

ORBITA

Observatorio Regional Bonaerense
de Innovación Tecnológica

Documento de Trabajo N° 3

Versión extendida

Industrialización del litio en la Provincia de Buenos Aires

Cadena de valor, estructura del mercado mundial y oportunidades para el agregado de valor provincial a partir de baterías de ion-litio

SUBSECRETARÍA DE
CIENCIA, TECNOLOGÍA
E INNOVACIÓN

MINISTERIO DE
PRODUCCIÓN, CIENCIA E
INNOVACIÓN TECNOLÓGICA



GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE
BUENOS AIRES

Autoridades

Gobernador de la Provincia de Buenos Aires

Axel Kicillof

Vicegobernadora de la Provincia de Buenos Aires

Verónica Magario

Ministro de Producción, Ciencia e Innovación Tecnológica de la Provincia de Buenos Aires

Augusto Costa

Subsecretario de Ciencia, Tecnología e Innovación

Federico Agüero

Dirección

Alejandro Massa

Alex Kodric

Elaboración

Santiago Salinas

Asistencia y colaboración

Denise Roskell

Ángela María Candreva

Iván Nahuel Ares Rossi

Matías Mancini

Edición:
Equipo de Comunicación
Subsecretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación

Fecha de divulgación: Octubre 2021

Índice

4	Resumen Ejecutivo	20	4. Baterías de ión-litio y sector productivo provincial: actores involucrados y oportunidades para el agregado de valor local
5	1. Baterías de ion-litio		
5	1.1. Definición y principales características	20	4.1. Actores nacionales vinculados a baterías de ión-litio
6	1.2. Tipologías		
9	1.3. Prospectiva tecnológica	24	4.2. Lineamientos para la industrialización provincial desde la oferta
12	2. Cadena de valor de las baterías de ion-litio	25	4.3. Lineamientos para la industrialización provincial desde la demanda
12	2.1. Descripción		
12	2.2. Incidencia por etapa y componente en el costo final de una batería	30	5. Opinión de un especialista: oportunidades para el agregado de valor provincial
13	3. Estructura del mercado mundial de baterías de ion-litio	34	6. Comentarios finales
13	3.1. Análisis por países		
17	3.2. Análisis por empresas	36	7. Glosario de abreviaturas
		38	8. Bibliografía

Resumen Ejecutivo

Las baterías de ion-litio están conformadas por celdas electroquímicas constituidas por un conjunto de cuatro elementos: un cátodo (o electrodo positivo), un ánodo (o electrodo negativo), un electrolito y un separador. Los electrodos contienen material reactante que les permite recibir y ceder electrones mediante una reacción electroquímica que genera electricidad y hace posible operar artefactos eléctricos sin necesidad de que se encuentren enchufados a una red. El separador aparta a los materiales reactantes uno del otro, previniendo un cortocircuito mientras que el electrolito los une y les permite realizar la reacción. Asimismo, las celdas de las baterías se encuentran conectadas entre sí junto a un controlador, que consiste en un chip que regula los parámetros de operación de la batería para garantizar su óptimo funcionamiento.

Desde su emergencia en la década de los 90, las baterías de ion-litio han incrementado progresivamente su importancia económica, constituyéndose actualmente no sólo como la principal fuente de demanda de litio entre sus distintas aplicaciones industriales, sino también convirtiéndose en un componente central para el desarrollo de industrias como la electrónica de consumo, equipos industriales, equipamiento y dispositivos médicos, entre otros. Además, en los últimos años también han adquirido un rol central en el contexto de las acciones enmarcadas en la transición energética para abordar los desafíos planteados por la crisis climática, específicamente dada la centralidad de las baterías de ion-litio tanto para los segmentos de vehículos eléctricos y otros equipos que forman parte del paradigma de la movilidad sustentable y así como para potenciar la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables.

A pesar de encontrarse disponibles en el mercado desde hace más de tres décadas, las baterías de ion-litio continúan sujetas a investigaciones para perfeccionar su desempeño y reducir sus costos, incluyendo dimensiones como la mejora de las composiciones químicas existentes de sus partes (electrodos, separadores y electrolitos), uso de nuevos materiales y composiciones químicas y perfeccionamiento del proceso de reciclado. Ésto, junto al hecho del probable crecimiento de su mercado impulsado por los sectores demandantes antes descriptos, convierten a las baterías en un sector de actividad que ofrece no sólo posibilidades para el agregado de valor local sino también ventanas de oportunidad para el ingreso de nuevos jugadores en el mercado. En este marco, a partir de un análisis de la prospectiva tecnológica del sector, las características de los distintos eslabones constitutivos de su cadena de valor y la configuración del mercado mundial de cada uno de ellos, junto al estudio de la estructura productiva provincial para detectar potenciales sectores demandantes que traccionen su crecimiento, se analiza la posibilidad que ofrece el desarrollo de un sector local de baterías para el entramado productivo de la provincia de Buenos Aires.

1. Baterías de ion-litio

1.1. Definición y principales características

Las baterías son dispositivos que permiten utilizar un artefacto eléctrico sin necesidad de enchufarlo a la red eléctrica, dado que convierten la energía química que almacenan sus átomos en energía eléctrica. Se tratan de **celdas electroquímicas** constituidas a su vez por semiceldas o electrodos de dos tipos: el cátodo y el ánodo. El **ánodo** o electrodo negativo es una lámina de cobre (colector) cubierta en una de sus caras por material reactante,¹ que cede electrones en la reacción de descarga. Por su parte, el **cátodo** o electrodo positivo es una hoja de aluminio (colector) cubierta en una de sus caras por una pintura que contiene material reactante (óxidos y fosfatos metálicos) [1]² que recibe los electrones durante la reacción de descarga. La calidad del material catódico tiene una incidencia determinante en el rendimiento de la celda, calidad que comienza con la producción de las propias materias primas. Consecuentemente, muchos de los principales fabricantes de celdas desarrollan internamente líneas de producción de material catódico, como Panasonic (Japón), LG Chem (Corea del Sur) y BYD (China) [1] [2].

En general, los **materiales reactantes** en las baterías de ion-litio³ son materiales de intercalación que llevan este nombre porque tienen la característica de albergar iones de litio (átomos de litio con carga positiva) que se intercalan en su estructura. Tanto en el ánodo como en el cátodo, los iones de litio pueden entrar o salir sin que el ordenamiento de los átomos que conforman al material se destruya.⁴

En la reacción de descarga los electrones migran desde el ánodo a través del terminal negativo, brindan energía eléctrica al aparato al que estén conectados, y llegan al cátodo a través del terminal positivo. Por su parte, el **separador** consta de una lámina muy fina de polímeros (plástico) con pequeños poros, y está “embebido” con un líquido (o gel) [2] que se denomina **electrolito**, constituido por hexafluorofosfato de litio (sal de litio). El separador “separa” los materiales reactantes (para evitar un cortocircuito⁵) al tiempo que el electrolito los une y les permite reaccionar.

Para que la reacción ocurra, los iones de litio que se encuentran intercalados en el material reactante del ánodo deben atravesar el separador en dirección al cátodo e intercalarse en el material reac-

¹ Por lo general, se aplica grafito natural, grafito artificial u otras formas de carbono. Más recientemente, también han comenzado a emplearse óxidos y aleaciones de estaño y silicio, y titanato de litio (LTO) [1] [2].

² En general, se procesa químicamente hidróxido de litio y otros materiales (manganeso, cobalto, níquel) para obtener una suspensión de material catódico [2].

³ Las principales tecnologías alternativas, en lo que respecta a baterías recargables aparte de las de ion-litio, son Níquel/Cadmio (Ni/Cd), Níquel/Hidruro Metálico (Ni/HM), plomo ácido, sodio azufre y de flujo.

⁴ El litio es sumamente reactivo, con un único electrón de valencia que es fácilmente entregado para conformar uniones con otras moléculas. El elevado potencial electroquímico del litio (su predisposición para transferir electrones) lo vuelve ideal para la conformación de baterías, a la vez que explica que en estado natural no se halle en forma pura [2].

⁵ Si el cátodo y el ánodo entraran en contacto, la reacción química que involucra el movimiento de iones de litio y electrones se aceleraría de manera incontrolable produciendo un incendio o explosión.

tante del cátodo. Los iones atraviesan el separador y el electrolito es su medio de transporte, una especie química que permite el movimiento de átomos cargados (iones) pero no de electrones. Éstos últimos, al verse imposibilitados de atravesarlo, viajarán desde el ánodo hacia el cátodo a través del camino que se le imponga, en este caso, aquel que conduce hacia el dispositivo que se pretende hacer funcionar.

Cuando la batería está totalmente descargada, no hay más iones de litio que se puedan extraer del material anódico (ni tampoco electrones), por lo tanto es necesario invertir la reacción. Para esto se enchufa la batería, haciendo que la corriente eléctrica proveniente de la red cargue los electrodos, los electrones se acumulen en el ánodo y los iones de litio viajen desde el cátodo hacia el ánodo, atravesando el separador. Al culminar la carga, los materiales vuelven a su forma inicial [3].

Para hacer una batería, las celdas deben conectarse entre sí, y junto a ellas se agrega un **controlador**, que es un chip que controla la tensión, la temperatura, la corriente y la carga de cada celda. Con esos datos se puede saber en todo momento cómo está funcionando la batería, qué cantidad de carga tiene y cuántos ciclos de vida le quedan. Es decir, se trata de toda la información requerida para optimizar el uso de la batería. Además, si por alguna causa se superara el voltaje establecido y la batería se volviera inestable o corriera peligro de estallar o de prenderse fuego, el controlador evita que esto suceda desconectando automáticamente la batería de la carga o del cargador de la batería [4].

Por otro lado, las baterías de ion-litio tienen importantes **ventajas** prácticas sobre otros tipos de baterías:

- Mayor densidad energética y ocupan menos espacio.
- Su ciclo de vida es más largo.
- Menor peso a igual volumen.
- Pueden cargarse y descargarse más rápido.
- Poseen una descarga lineal, es decir, el voltaje de la batería no varía durante su operación, lo que evita tener que incorporar un regulador para este aspecto.
- Tienen una baja tasa de autodescarga (pérdida de carga aunque no se use).
- Aptas para suministrar aplicaciones que requieren una elevada corriente (como herramientas eléctricas).
- Involucran menos mantenimiento.
- Se pueden fabricar en masa.
- Generan más voltios [2].

1.2. Tipologías

Existen distintos elementos que se utilizan para fabricar los diferentes componentes de las celdas de baterías de ion-litio.⁶ Esta **heterogeneidad** deriva de la multiplicidad de aplicaciones específicas a las que pueden estar sujetas las baterías, en particular debido a que cada función involucra diversos grados de voltaje de la celda, densidad energética⁷ (Wh/kg de cátodo), densidad de potencia (W/kg de cátodo), máxima temperatura segura de funcionamiento, número posible de ciclos de

⁶ Níquel (Ni), cobalto (Co), manganeso (Mn), aluminio (Al), cobre (Cu), silicio (Si), estaño (Sn), titanio (Ti) y carbono (C) en una variedad de formas (por ejemplo, grafito natural o sintético). Estos elementos se obtienen a partir de materias primas extraídas de la corteza terrestre o recuperadas del agua. Algunos de estos materiales tienen una gran importancia económica a la vez que existe un alto riesgo en su abastecimiento, y como tales se denominan "materias primas críticas".

