presentación ante sesión especial del Senado sobre asignación del fondo para el desarrollo de energías renovables y del hidrógeno". Santiago de Chile.
- Wang, H. y C. Kimble (2013), "Innovation and leapfrogging in the Chinese automobile industry: examples from Geely, BYD, and Shifeng". *Global Business and Organizational Excellence*, 32(6), 6-17.
- World Bank (2020), "Reuse and Recycling: Environmental Sustainability of Lithium-Ion Battery Energy Storage Systems". World Bank, Washington.
- World Economic Forum (2019), "A vision for a sustainable battery value chain in 2030. unlocking the full potential to power sustainable development and climate change mitigation". Geneva, World Economic Forum/Global Battery Alliance.
- Wu, Z. y D. Kong (2018), "Comparative life cycle assessment of lithium-ion batteries with lithium metal, silicon nanowire, and graphite anodes". *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(6), 1233-1244.
- Xu, P., J. Hong, X. Qian, Z. Xu, H. Xia, X. Tao, Z. Xu y Q.-Q. Ni (2020), "Materials for lithium recovery from salt lake brine". *Journal of Materials Science*, 56, 16-63.
- Zeng, X., M. Li, D. Abd El-Hady, W. Alshitari, A. S. Al-Bogami, J. Lu y K. Amine (2019), "Commercialization of Lithium Battery Technologies for Electric Vehicles". *Advanced Energy Materials*, 9(27), 1900161.
- Zhou, N., Q. Wu y X. Hu (2020), "Research on the policy evolution of China's new energy vehicles industry". *Sustainability*, 12(9), 3629.

El propósito del presente documento es contribuir a mejorar la comprensión de las implicaciones que el funcionamiento de las redes globales de producción (RGP) de baterías de ion de litio tiene sobre el denominado triángulo del litio (Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de) y Chile). La investigación tiene cuatro objetivos: primero, analizar el impacto de la estructura y las dinámicas que se desenvuelven en las RGP sobre la producción de compuestos de litio, a fin de comprender cuáles son los principales actores, el papel que desempeñan y la distribución geográfica de sus actividades productivas y de comercialización; segundo, examinar las oportunidades y obstáculos que presenta una mayor localización de funciones y operaciones productivas en cada uno de estos países, en distintos segmentos de la RGP; tercero, analizar las políticas tecno-productivas para el desarrollo de capacidades tecnológicas y su potencial para mejorar la posición dentro de las RGP, y cuarto, identificar oportunidades y desafíos de colaboración, para lo cual se proponen cuatro áreas: ciencia y tecnología, precios de compuestos de litio, desarrollo de un mercado regional de electromovilidad y gobernanza del recurso. Finalmente, se plantea que una cooperación transfronteriza potenciaría la posición relativa, creando condiciones para un mayor protagonismo.