⁷ Capacidad de almacenamiento de energía por volumen.

carga/descarga, efecto-memoria, seguridad, y costo, que determinan distintas combinaciones de compuestos. Tal como se verá más adelante, la industria de baterías continúa avanzando actualmente en la investigación y desarrollo de nuevos sustratos para ánodos, cátodos y electrolitos. Según los sustratos que componen los **cátodos**, las baterías de ion-litio se clasifican en:

Tipos de baterías de ion-litio según composición del material catódico y participación en el mercado mundial de material catódico (% en toneladas, 2015)

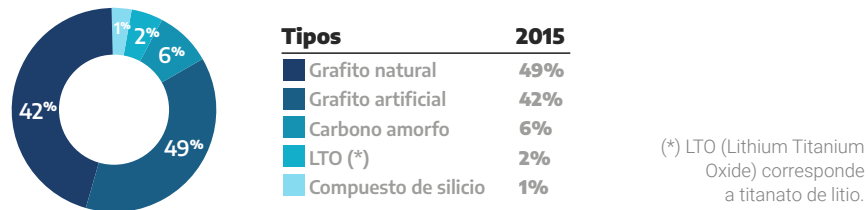
Acrónimo	Denominación	Aplicaciones principales	Características	% de Mercado
NMC	Litio, níquel, manganeso, óxido de cobalto	Movilidad eléctrica, microelectrónica, herramientas eléctricas	Menor densidad energética que las LCO y con algunas cuestiones de seguridad, pero otorga mayor autonomía a los vehículos.	29%
LCO	Óxido de cobalto-litio	Electrónica de consumo	Primera batería producida industrialmente en 1991. Densidad energética alta pero con problemas de seguridad por sobrecalentamiento o sobrecarga.	26%
LFP	Litio-Ferrosulfato	Movilidad eléctrica, industrial estacionario, microelectrónica, herramientas eléctricas	Menor densidad energética que las LCO pero más barata (al no usar cobalto) y tiene el mayor nivel de seguridad entre los distintos compuestos.	23%
LMO	Litio, manganeso, espínela	Herramientas eléctricas y movilidad (futuro)	Menor densidad energética que las LCO pero más barata (al no usar cobalto).	12%
NCA	Litio, níquel, cobalto, aluminio	Movilidad eléctrica, electrónica, almacenamiento de energía eléctrica	Alta densidad energética, potencia y vida útil, pero con limitantes de seguridad y costos.	10%
Otros en desarrollo	LS	Litio-azufre	Movilidad eléctrica	N/C
	LO	Litio-aire (oxígeno)	Movilidad eléctrica	N/C

Fuente: elaboración propia sobre la base de CIECTI (2015) [7], Unión Europea (2017) [1] y López y col. (2019) [6].

Tal como fue mencionado, la composición variable del material catódico determina que cada tipo de batería tenga **rendimientos diferentes** en cada aspecto técnico. Así, por caso, las baterías NCA poseen un ciclo de vida prolongado, un costo relativo medio y densidades energética y de potencia elevadas; como contraparte son las que poseen un menor desempeño en términos de seguridad con respecto a otras tipologías. Por el contrario, las baterías LFP son de los tipos más seguros y presentan un ciclo de vida similar a las NCA. Sin embargo, son relativamente más costosas que aquellas, a la vez que detentan densidades energéticas y de potencia comparativamente menores.

Por su parte, a pesar de que las baterías de ion-litio suelen ser principalmente clasificadas de acuerdo a la composición del material catódico, el **ánodo** también puede estar conformado por distintos materiales:

Tipos de baterías de ion-litio según composición del material anódico y participación en el mercado mundial de material anódico (% en toneladas, 2015)



Fuente: elaboración propia sobre la base de Unión Europea (2017) [1].

Las baterías de litio también pueden diferenciarse según los **formatos de la presentación de sus celdas**. Dependiendo de la aplicación, las mismas pueden ser: cilíndrica, prismática o *pouch* (bolsa) [5]:

Baterías de ion-litio según formato de presentación



Fuente: elaboración propia sobre la base de Choi & Aurbach (2016) [13].

Las celdas **cilíndricas** corresponden al diseño original para productos de electrónica de consumo desde 1990, que luego también fue incorporado por la industria automotriz. La principal ventaja de este formato corresponde a una mayor densidad energética, pero a expensas de un menor ratio de energía/volumen. También permiten diseños de baterías flexibles, dadas las conexiones paralelas de un alto número de celdas, aunque el diseño del packaging es más complejo. Se considera que el formato cilíndrico ha alcanzado la madurez tecnológica (existen varios tamaños estandarizados), permitiendo uno de los ratios \$/kWh más bajos.

Las celdas **prismáticas** son desarrolladas a medida para ser aplicadas en la industria automotriz. Constituyen el formato de celdas más seguro, poseen una elevada integridad mecánica y pueden insertarse fácilmente en un pack de baterías. Sin embargo, cuentan con un bajo nivel de densidad energética relativa y una carcasa (*housing*) costosa.

Las celdas **pouch (bolsa)** también son desarrolladas a medida, sin tamaños estandarizados. Las mismas son livianas, flexibles y simples, facilitando su producción en masa. No obstante, son más sensibles a factores ambientales (humedad y elevadas temperaturas), y presentan una tendencia a hincharse, pudiendo dañar a la batería en su conjunto.

Estas diferencias en el diseño de las celdas inciden en su **proceso de producción**. Las celdas cilíndricas y prismáticas contienen el llamado "rollo de gelatina" (*jelly roll*), la pila enrollada de láminas de ánodo y cátodo con un separador en el medio. Por su parte, la celda *pouch* consiste en la pila de electrodos individuales, que se cortan antes del ensamblaje de la celda y se apilan junto con hojas de separación entre ellas o se insertan en las "cavidades" del separador durante el plegado.

Finalmente, las baterías de ion-litio pueden clasificarse según su **uso**, esto es, en función del equipo o dispositivo específico que las incorpora como parte o principio de su funcionamiento. Si bien las baterías fueron desarrolladas inicialmente orientadas hacia la electrónica de consumo, en la actualidad su aplicación para electromovilidad (EVs, por sus siglas en inglés para *Electric Vehicles*) concentra la mayor parte del mercado:

Tipos de baterías de ion-litio según aplicación y participación en el mercado mundial de baterías (% en GWh, 2016)

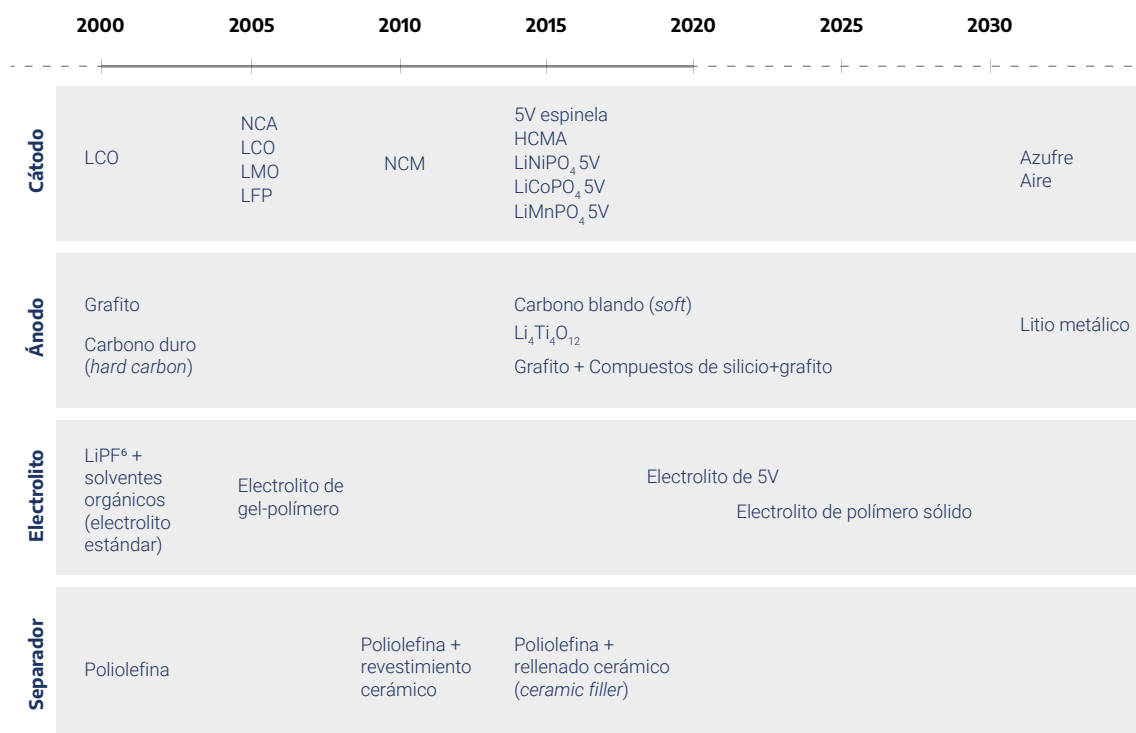
Tipos	Aplicaciones	% de Mercado
Movilidad (incluyendo buses)	HEV (vehículos eléctricos híbridos), P-HEV (vehículos eléctricos híbridos enchufables), EV (vehículos eléctricos), bicicletas eléctricas.	50%
SLI (<i>Start, Light, Ignition</i> o Arranque, Encendido e Ignición)	Baterías para luz, arranque y encendido (SLI) para automóviles, camiones, motos, botes, etc.	
Portátiles / Electrónica de Consumo	Dispositivos eléctricos de consumo, celulares, PC portátiles, tablets, cámaras, recopilación de datos, terminales portátiles.	35%
Herramientas eléctricas	Agujereadoras, taladros, destornilladores, herramientas de jardinería.	10%
Equipamiento Médico	Sillas de ruedas, carros médicos, dispositivos (herramientas quirúrgicas, instrumentos portátiles, rayos-X, ultrasonido, grandes concentradores de oxígeno).	
Equipos industriales	Telecomunicaciones, UPS (fuentes de energía para interrupciones), sistemas de almacenamiento de energía (EES o <i>Electrical Energy Storage</i>), iluminación de emergencia, seguridad, señalización ferroviaria, encendido de generadores diesel, tablero de control y distribución, auto-elevadores y otros equipos móviles.	5%

Fuente: elaboración propia sobre la base de López y col. (2019) [6] Pillot, C. & Sanders, M. (2017). [8].

1.3. Prospectiva tecnológica

Desde su emergencia en la década de los 90, las baterías de ion-litio han estado sujetas a una dinámica innovativa sobre sus técnicas productivas, diseño y, principalmente, la composición química de sus componentes:

Trayectoria histórica y prospectiva de las principales innovaciones de los componentes de baterías



Fuente: elaboración propia sobre la base de Rolland Berger Strategy Consultants (2012) [9].

En ese sentido, el desplazamiento de la frontera tecnológica del sector continúa en la actualidad. Los esfuerzos más significativos en materia de I+D+i están orientados hacia **mejoras incrementales** de las composiciones químicas de la mayoría de los componentes de las baterías existentes actualmente (cátodo, ánodo y electrolito), incluyendo sus materiales, técnicas de producción, sustitución y/o reciclaje de materiales críticos, con especial énfasis en el incremento de la densidad energética y en problemáticas aún no resueltas como la capacidad de carga rápida y una mayor ventana de temperatura de funcionamiento [1] [5]. Pero también existen líneas de investigación asociadas al desarrollo de nuevas composiciones químicas. A continuación se reseñan algunas de las principales tendencias:

- **Baterías de estado sólido:** involucran el uso de electrolitos en estado sólido a base de cerámicos (por ejemplo, óxidos, sulfuros, fosfatos) o polímeros, a diferencia de su presentación actual líquida o en gel. Los electrolitos sólidos actúan como separadores funcionales, permitiendo sólo el tránsito de iones de litio. Esto redundaría en mayores niveles de seguridad operativos, densidad energética, autonomía y menor tiempo de recarga, pero su difusión se encuentra limitada por su costo. A su vez, el reemplazo del electrolito líquido por uno sólido involucraría numerosas modificaciones en

el proceso productivo de la batería, tanto en la fabricación de electrodos, como en el ensamble de la celda y el proceso de cebado vía carga y descarga, principalmente vinculadas a la necesidad de llevar a cabo un mayor control del ambiente del proceso productivo, automatización y tecnologías de películas delgadas (*thin layer technologies*). Otras limitaciones están asociadas a la elevada temperatura necesaria para su funcionamiento (por ejemplo, superior a 80 °C en el caso de los vehículos) y a su estabilidad termodinámica [1] [5] [6].

- **Químicas alternativas (nuevas químicas):** el esfuerzo en I+D+i en químicas alternativas de baterías (principalmente litio-azufre y litio-aire), al involucrar materiales con una oferta mundial más abundante y menos concentrada, morigerarían las problemáticas asociadas al aprovisionamiento de minerales críticos, especialmente cobalto y grafito natural. Las primeras contienen cátodos de **azufre** de alta capacidad y ánodos de litio, que implica un menor costo de producción (dada la abundancia del material), menor impacto ambiental y alta densidad de energía. Los desafíos en su desarrollo se vinculan a la aislación de las propiedades de azufre y los sulfuros de litio, la disolución de polisulfuros de litio en el electrolito, el cambio de volumen en el cátodo durante el ciclo, la baja conductividad del azufre y la necesidad de pasivar las membranas en el ánodo para inhibir la formación de dendritas [5] [6]. Las segundas, que utilizan el **oxígeno del aire**, tienen la mayor densidad energética en términos teóricos. Sus principales desafíos están asociados al dominio de su principio de funcionamiento electroquímico, con electrodos de **litio metálico** que ofrecen un ratio de capacidad del ciclo de carga/descarga ineficiente, la inestabilidad de la solución de electrolitos y del cátodo, y el manejo y filtrado del aire. Adicionalmente, también se encuentran las baterías con ánodo de litio metálico, que incrementan la densidad energética pero que aún presentan problemas asociados al crecimiento de dendritas que provocan cortocircuitos, fallas e incendios.

- **Reciclado de baterías:** los principales esfuerzos se encuentran orientados a mejorar la efectividad del proceso de reciclado, el desarrollo de técnicas más eficientes, el establecimiento de estándares y prácticas para la recolección y transporte de baterías usadas y para la reutilización de baterías. En particular, el perfeccionamiento de las técnicas de reciclaje de minerales en baterías usadas no sólo permitiría una mayor sostenibilidad de la cadena productiva sino que representa, para la empresa/país que lo concentre, la posibilidad de mitigar su dependencia de las fuentes de aprovisionamiento y de una eventual inestabilidad del mercado mundial de estos insumos.

- **Baterías para el sector automotriz:** las proyecciones actuales refieren a una tendencia en investigación para crear celdas mejoradas para su aplicación automotriz basadas en químicas convencionales de ion-litio (NMC y LFP), desarrollando materiales avanzados (por ejemplo, ánodo enriquecido con silicio o electrolitos de estado sólido), en lugar de desarrollar nuevas composiciones químicas, al menos hasta 2025. Se especula una transición hacia tecnologías como litio-aire (Li-air), litio-azufre (Li-S) o ion-sodio (Na-ion) para 2030, por lo que la tecnología de iones de litio permanecería como la tecnología dominante al menos hasta 2025-2030 [1].

2. Cadena de valor de las baterías de ion-litio

A partir de los estudios relevados, puede concluirse que la **cadena de valor** correspondiente a la fabricación de baterías de ion-litio se encuentra conformada por **cinco etapas**. Asimismo, tal como se analiza a continuación, cada una de éstas presenta incidencias diferentes en el costo final y actores (tanto países como empresas) disímiles.

2.1. Descripción

De manera esquemática, la cadena de valor correspondiente a la fabricación de baterías de ion-litio puede representarse de la siguiente manera:

Cadena de valor simplificada de la fabricación de baterías de ion-litio

Etapa	Pasos simplificados	Descripción
Materias Primas ↓	Extracción y procesamiento de elementos de fuentes minerales sólidas o salmueras continentales.	Litio (Li), Níquel (Ni), Cobalto (Co)*, Manganeso (Mn), Aluminio (Al), Cobre (Cu), Silicio (Si)*, Estaño (Sn), Titanio (Ti), Carbono (C) en múltiples de formas, ej.: grafito natural* y sintético. *Materiales críticos dada su importancia económica y riesgo de abastecimiento (según clasificación de la UE).
Componentes de celdas ↓	Elaboración de materiales activos y su aplicación a hojas de aluminio y cobre. Conformación de materiales inactivos.	Cátodos: hojas de aluminio recubiertas con materiales activos (litio en combinación con elementos variables). Ánodos: hojas de cobre recubiertas con materiales activos (principalmente carbono en formas como grafito). Electrolito: mezcla líquida o gel de solventes orgánicos con una sal de litio conductora disuelta en ella. Material inactivo. Separadores: membranas poliméricas (poliolefina). Material inactivo.
Producción de celdas ↓	<ul style="list-style-type: none"> • Agrupamiento (<i>stack o wind</i>) de cátodo + separador + ánodo • Introducción en una bolsa (<i>pouch</i>), estuche o cilindro • Incorporación del electrolito • Sellado • Cebado (<i>priming</i>) de la celda vía carga/descarga 	Proceso complejo de múltiples pasos, con altas exigencias de control del ambiente para evitar que los compuestos de litio reaccionen con la humedad del aire que afecte la calidad, rendimiento y durabilidad de la batería. Los distintos formatos de presentación de las celdas también determinan variaciones en su proceso productivo. Las celdas prismáticas y cilíndricas siguen un proceso diferente a las <i>pouch</i> . El proceso de cebado (<i>priming</i>) de la celda una vez constituida consiste en cargarla y descargarla durante 3-4 semanas.
Ensamblado de pack de baterías ↓	<ul style="list-style-type: none"> • Ensamblado de celdas en packs de baterías • Conexión eléctrica de las celdas • Incorporación del sistema de manejo de la batería (controlador) 	Suele ser un proceso localizado en las cercanías de las industrias demandantes que emplean los packs terminados, dada la incidencia de los costos de transporte y la interacción fluida entre éstos y los fabricantes de packs por las especificaciones técnicas de las baterías.
Reciclado	Cuatro tecnologías de reciclado: 1 - Mecánica 2 - Pirometalúrgica 3 - Hidrometalúrgica 4 - Combinación de 2 y 3	Proceso complejo, bajo ratio costo/beneficio y no estandarizado dada la composición química y formatos de presentación variables entre baterías que da lugar a la convivencia de distintas técnicas vigentes en la actualidad. El foco principal está puesto en la recuperación del cobalto. Otros metales pueden recuperarse con buenos rendimientos (litio, níquel) pero algunos registran tasas de recuperación nulas (grafito natural, fosfato). El uso de materiales reciclados puede llegar a reducir el costo de un pack de baterías hasta en un 20% .

Fuente: elaboración propia sobre la base de Unión Europea (2017) [1], Commonwealth of Australia (2018) [2], Sharova y col. (2020) [5], López y col. (2019) [6] y Mayyas y col. (2018) [10].

2.2 Incidencia por etapa y componente en el costo final de una batería

Ahora bien, en términos de la **incidencia de cada una de estas etapas en el costo final de la batería**, distintas fuentes les atribuyen participaciones disímiles en el valor final.⁸ No obstante ello,

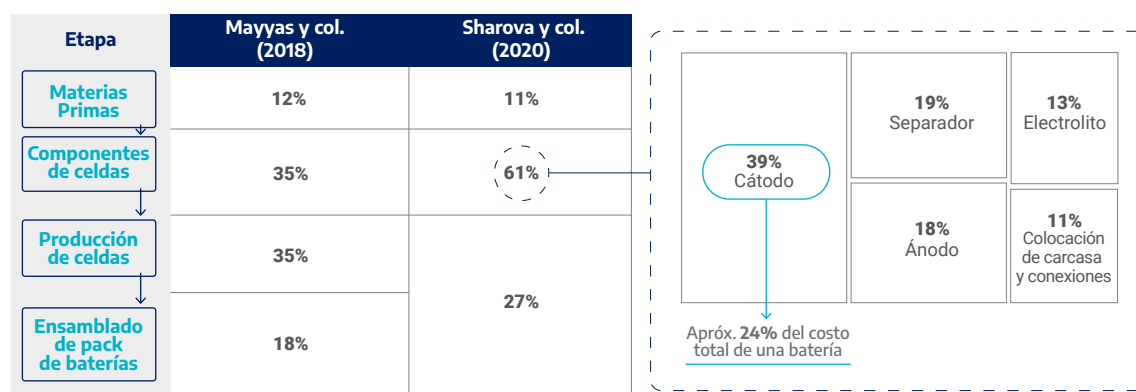
⁸ La discrepancia podría estar explicada, por ejemplo, por el tipo de batería específica analizada. Así, por caso, de acuerdo a las fuentes consignadas a continuación Sharova y col. [5] utilizan como referencia una batería NMC en formato *pouch*, mientras que de Mayyas y col. [10] no informan una composición específica, por lo que podría tratarse de un promedio.

podría concluirse que, en líneas generales, todas ellas consideran incidencias relativamente altas de las etapas de producción de los componentes y la fabricación de la celda, en detrimento de las actividades de extracción de minerales y ensamblado del pack de baterías.

Complementariamente al análisis de la participación por etapas en el valor de una batería, resulta interesante señalar que **el litio representa entre el 4% y el 10% del costo total**, dependiendo de la tecnología utilizada [6].

Luego, en lo que respecta exclusivamente a los **componentes** de las baterías, la mayoría de las fuentes coinciden en otorgar una mayor preponderancia a la incidencia del material catódico por sobre el resto, con una participación que representa entre el 20-25% del costo total de la batería [1] [9]:

Participación de las etapas en el costo total de una batería de ion-litio e incidencia de cada componente



Fuente: elaboración propia sobre la base de Sharova y col. (2020) [5], Rolland Berger Strategy Consultants (2012) [9] y Mayyas y col. (2018) [10].

3. Estructura del mercado mundial de baterías de ion-litio

El análisis de la estructura del mercado mundial de baterías de litio parte del estudio de la participación de los agentes en las distintas etapas constitutivas de la cadena de valor. Sin embargo, esto puede realizarse de dos maneras: atendiendo a los países o a las empresas.

3.1. Análisis por países

De acuerdo con López y col. (2019) [6], desde el punto de vista de los países cabe señalarse que mientras que en los eslabones relacionados con la **actividad extractiva** prevalecen las empresas originarias de **Australia, Estados Unidos y Canadá**, a medida que se avanza en la cadena de valor asumen una posición dominante los países asiáticos, en particular **China, Corea del Sur y Japón**.

Las proyecciones indican que estos países, particularmente China, continuarán aumentando su participación de mercado en estos eslabones finales.

Además, es menester tener presente que, en lo respectivo a la producción del mineral de litio, independientemente del origen del capital que realiza las actividades extractivas, los estudios normalmente consignan como actores a aquellos países donde tiene lugar la explotación, liderados por **Chile y Argentina** (bajo la forma de salmueras) y **Australia** (bajo la forma de espodumeno) [6].⁹ Tal como se desprende de esto último, y como ocurre en otras industrias, la disponibilidad fronteras adentro de un recurso estratégico no es condición *sine qua non* para la participación en las etapas más avanzadas de la cadena de valor, siempre y cuando pueda garantizarse su accesibilidad [6]. China, por caso, es un jugador relativamente marginal en la producción de mineral de litio, al tiempo que lidera el proceso de refinación así como las etapas de fabricación de componentes y celdas en el mundo. La escasa disponibilidad de mineral de litio no ha impedido el desarrollo de la cadena de valor en EE. UU., mientras que Japón y Corea del Sur directamente carecen de reservas propias del mineral, al igual que distintos países europeos que ingresaron al mercado aguas abajo de la cadena.

Si bien el análisis detallado del **proceso de extracción del mineral de litio** escapa al objeto del presente estudio, sucintamente es posible destacar que en la actualidad el litio es obtenido de dos fuentes primarias: minerales (espodumeno, lepidolita y petalita) y salmueras continentales (salares) [7].^{10 11} El principal producto resultante de la explotación es el carbonato de litio, que puede obtenerse de cualquiera de las dos fuentes.¹² Además, a partir del carbonato se produce hidróxido de litio (que también puede extraerse directamente de fuentes minerales) o cloruro de litio (que también puede obtenerse directamente de salmueras). El hidróxido de litio se utiliza, principalmente, en la producción de grasas y lubricantes, así como aditivo para la coloración de polímeros y telas y para la absorción de CO₂ en equipos de refrigeración. También es empleado como insumo en la fabricación de cátodos de baterías –principalmente litio-níquel-manganeso-cobalto (NMC) y litio-níquel-cobalto-aluminio (NCA). El cloruro de litio es transformado mediante electrólisis en litio metálico, utilizado principalmente en la química del ánodo de baterías primarias, en aleaciones para la industria aeroespacial y en la fabricación de compuestos orgánicos de litio (principalmente, butil-litio). Sin embargo, el mayor potencial del producto sería como insumo en la producción de ba-

⁹ Argentina y Chile conforman junto a Bolivia el denominado "Triángulo del Litio", asociado al hecho de que estos tres países concentran cerca del 70% mundial de los "recursos identificados" de este mineral (concentración de mineral potencialmente extraíble) [4]. Sin embargo, Bolivia no figura entre los principales productores mundiales de litio [2] ya que su explotación aún no es realizada a gran escala. De hecho, sus reservas de litio (proporción de los recursos cuya explotación ha sido determinada como técnica y económicamente viable) aún no ha sido debidamente cuantificadas [6].

¹⁰ Existen otras fuentes de litio en la naturaleza cuya explotación no resulta técnica o económicamente viable, tales como fuentes geotérmicas, petrolíferas, calcinado de arcillas y depósitos marinos.

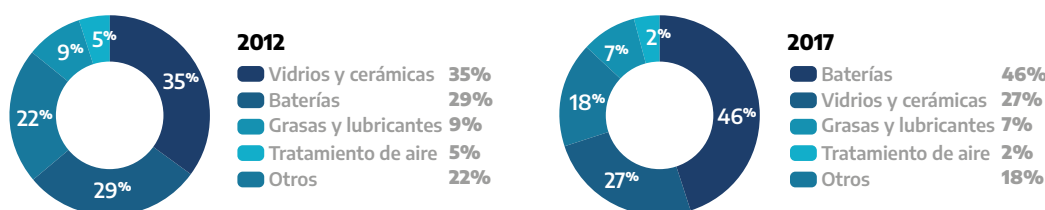
¹¹ Las ventajas de la extracción de litio mineral respecto a la explotación de salares radican en la menor dependencia de los factores meteorológicos y climáticos, así como también en los tiempos más breves para la obtención inicial del recurso. Sin embargo, esta técnica puede ser hasta un 80% más cara que la extracción de litio en salares. Además de que requiere realizar perforaciones, voladuras, trituración, calentamiento y separación física del recurso, es intensiva en el consumo de energía y hace uso de una mayor cantidad de reactivos. El menor costo ha otorgado primacía a la explotación de litio en salares, aun cuando ésta involucra tiempos para fases de prospección y piloto que pueden extenderse hasta 10 años, tiempos de cosecha del litio que pueden variar entre 12 y 24 meses y un elevado consumo de recursos hídricos. El proceso es altamente dependiente de factores climáticos y meteorológicos, en particular de las precipitaciones y el potencial de evaporación.

¹² La forma más difundida de comercialización de litio en el mercado mundial es el carbonato, con una participación en el mercado global superior al 50%. Por lo tanto, es habitual que las estadísticas de comercio internacional estén expresadas en litio carbonato equivalente (LCE).

terías que se encuentran en etapa de desarrollo –en particular litio-azufre–, y que, en términos teóricos, presentan propiedades superiores a las tecnologías dominantes en el mercado actual [6] [7].

Tal como se desprende de lo anterior, el mineral de litio constituye un insumo transversal utilizado en múltiples aplicaciones. Sin embargo, principalmente como consecuencia del impulso asociado a las movi­lidades eléctricas en particular, en la actualidad las baterías de ion-litio (consideradas en conjunto para todos sus usos posibles) constituye la principal fuente de demanda del mineral:

Estimación del uso de compuestos de litio según actividad industrial (% en toneladas de carbonato de litio equivalente; 2012 y 2017).



Fuente: elaboración propia sobre la base de COCHILCO (2013) [11] y Secretaría de Política Económica (2018) [12].

Ahora bien, además de la extracción o el acceso al mineral de litio, debe tenerse presente que la producción de baterías involucra **otros minerales indispensables**, algunos específicos de los distintos tipos de baterías según el material catódico particular que contengan y otros de carácter más transversal, por ejemplo, aquellos que conforman los colectores de los electrodos más allá de los materiales reactantes. Por este motivo, también es menester atender a la distribución mundial de estos elementos materiales. Al efecto de ilustrar la relevancia de este punto puede señalarse, por ejemplo, que según información correspondiente al año 2017 un sólo país, la **República Democrática del Congo**, concentraba entre el 50 y el 60% mundial de las reservas y de la producción de cobalto. En el caso del grafito natural, 3 países (**Turquía, Brasil y China**), representaron cerca del 80% de las reservas mundiales, aunque sólo uno de ellos, **China**, explicó casi el 70% de la producción. Por su parte, las reservas mundiales de fosfato se encuentran localizadas mayormente en **Marruecos** (~ 75%), aunque **China** es el mayor proveedor mundial (~ 60%) [2].¹³

Con respecto a los **procesos de producción de componentes, celdas y ensamble de baterías**, si bien la mayor parte de la tecnología involucrada fue desarrollada en **Corea del Sur y Japón** (vinculada a la fabricación de electrónica de consumo que constituyó la primera aplicación de las baterías de litio)¹⁴, actualmente (2015) el país nipón conserva su liderazgo sólo en la etapa de ensamble de baterías y en la fabricación de algunos de sus componentes no centrales [2] [5]. En su lugar, **China** concentra las mayores capacidades productivas para la elaboración de celdas, electrolitos y, más significativamente, de la mayoría de las distintas clases de material catódico. Esto involucra no

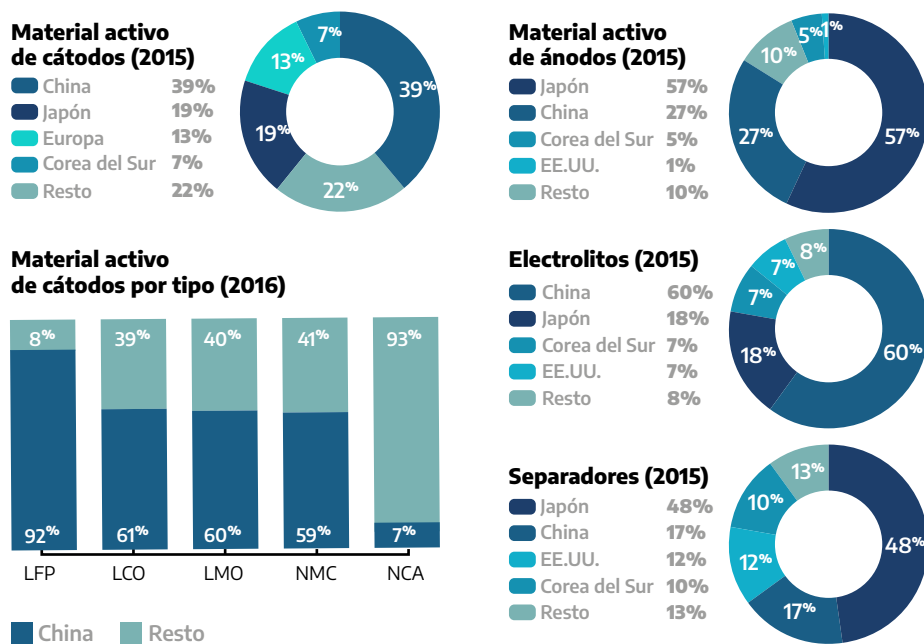
¹³ Tal como ya fue mencionado en secciones anteriores, la concentración de la producción y/o de reservas mundiales de algunos de los minerales empleados en la fabricación de baterías de ion-litio (así como en otros procesos productivos) conducen a caracterizarlos como "materias primas críticas". Así, por ejemplo, la Unión Europea caracteriza de esta manera al cobalto y al grafito natural [1].

¹⁴ Las primeras baterías de ion-litio fueron comercializadas por la japonesa Sony en la década de 1990 [1].

sólo a firmas de capitales nacionales chinos sino también surcoreanos y japoneses localizados en el país. Mientras tanto, **EE. UU. y distintos países europeos, liderados por Alemania**, también han escalado en la cadena de valor de baterías, principalmente, a partir del impulso asociado a la transición hacia nuevas motorizaciones (EVs)[2].

Complementariamente a los datos de participación agregada de cada país en las distintas etapas constitutivas de la cadena de valor, puede considerarse que existe cierta heterogeneidad al momento de analizar los **componentes** específicos o los distintos tipos de baterías según su material catódico. En estos términos, **China** conserva una primacía en la fabricación de material catódico en general (y de la mayoría de sus diversas clases en particular) y de electrolitos, mientras que la producción de material anódico y separadores es liderada por **Japón**:

Participación por país en la producción de los componentes específicos de baterías (% en toneladas; 2015 y 2016).

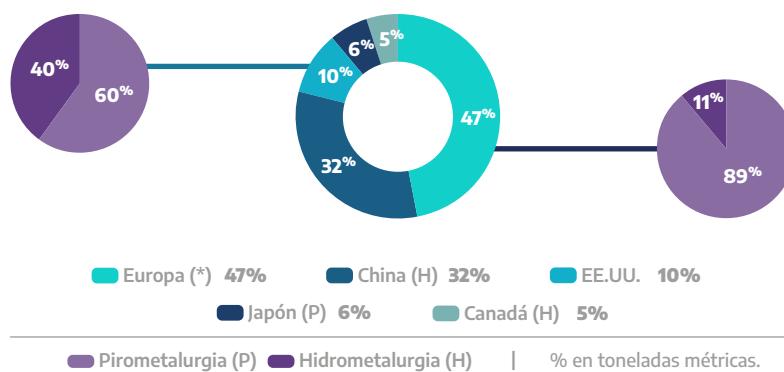


Fuente: elaboración propia sobre la base de Unión Europea (2017) [1] y López y col. (2019) [6].

Por último, en términos de la capacidad de **reciclaje**, resulta destacable que casi la mitad de la capacidad mundial instalada se encuentra localizada en **Europa**, principalmente en **Francia**, dado el énfasis de los países europeos en establecer una estrategia para morigerar progresivamente su dependencia de los minerales críticos que componen las baterías.

A su vez, el resto de los actores mundiales de la cadena cuentan con capacidad relevante propia de reciclaje, excepto por **Corea del Sur**:

Capacidad de reciclaje de baterías de ion-litio usadas, por país y tipo de tecnología utilizada (2018)



(*) El 46% corresponde a Francia. El porcentaje restante pertenece a Finlandia, Noruega, Dinamarca y Bélgica.

Fuente: elaboración propia sobre la base de Mayyas y col. (2018) [10].

3.2. Análisis por empresas

Al nivel de las firmas que participan en la cadena de valor, cabe destacar que existen disensos en relación al análisis cualitativo de las tendencias de mercado. Por un lado, López y col. [6] señalan que la cadena se caracteriza generalmente por un alto nivel de especialización, una creciente concentración de mercado por eslabón y bajos niveles de integración vertical. A su vez, reparan en que, entre las principales empresas, solo **LG Chem** opera en los cuatro eslabones de la cadena, desde la fabricación de componentes a la de baterías, mientras que los fabricantes de vehículos **Tesla** (automóviles) y **BYD** (buses) y la empresa de electrónica **Panasonic** se ubican en tres eslabones, al tiempo que del resto de las firmas identificadas, apenas algunas participan de dos eslabones de la cadena y la mayoría solo en uno. Sin embargo, los autores aclaran en su análisis que no consideran las participaciones accionarias cruzadas entre empresas, por lo que sólo se registra la participación directa de una firma como tal en cada eslabón y no, por ejemplo, los *joint-ventures*. Esto tampoco tiene en cuenta las relaciones asimétricas de poder, factibles de tener lugar aún entre empresas formalmente independientes, cuestión que será abordada más adelante.

Por otro lado, la Unión Europea [1] plantea un diagnóstico diferente. Así, por caso, al analizar los mercados de material catódico y electrolitos los consideran dinámicos, permeables al ingreso de nuevos jugadores o tendientes a la desconcentración. Si bien este estudio resulta algo anterior al de López y col. [6], la diferencia temporal no necesariamente explicaría un punto de inflexión tan pronunciado en las tendencias del mercado. Independientemente de esto, en el siguiente cuadro se consideran algunas¹⁵ de las principales firmas por eslabón a lo largo de la cadena productiva de baterías:

¹⁵ López y col. (2019) [6] no mencionan en algunos casos a compañías chinas que, según la Unión Europea (2017) [1] son centrales en cada segmento, como se verá en las participaciones de mercado más adelante.

Principales empresas en la cadena de valor de baterías de ion-litio (2015)

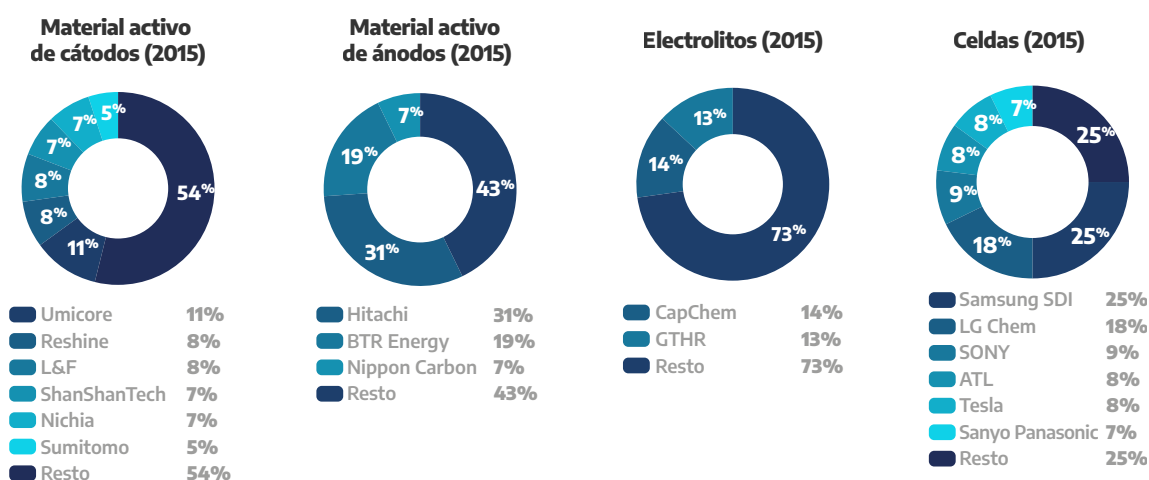
■ Participación en 2 eslabones de la cadena
 ■ Participación en 3 eslabones de la cadena
 ■ Participación en 4 eslabones de la cadena

Materias Primas	Componentes de la batería	Celdas	Baterías	Producto Final
LITIO (Li2O, LiOH, Li2O3)	ÁNODO	CONSTRUCCIÓN DE CELDAS	A123	EVs / PHEVs / HEVs
SQM	Altair	Boston Power	AC Propulsion	Aston Martin
FMC Corp	Nanotechnologies	BYD	All Cell Technologies	Audi
Orocobre	ConocoPhillips	Chemical	Boston Power	BAIC Motor Corp
Albermarle	Hitachi	Continental	BYD	BYD
Bacanora Minerals	Kureha	GM	CATL China	Chongqing Changan Auto
Pure Energy	Nippon Carbon	Johnson Controls	Aviation	Daimler
Jiangxi Ganfeng	Minerals Pyrotek	LG Chem	Coda	Ford
Tianqi Group	Superior Graphite	LithChem	Continental	Foxconn GM
Galaxy	LG Chem	NEC	Electrovaya	Geely Automobile
Neometals		Panasonic	EnerDel	GM
Pilbara Minerals	CÁTODO	Sanyo	GM	Honda
	3M	Tesla	GSYuasa	Mercedes Benz
GRAFITO / GRAFITO SINTÉTICO	Bamo-Tech	Lishen	Guoxuan	Nissan
Syrah Resources	Easpring	Maxwell	Hitachi	SAIC Motor Corp
China (varios)	King-ray	Samsung SDI	Johnson Controls-saft	Volkswagen
Brasil	L&F	Toshiba	LG Chem	Zoyte Auto
Triton Minerals	Nippon Denko		Lishen	Chevrolet
Mason Graphite	Sumitomo		NEC	Tesla
Graphite One	Toda Kogyo		OptimumNano	Toyota
Energiser / Malagasy	Umicore		Panasonic	
Talga Resources	BASF		Samsung SDI	ALMACENAMIENTO ESTACIONARIO
	Formosa		Sanyo	AES
COMPUESTOS DE COBALTO	Nichia Chemical		Sinopoly	BYD
Tanaka Corporation	Shanshan		Tesla	Coda Energy
Kansai Catalyst			XALT Energy	Duke Energy
Santoku	SEPARADORES			EDF Energy
Glencore	Applied Materials			Enel
	Entek			First Solar
COMPUESTOS DE NIQUEL	Toray Tonen			Geely Automobile
Tanaka Corporation	Asahi Kasei			Green Charge Networks
Kansai Catalyst	Cangzhou Mingzhu			LG Chem
Sumitomo	Celgard			National Grid
WSA	DuPont			Saft Groupe
	Evonik Industries			Samsung
COMPUESTOS DE MANGANESO	SK Energy			Siemens
Mitsui				Sonnen-Batterie
Sumitomo	ELECTROLITOS			Stem
S32	Cheil Industries			Vestas
	LithChem			Tesla
ALUMINIO	Mitsui Chemical			
Alcoa	Novolyte Technologies			ELECTRÓNICA / PRODUCTOS DE CONSUMO
	Do-Fluoride Chemicals			Appel
	Mitsubishi Chemical			Google
	Panex			Sony
	Shanshan			Xiaomi
	Shenzhen Capchem			Huawei
	Shinestar			Panasonic
	Tianci Materials			Samsung SDI
	Tomiya Yakuin			

Fuente: elaboración propia sobre la base de López y col. (2019) [6].

Con respecto al **material anódico y catódico**, cabe destacar que el cuadro precedente refiere específicamente a los fabricantes del material reactante. En el caso del colector de aluminio del cátodo, las principales firmas son las japonesas **Sumitomo Light Metal Industries y Nippon Foil Mfg**. En el caso del colector de cobre del ánodo, las principales firmas son las japonesas **Furukawa Electric, Nippon Foil Mfg. y Nippon Denkai** [1].

Participación de las principales empresas en segmentos seleccionados de la cadena de valor de baterías de ion-litio (% en toneladas; 2015).



Fuente: elaboración propia sobre la base de Unión Europea (2017) [1].

Ahora bien, en lo que respecta a la producción de **baterías y packs**, los principales productores son, por lo general, las propias empresas de electrónica y vehículos [5]. En ese sentido, por ejemplo, en el caso de las terminales automotrices que fabrican EVs, la mayoría conserva competencias vinculadas al diseño del pack y su sistema de control, aunque se diferencian entre sí de acuerdo a la cantidad de procesos específicos que desarrollan, siguiendo estrategias disímiles que varían entre el *outsourcing* de algunas tareas hasta la fabricación completa *in-house*.

Las particularidades de la cadena de valor de baterías en las distintas regiones del mundo contribuyen a explicar esta multiplicidad de estrategias. Las terminales japonesas y chinas como **Nissan, Mitsubishi o BYD** generalmente conservan un mayor control en todas las etapas, mientras que las europeas, como **BMW, Renault o Daimier**, que no cuentan con una capacidad doméstica significativa para la fabricación de celdas se inclinan al menos por conservar el control sobre el diseño y el ensamble del pack [1].¹⁶ En este marco, cabe destacarse que dado que existe un volumen significativo de terminales que tercerizan al menos una parte del proceso de producción de packs de baterías,

¹⁶ No obstante, también existen excepciones. Por ejemplo, mientras que la automotriz estadounidense General Motors terceriza por completo sus etapas de producción de celdas y packs de baterías, Tesla, cuyos capitales son del mismo origen, posee una estrategia de integración *in house* de todas las actividades referidas a los procesos de diseño y producción de celdas y packs semejante a la de la china BYD.

pero conservan control sobre sus especificaciones, la cadena de valor constituye una estructura de poder asimétrica liderada por estas firmas.¹⁷ Y, dada la relevancia del segmento de baterías de ion-litio para EVs sobre el total de los campos de aplicación posibles de baterías¹⁸, puede comprenderse que la independencia formal de las firmas que participan en las distintas etapas de la cadena productiva no necesariamente debe asociarse con un bajo nivel de integración o coordinación entre los agentes que la integran.

4. Baterías de ión-litio y sector productivo provincial: actores involucrados y oportunidades para el agregado de valor local

Si bien la cadena de valor de baterías de ion-litio aún presenta un escaso nivel de desarrollo en el país, existen algunos antecedentes de relevancia correspondientes a firmas de capitales nacionales (tanto en la provincia de Buenos Aires como en el resto del territorio) que han incursionado en el sector. Se trata de proyectos pasados o vigentes referidos a actividades de diseño, desarrollo, producción y/o ensamble de baterías para una multiplicidad de aplicaciones, entre las que se destacan dispositivos médicos, movilidad sustentable, electrónica de consumo y almacenamiento energético (EES). Asimismo, la Provincia también cuenta con actores del sistema científico-tecnológico con capacidades vinculadas a esta cadena de valor.

4.1. Actores nacionales vinculados a baterías de ión-litio

Empresas de la provincia de Buenos Aires

Dynami (La Plata) es una start-up de origen argentino, legalmente conformada como una corporación estadounidense con sede en el Estado de Maryland pero con sus laboratorios de I+D localizados en la capital bonaerense. La firma desarrolla baterías de litio ultradelgadas, diferenciando tamaños y hechas a medida, principalmente para IoT, *wearables* (*smartwatches*, etc.) y dispositivos médicos. El esquema de negocios se funda en que las empresas demandantes pueden adquirir baterías que se adapten a las especificaciones de sus productos, en lugar de tener que ellos mismos alterar el diseño para que sus productos sean compatibles con una oferta más o menos rígida de baterías de tamaños estandarizados.

LITBAR (La Matanza) es una división de OÑATE, BATTAGLA RINALDI SH, una PyME de autopartes eléctricas que inició una línea de I+D para baterías de litio LFP, alcanzando el desarrollo de celdas

¹⁷ Las terminales pueden incluso llegar a involucrarse directamente en los proyectos de extracción del mineral de litio (vía participación accionaria en las firmas mineras o *joint-ventures*), de manera tal de garantizar su abastecimiento. Este es el caso, por ejemplo, de Toyota y la empresa australiana Orocobre para extraer litio del Salar de Olaroz (Argentina). Productoras de bienes de consumo surcoreanas y japonesas presentan comportamientos similares [7].

¹⁸ De acuerdo a la información ya consignada, las baterías para EVs incluyendo buses representaron el 50% del total del mercado en GWh en 2016.

para pruebas, aplicadas a motocicletas para funciones de arranque, bicicletas, monopatinos, lámparas de emergencia, almacenamiento para paneles solares UPS (sistemas de alimentación ininterrumpida), juguetes, equipos médicos, etc.

En 2021 la firma **YPF Tecnología (Y-TEC) (Berisso)** anunció inversiones para la construcción de dos plantas en La Plata. La primera corresponde a una fábrica para la producción de baterías de ion-litio, incluyendo el desarrollo de celdas para acumulación de energía proveniente de fuentes renovables como la solar y eólica (EES) y el sector de Defensa, involucrando una inversión de US\$ 2,5 millones. La misma se denomina "UniLiB" (Unidad de producción de celdas y baterías de ion litio). La segunda corresponde a una planta para la producción de material LFP que constituiría un insumo para la primera fábrica ya referida, involucrando una inversión por US\$ 500 mil. Tanto Y-TEC como el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) aportarán los fondos necesarios para el desarrollo de los proyectos, en los cuales también participarán dependencias e instituciones de la provincia de Buenos Aires (el Ministerio de Producción, Ciencia e Innovación Tecnológica -MPCeIT- y la Comisión de Investigaciones Científicas -CIC-, respectivamente) junto a organismos e instituciones nacionales, incluyendo el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCYT), la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CI-TEDEF). En lo referido a la planta de celdas, es destacable que los materiales activos que contienen litio se formularán y controlarán con formulaciones optimizadas en laboratorios de investigación del Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA -UNLP – CONICET), y serán transferidas a Y-TEC para su validación a escala en planta piloto. Luego, el producto final validado se transferirá a la planta UniLiB para la producción en serie.

Empresas del resto del país

En 2011 las empresas **PLA-KA-SOL.Ar (Catamarca-Córdoba)**¹⁹ y **Probattery (CABA)**²⁰ participaron de 2 proyectos impulsados por el entonces Ministerio de Industria de la Nación para proveer (vía ensamble) las baterías de las netbooks correspondientes al Programa Conectar-Igualdad y para articular el desarrollo de baterías (vía integración nacional que alcanzaran las celdas) para las empresas de electrónica de consumo radicadas en Tierra del Fuego. La primera de estas iniciativas sólo involucró una primera entrega de acumuladores, mientras que la segunda no alcanzó a efectivizarse.

Actualmente **SOL.Ar (Catamarca-Córdoba)** se encuentra trabajando en el desarrollo del prototipo de una batería de LFP para EVs, EE.RR. y dispositivos médicos junto con la Universidad de Buenos Aires (UBA), la Agencia Córdoba Innovar y Emprender, la Universidad Católica de Córdoba (UCC) y la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC). También cuentan con un acuerdo con una firma australiana para recibir y reciclar baterías de litio agotadas (una vez que finalizan su vida útil).

¹⁹ Actualmente comercializa baterías de plomo-ácido para vehículos, EE. RR. y estacionarias, además de contar con otras líneas de negocios (producción de metales no ferrosos y sus aleaciones, gestión de residuos peligrosos, y servicios de ensayos químicos de laboratorio).

²⁰ Actualmente comercializa baterías de ion-litio importadas para electrónica de consumo (celulares, notebooks), estacionarias, externas (cargadores), junto a baterías de plomo-ácido.

Firmas nacionales vinculadas a proyectos productivos de baterías de ion-litio.

Empresa	Ubicación	Productos	Características principales
Dynami	La Plata (PBA)	Baterías de litio ultradelgadas	Baterías hechas a medida en diversos tamaños para Internet de las Cosas (IoT), <i>wearables</i> (<i>Smart-watches</i> , etc.) y dispositivos médicos.
LITBAR	La Matanza (PBA)	Baterías de litio LFP	Desarrollo de baterías de litio LFP para motos (arranque), bicicletas, monopatinas, lámparas de emergencia, almacenamiento para paneles solares UPS, juguetes y equipos médicos.
Y-TEC	Berisso (PBA)	Ensamble de baterías y producción de celdas y materiales activos	En 2021 anunció dos inversiones para la construcción de dos plantas en La Plata. Una por US\$ 2,5 millones para la producción de baterías de ion-litio, incluyendo el desarrollo de celdas para acumulación de energía (EES) y el sector de Defensa. La segunda por US\$ 500 mil para la producción de material LFP para abastecer a la primera planta.
PLAKA SOL.Ar	Catamarca Córdoba	Baterías para netbooks	Provisión vía ensamble de baterías para netbooks del Programa Conectar-Igualdad con propuesta de desarrollo para integración nacional. Actualmente SOL.Ar se encuentra desarrollando el prototipo de una batería LFP para vehículos eléctricos, acumulación de energía (EES) y dispositivos médicos.
Probattery	CABA		

Fuente: elaboración propia (2021).

Actores del Sistema Científico-Tecnológico de la provincia de Buenos Aires

En la Provincia el principal referente en materia de desarrollos vinculados a la cadena de valor de baterías de litio es la **Universidad Nacional de La Plata (UNLP)**. En primer lugar, es valioso resaltar diferentes proyectos encabezados por esta universidad para lograr validar la utilización del litio como fuente de energía limpia y alternativa a los combustibles fósiles en nuestro país. Éstos incluyen, por un lado, el desarrollo de nuevos vehículos de propulsión eléctrica (tricyclos eléctricos, motocicletas, micro-ómnibus -Ecobus Universitario- y, por el otro, la reconversión hacia la propulsión eléctrica de vehículos con motor de combustión (micros urbanos de pasajeros de la Empresa Nueve de Julio SAT y vehículos de transporte público para la provincia de Jujuy). Luego, también resulta relevante señalar el antecedente vinculado a la creación del primer avión eléctrico del país junto a la empresa Proyecto Petrel S.A., diseñado para operar de forma íntegra por medio de baterías de ion-litio.

En segundo lugar, es preciso destacar dentro de la universidad la labor del Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA – UNLP – CONICET). En particular, por medio del grupo de trabajo especializado denominado “Almacenamiento de energía en base a litio”, del área de investigación “Conversión y Almacenamiento de Energía”, donde se llevan a cabo múltiples proyectos entre los que se destacan: elaboración de modelos dinámicos que describan el funcionamiento de baterías recargables de ion-litio; desarrollo y caracterización de materiales para electrodos de alto rendimiento; desarrollo de un Sistema de Control de Baterías (BMS o *Battery Management System*); y desarrollo de modelos propios de batería de ion-litio y validación de prototipos a nivel de laboratorio.

En tercer lugar, la UNLP también lidera el espacio de trabajo conjunto y transferencia que involucra el concurso de distintos actores de mayor desarrollo de la Provincia: la **Mesa del Litio**. Se trata de

un ámbito multidisciplinario creado por esta universidad centrado en la coordinación, diseño e impulso de proyectos de gran impacto en la cadena de valor del litio. Específicamente, la misma se encuentra integrada por el Instituto de Recursos Minerales (INREMI) perteneciente a la UNLP y la CIC, el INIFTA perteneciente a la UNLP y el CONICET, el Centro de Química Inorgánica (CEQUINOR) de la UNLP y el CONICET, el Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC) y el Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA).

Por último, se encuentra el proyecto vinculado a la construcción de una planta de celdas para baterías de ion-litio de Y-TEC ya descrito previamente, donde la UNLP posee una participación activa. Asimismo, es oportuno realizar otros proyectos actualmente en desarrollo vinculados a la cadena de valor de baterías de ion-litio en la Provincia, entre los que se encuentran:

- **UTN (La Plata) & CITEMA:** desarrollan un proyecto de investigación denominado “Diseño y caracterización de materiales compuestos para baterías de litio”.
- **UNMDP & INTEMA:** poseen capacidades en investigación básica y aplicada al estudio de sistemas y procesos electroquímicos, y en la transferencia de conocimiento y servicios al medio en problemas que involucren procesos electroquímicos. Puntualmente abordan líneas de investigación principales vinculadas al desarrollo de electrolitos para baterías de ion-litio de estado sólido.
- **UNS & INQUISUR:** exploran una línea de trabajo para el desarrollo de nuevos materiales de bajo impacto ambiental, en lo relativo al diseño de electrolitos y electrodos para baterías de ion-litio de estado sólido.

Actores del sistema científico-tecnológico de la provincia de Buenos Aires vinculados a proyectos de baterías de ión-litio.

Actor	Ubicación	Productos	Características principales
UNLP	La Plata	Electromovilidad, aeronaves, producción de celdas	Desarrollo de nuevos vehículos de propulsión eléctrica (triciclos eléctricos, motocicletas, micro-ómnibus, aeronaves). Reconversión hacia la propulsión eléctrica de vehículos con motor de combustión (buses urbanos de transporte público de pasajeros). Desarrollo de prototipos de batería de ion-litio, electrodos de alto rendimiento y controladores. Participación en el proyecto de una planta de celdas para baterías de ion-litio de Y-TEC.
Mesa de Litio	La Plata	Propuesta y análisis de proyectos de gran impacto en la cadena de valor del litio	Espacio de trabajo conjunto integrado por el Instituto de Recursos Minerales (INREMI), el Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA), el Centro de Química Inorgánica (CEQUINOR), el Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC) y el Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA).
UTN CITEMA	La Plata	Materiales compuestos	Proyecto de investigación vinculado al estudio de materiales compuestos para la conformación de baterías.
UTNMDP INTEMA	Mar del Plata	Electrolitos	Proyecto de investigación vinculado al estudio de electrolitos para baterías de estado sólido.
UNS INQUISUR	Bahía Blanca	Electrolitos y electrodos	Proyecto de investigación vinculado al estudio de electrolitos y electrodos para baterías de estado sólido.

Fuente: elaboración propia (2021).

4.2. Lineamientos para la industrialización provincial desde la oferta

A partir del análisis desarrollado en las secciones anteriores, pueden desprenderse algunas consideraciones y/o lineamientos para el aprovechamiento de **oportunidades para el agregado de valor local** en distintos eslabones constitutivos de la cadena de valor de las baterías de ion-litio. Estos pueden caracterizarse de dos maneras:

- **Oferta:** aquellas oportunidades vinculadas a la cadena desde la perspectiva de la oferta, es decir, a la incursión en el desarrollo de alguno de los eslabones específicos.
- **Demanda:** aquellas oportunidades vinculadas a la demanda, considerando la articulación de la cadena de valor con sectores productivos provinciales que podrían constituirse en potenciales demandantes de baterías de ion-litio de fabricación local.

Desde una perspectiva de la oferta, resulta relevante considerar que la fragmentación de la cadena de valor de las baterías de ion-litio en etapas, junto a la heterogeneidad de los actores intervinientes en cada una de ellas (al margen de que una firma pueda directa o indirectamente participar en varias fases a la vez), hace posible la inserción de otros interesados en alguno de estos eslabones, sin la necesidad de desarrollarlos todos de manera simultánea.

Por fuera del proceso de extracción del mineral de litio (que desde la perspectiva de la provincia de Buenos Aires se encuentra limitado por la inexistencia local del recurso), puede estimarse a partir de la estructura de costos que las etapas de menor complejidad tecnológica y, por lo tanto, más permeables serían las de **ensamble de baterías y packs y, en menor medida, la fabricación de celdas**. Luego, en la búsqueda de integrar una mayor porción de valor en la provincia, los esfuerzos deberían continuar hacia la propia fabricación de componentes. Entre ellos, el mercado que presenta una menor concentración relativa agregada es el de **material activo de cátodos**: aquí el principal jugador (China) concentra casi el 40% de la oferta, porcentaje menor que en el caso de los líderes de los segmentos de electrolitos (China, 60%), material activo de ánodos (Japón, 57%) y separadores (Japón, 48%). Además, el liderazgo chino en la fabricación de cátodos presenta una marcada dispersión en función de la tecnología específica utilizada: mientras que en el caso de la LFP el país asiático concentra el 92% de la oferta, este porcentaje desciende al 7% en el caso de la NCA, con participaciones promedio del 60% para el resto.

Dos elementos adicionales resultan relevantes al considerar la posibilidad de integración de cátodos. Por un lado, tal como se desprende del análisis de las secciones precedentes, este componente es el de mayor peso individual, con una participación que se ubica entre el 20-25% del costo total de una batería. Por el otro, aun cuando en términos relativos podría considerarse que involucra el mercado de

menor concentración relativa, también podría argumentarse que en términos absolutos su concentración no deja de ser elevada. No obstante, el análisis de la prospectiva tecnológica nos indica que actualmente se registran esfuerzos orientados hacia el desarrollo de nuevas composiciones químicas de material activo catódico (litio-azufre y litio-aire). Así, la existencia de paradigmas tecnológicos no consolidados probablemente también contribuya a ofrecer mayores posibilidades de inclusión para miembros incipientes en el mercado.²¹ Esto es igualmente válido para nuevas formulaciones químicas o mejoras incrementales a las que están sujetos el resto de los componentes de la batería: el material activo anódico, el electrolito y, en menor medida, los separadores.

Por último, en línea con lo anterior vale considerar la posibilidad de incorporarse al segmento de **reciclado de baterías**. Al tratarse de una etapa que involucra varias técnicas en competencia dentro de un paradigma tecnológico no consolidado, también podría resultar más accesible a la llegada de nuevos interesados. Además, el desarrollo de capacidades en este eslabón permitiría obtener acceso, al menos, a una parte de los restantes minerales que, junto al litio, resultan críticos para el desarrollo de baterías, específicamente, para la producción de material catódico como el cobalto, el níquel o el manganeso. Esto luego podría apuntalar los propios esfuerzos en materia de integración de cátodos o bien permitiría el ingreso a la cadena de valor mundial como oferente de materias primas. En ese sentido, es menester tener presente que en la actualidad la capacidad de reciclaje mundial está orientada fundamentalmente a baterías portátiles, dado que aún no se registran grandes volúmenes de baterías vinculadas a vehículos eléctricos que hayan alcanzado el final de su vida útil [1]. Pero el crecimiento actual del segmento de EVs, junto a otras tecnologías como el almacenamiento de energía (EES), incrementarían sensiblemente la oferta de baterías agotadas en el futuro, ofreciendo progresivamente mayores oportunidades para el desarrollo del segmento de reciclaje.

4.3. Lineamientos para la industrialización provincial desde la demanda

Complementariamente al análisis de los segmentos de la cadena de valor de las baterías de ion-litio que ofrecen mayores capacidades de desarrollo local, resulta de igual relevancia considerar la presencia en la Provincia de sectores cuya demanda pudiera traccionar estas iniciativas. Esto se debe no sólo a la necesidad de identificar mercados potenciales para las baterías autóctonas sino también a que, como se desprende de las secciones anteriores, los sectores demandantes suelen desempeñar un papel determinante en la configuración de la cadena de valor, dada la necesidad de adaptar las especificaciones técnicas de las baterías a las aplicaciones particulares para las que serán utilizadas (composición química, tamaño, formato de presentación, etc.).

Así, entre los potenciales sectores demandantes de baterías de ion-litio con presencia en la estructura productiva provincial pueden considerarse:

²¹ Estas nuevas composiciones químicas, además, ofrecen la ventaja de que involucran materiales cuya oferta resulta más abundante y, por ende, su posibilidad de acceso es mayor que la correspondiente a composiciones ya existentes, sobre todo aquellas como la LCO vinculada al cobalto.

A. Almacenamiento de energía eléctrica (EES – *Electrical Energy Storage*)

Si bien se trata de dispositivos mayormente en desarrollo y con, relativamente, pocos casos de modelos actualmente comercializados (a diferencia de las baterías para otras aplicaciones), las baterías de ion-litio ofrecen el potencial para resolver la problemática de la intermitencia asociada a la generación de energía de fuentes renovables [17]. Pero, además de esto, la tecnología de EES aplicada a EE. RR. ofrece ventajas en materia de:

- **Cambios en picos (*peak shifting*):** la energía generada en horas de baja demanda se utiliza para cargar baterías que se descargan en los momentos de consumo pico, tanto a nivel industrial como hogareño.
- **Cambios de carga (*load shifting*):** permite trasladar grandes cantidades de energía acumulada en la noche a horarios diurnos. Los requerimientos para las baterías en esta aplicación son mayores que en el cambio de pico, ya que la duración del ciclo de carga y descarga debe ser mayor. Esta aplicación prima en materia industrial o en grandes escalas.
- **Gestión de red:** las baterías se vinculan inteligentemente con la red para poder contribuir a una distribución eficiente de la energía. Esto implica establecer requerimientos de seguridad y sistemas de precios adaptados a esta modalidad.
- **Servicios auxiliares:** ofrece abastecimiento de reserva, regulación de frecuencia y servicio auxiliar de reinicio de sistema ante apagones.
- **Reserva de potencia:** proporcionar energía de reserva de emergencia cuando la red eléctrica se interrumpe.

A diferencia de las utilizadas en electromovilidad o la industria electrónica, en este caso se trata de baterías estáticas. Si bien en materia de almacenamiento energético pueden emplearse distintos tipos de baterías (plomo-ácido, sodio-azufre, haluro metálico sódico y baterías de flujo), aquellas de ion-litio involucrarían una mayor reducción de costos asociados hacia futuro, considerando que su precio ha constituido una de las principales limitantes para su expansión actual [6]²². Otros ejes a resolver serían la gestión de la temperatura, la profundidad de descarga²³ y la vida útil.²⁴

²² Las baterías de litio para EES poseen incluso un precio superior a las utilizadas en vehículos: mientras que, en 2016, el costo de un *battery pack* de ion-litio para automóviles eléctricos rondaba los US\$ 410/kWh, el costo de los productos de almacenamiento de energía basados en baterías de ion-litio rondaba los US\$ 1.000/kWh.

²³ Porcentaje de la capacidad de carga completa que se puede usar de manera segura, la cual se correlaciona negativamente con la vida útil.

²⁴ Cantidad de ciclos de carga/descarga que puede realizar una batería antes de perder rendimiento.

En este marco, al tratarse de un segmento donde la tecnología aún no cuenta con un paradigma consolidado, el rubro de baterías para el almacenamiento energético ofrecería potencial para su desarrollo en el país. En igual sentido, también cabe considerarse:

- El crecimiento en los últimos años de la generación de energía de fuentes renovables a partir de programas específicos para su promoción (RenovAr). Por caso, Argentina pasó de cubrir el 0,7% del total de la demanda eléctrica a partir de fuentes renovables en 2015, al 5,7% en 2019, con un incremento cercano al 700% en la generación de energía en GWh de estas fuentes entre enero de 2015 y diciembre de 2019 [19]. Además, de acuerdo con la Ley N° 26.190 (octubre del 2015) que estructura el Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica, las fuentes renovables deben llegar a cubrir el 20% del consumo de energía eléctrica nacional en 2025, lo que conduce a asumir que el sector de generación renovable continuará en crecimiento.
- El hecho de que la tecnología de EES también permitiría potenciar la generación distribuida de electricidad, localizándose baterías en los hogares o empresas equipados con modos de producción de EE. RR. Argentina cuenta con una ley que promueve la actividad (Ley N° 27.424 que estructura el Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica Pública).
- La existencia de parques eólicos en la provincia de Buenos Aires, específicamente en las localidades de Tornquist (San Jorge y El Mataco de la firma PCR, y Vientos Bonaerenses I de AES), Bahía Blanca (Corti, Pampa Energía, La Genoveva), Punta Alta (Centenario, Pampa Energía), Villarino (La Castellana) y Patagones (Villalonga, Genneia), entre otros, que operarían como potenciales demandantes directos para este tipo de baterías.

B. Industria de motocicletas y bicicletas

De acuerdo con la Cámara de Fabricantes de Motovehículos (CAFAM), actualmente en Argentina hay al menos 4 terminales de motocicletas con proyectos en desarrollo referidos al segmento de electromovilidad (motocicletas, bicicletas y monopatines), la mayor parte de ellos específicamente en la provincia de Buenos Aires.

Además, la propia estructura del sector podría ofrecer ventajas para la conformación de un conglomerado de movilidad sustentable. Por un lado, en la industria local de motocicletas y, en menor medida, en la de bicicletas la mayoría de las firmas de peso en el mercado son de capitales nacionales (Zanella, La Emilia, Corven, entre otras). La Provincia alberga 10 terminales, incluyendo 2 multinacionales (Honda y

Yamaha). Por otro lado, la firma japonesa Honda (Campana) actualmente se encuentra desarrollando su modelo de motocicleta eléctrica. Esta empresa lidera los patentamientos en el país, pero sus principales operaciones regionales se encuentran en Brasil, mercado cuyo volumen total no sólo duplica al argentino sino que además se encuentra hegemonizado por la firma japonesa con más de un 80% de la producción brasileña total. En este marco, podría existir cierto potencial para que las baterías de sus futuras motocicletas eléctricas se desarrollen en Argentina y eventualmente se exporten al país vecino. Asimismo, caben considerarse las firmas especializadas en bicicletas de la Provincia, entre las que se destacan Quadro Industrial (Dal Santo), Unibike, Olmo, Futura, Aurora y Españón, sector nucleado en las cámaras sectoriales COMMBI y CIMBRA.

C. Maquinaria Agrícola

Si bien en la actualidad no se encuentran difundidos en el mercado modelos comerciales de maquinarias agrícolas eléctricas a gran escala, las principales multinacionales del sector (John Deere, Kubota, etc.) se encuentran desarrollando modelos híbridos o completamente eléctricos de tractores, siendo probable que el desplazamiento de la frontera de este tipo de motorizaciones termine por abarcar al resto de los equipos autopropulsados (cosechadoras y pulverizadoras).

En este marco, al tratarse de equipos de movilidad eléctrica donde la tecnología aún presenta un grado de madurez comparativamente inferior al de otros vehículos (automóviles, buses, bicicletas, etc.), existe potencial para la articulación entre el sistema científico-tecnológico provincial y el entramado productivo de fabricantes de equipos agrícolas bonaerenses para el desarrollo de proyectos propios. La provincia de Buenos Aires cuenta con fábricas multinacionales productoras de maquinarias autopropulsadas (Agrale en Mercedes y Agco en General Rodríguez, ambas de tractores), junto a aproximadamente 90 PyMEs de capitales nacionales del sector, de las cuales cerca del 10% producen maquinarias autopropulsadas, que podrían ofrecer oportunidades para el desarrollo de equipos de motorización eléctrica.

D. Industria naval

Los distintos segmentos que componen la industria naval están siendo objeto de iniciativas tendientes a promover la eficiencia energética, la electromovilidad y la reducción de emisiones [20]. Sin embargo, el segmento de mayor impacto ambiental, los buques de transporte marítimo de cargas, presentan las mayores limitaciones técnicas de cara a la transición energética, dadas las limitaciones de autonomía y capacidad limitada de generación energética suficiente para el desplazamiento de grandes volúmenes.²⁵

No obstante ello, las embarcaciones de menor porte (tanto comerciales como recreativas) ya disponen de modelos de movilidad eléctrica e híbridos operativos. En la Provincia, la firma Naval

²⁵ A pesar de esto, ya existen algunos modelos de buques de carga de movilidad eléctrica, por ejemplo en Europa, buques petroleros y remolcadores.

Electric (San Fernando) comercializa, instala y adapta embarcaciones bajo licencia de la alemana Torqeedo. Las naves utilizan baterías de ion-litio que pueden cargarse mediante conexión a la red eléctrica en puerto, paneles solares e hidrogenación.²⁶ Así como en el caso de los EVs, la electromovilidad reduce las vibraciones, el ruido, el peso y la necesidad de mantenimiento de las embarcaciones, pero también se replican los limitantes de autonomía y la falta de disponibilidad de infraestructura de recarga para su adopción.

E. Industria automotriz y de buses

A partir de las proyecciones de las principales consultoras a nivel mundial como Ernst & Young LLP [14], McKinsey & Company [15] y PwC [16], para el resto de la década puede considerarse que el mercado de autos eléctricos crecerá en los mercados maduros consolidados (EE. UU., Europa, China y Japón) y que las terminales no atenderían las regiones rezagadas como Latinoamérica, dejándola como reservorio donde colocar los modelos con motor a explosión, progresivamente descartados por las áreas mencionadas. Esto se explicaría tanto por la necesidad de amortizar las estructuras productivas asociadas al esquema tecnológico anterior, así como por el hecho de que todavía el valor individual de los EVs constituye una barrera que limita su difusión en países de ingresos bajos-medios.

Sin embargo, comprendiendo que eventualmente (aunque de manera más tardía) esa transición también tendrá lugar en el país y la región, probablemente la terminal que mayor potencial ofrezca para incorporar desarrollos locales en materia de baterías sea Toyota (Zárate), dado que la firma produce en Argentina no sólo para abastecer al mercado ampliado de la Política Automotriz Común (PAC) con Brasil sino también a Centroamérica. Esto podría involucrar una escala que contribuiría a desarrollar cierta integración de baterías, principalmente en relación con el resto de las terminales que sólo producen en Argentina para Brasil y el mercado local.²⁷ No obstante, dado que Toyota ya cuenta con modelos de EVs comercializados con su correspondiente cadena de valor desarrollada, existen reservas respecto al potencial de que la localización de una planta de baterías para la terminal lograra vincularse y traccionar al entramado productivo y científico-tecnológico provinciales.

En el caso de los buses eléctricos el escenario es similar. Por un lado, actualmente en Argentina la fabricación de buses con motor a explosión consiste esencialmente en la realización del carrozado de chasis que son importados desde Brasil. Sólo 2 firmas fabrican chasis para algunos modelos de buses, ambas localizadas en la provincia de Buenos Aires: la brasileña Agrale (Mercedes) y la alemana Mercedes-Benz (La Matanza). En principio, ambas compañías poseen tecnología vinculada a nuevas motorizaciones. Mercedes-Benz produce buses eléctricos en Alemania y Agrale posee una unidad propia en desarrollo.²⁸

²⁶ Cuando se navega a vela se despliega la hélice y el motor opera como un generador.

²⁷ Accesoriamente, también hay que considerar que Toyota ya se encuentra directamente presente e involucrada en la extracción del mineral de litio en Jujuy vía un *joint-venture* denominado Sales de Jujuy S.A. junto a la minera australiana Orocobre Limited y la firma estatal Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (JEMSE).

²⁸ El proyecto es realizado mediante una asociación con la británica Equipmake (que, en rigor, es la fabricante del chasis y el motor). Planean lanzar el vehículo en Argentina en 2021. Sería enteramente eléctrico, con batería de ion-litio.

La problemática reside en la escala del mercado interno y la complementariedad productiva con Brasil. En primer lugar, la escala del mercado local es 7 veces inferior a la del país vecino. De acuerdo con datos de la Asociación de Fabricantes de Automotores (ADEFA), mientras que en Argentina se patentaron poco más de 3.000 buses anuales en promedio entre 2015-2019, en Brasil, según información de la Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) las ventas alcanzaron casi las 21.000 unidades en 2019. Adicionalmente, la principal firma mundial del segmento de buses eléctricos (la china BYD) ya posee una planta instalada y produciendo vehículos en San Pablo [18], donde además localizó a partir de septiembre de 2020 [21] la fabricación de las baterías de ion-litio para estas unidades. Este contexto conduciría a concluir que la firma aspira a abastecer el mercado regional desde su planta en Brasil. Así, las posibilidades de localizar en la provincia de Buenos Aires (o en Argentina en general) una terminal de buses eléctricos que integre su batería localmente, y que esto incluso pueda tener una articulación virtuosa con el entramado científico-tecnológico local, resultan restringidas.

F. Otros nichos vinculados a la industria automotriz: *citycars* e infraestructura de carga y recarga

La firma de capitales nacionales Sero Electric (Morón) desarrolló un vehículo eléctrico limitado a una velocidad máxima de 50 km/h, que se utiliza tanto para tareas de vigilancia o desplazamientos en áreas privadas (fábricas, barrios cerrados, campos de golf, etc.), como para el uso particular de pasajeros en la vía pública (zonas urbanas excluidas autopistas) a partir de su homologación en 2019. Cuenta con una autonomía de entre 45 y 100 km. y una modalidad de recarga con conexión directa a la red común (220V). El vehículo cuenta con modelos en base a baterías de plomo (AGM) y de ion-litio.^{29,30}

Por su parte, la firma de capitales nacionales Montero Soluciones Eléctricas (Lanús) comercializa bajo licencia de una compañía alemana una serie de estaciones de recarga para vehículos eléctricos tipo poste (privada, semipública y pública). En este marco, la empresa contaría con las capacidades necesarias para implementar un proyecto propio para el desarrollo de cargadores semipúblicos para movibilidades eléctricas en la Provincia y el país, que simultáneamente traccionaría proveedores metalmecánicos locales.

5. Opinión de un especialista: oportunidades para el agregado de valor provincial

En el presente apartado se presentan las principales conclusiones de la entrevista realizada al doctor Eduardo Dvorkin³¹, especialista en temáticas de ciencia y tecnología y presidente del directorio

²⁹ El modelo con baterías de litio duplica la autonomía alcanzando los 100km pero incrementa el costo en dólares del vehículo en un 50%.

³⁰ También existen otras empresas en las provincias de San Luis (Coradir) y Córdoba (Volt Motors) que desarrollaron modelos propios de *citycars*.

³¹ Eduardo Dvorkin es Ingeniero Electromecánico por la Facultad de Ingeniería (UBA, 1974), Magíster en Ingeniería Mecánica (MIT, 1982) y Doctor en Ingeniería Mecánica (MIT, 1984). Fue Profesor Titular y Visitante y ha dictado Seminarios en distintas universidades del país (UBA, UNLP, UNMDP) y del exterior (Stanford University, MIT, Universidad de Stuttgart, entre otras). Ha dirigido centros de investigación en el sector público (CSC-CONICET) y privado (Centro de Investigación Industrial-Tenaris-Siderca) y también ha obtenido numerosas distinciones académicas en el ámbito local e internacional incluyendo el Premio Houssay Trayectoria en Ingeniería (2013) y el Premio Fundación Konex en Ciencia y Tecnología para la década 1993 - 2002 (2003). Además, ha escrito numerosas publicaciones incluyendo 3 libros, más de 50 publicaciones académicas y más de 80 presentaciones en congresos.

de la empresa nacional Y-TEC S.A.³², orientada a la investigación y el desarrollo experimental en el sector energético. Estas ideas rectoras se encuentran asociadas a las oportunidades que ofrece la cadena de valor de baterías para contribuir al desarrollo productivo y social del país, y de la Provincia en particular, y los lineamientos generales para su impulso. Cabe aclarar que una parte significativa de las reflexiones del especialista se encuentran atravesadas por las características del proyecto de Y-TEC en materia de producción de baterías, celdas y componentes activos que ya fue reseñado con anterioridad.³³

A. Decisión estratégica para el desarrollo

A pesar de tratarse de un sector que ya cuenta con cierta trayectoria histórica³⁴, el mercado mundial de baterías se encuentra en pleno crecimiento producto de la emergencia del paradigma de transición energética (electromovilidad, incremento de la importancia de las fuentes energéticas renovables, etc.), lo cual ofrece oportunidades para el ingreso de nuevos jugadores. Pero aún más, en el caso específico de la Argentina se trata de un país que ya tiene cierta presencia en la cadena de valor, específicamente por medio de la producción de mineral de litio. De esta manera, establecer una estrategia para su industrialización constituye un ejercicio para promover el agregado de valor local a los recursos naturales, en un intento por trascender un esquema tradicional de producción de bienes primarios e importación de manufacturas, particularmente en vistas a la incidencia relativamente baja del mineral de litio en el costo total de una batería.³⁵

Asimismo, el país ya cuenta con antecedentes de capacidades científicas en la materia, asociadas principalmente en la provincia de Buenos Aires, al Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) perteneciente al CONICET y la UNLP que, junto con Y-TEC, conformaron líneas de investigación sobre materiales activos, cátodos y ánodos. El aprovechamiento de estas capacidades para generar resultados que deriven en beneficios para la sociedad en su conjunto debe basarse en una articulación virtuosa entre el sistema científico-tecnológico y el sector productivo, de manera tal de posibilitar, en líneas generales, la transformación de ciencia en tecnología.

Ahora bien, en términos del desarrollo de la cadena de valor de baterías de ion-litio particularmente en la provincia de Buenos Aires, el potencial bonaerense se encuentra vinculado a que el desarrollo y dominio de una nueva tecnología en términos locales (a nivel de Argentina como país) no está determinado por la proximidad geográfica del recurso mineral (en este caso, el litio) sino, antes bien, con la cercanía a las principales usinas generadoras de conocimiento especializado en la materia. A este respecto, la Provincia cuenta con una posición privilegiada asociada a las capacidades de actores del sistema científico-tecnológico como el CONICET, la CIC y las universidades con asiento en el territorio.

³² YPF Tecnología (Y-TEC) es una firma fundada conjuntamente en 2013 por YPF S.A. (con el 51% del paquete accionario) y el CONICET (49%), especializada en actividades de I+D relativas a los sectores de petróleo y gas (*upstream* y *downstream*) y de energías renovables (almacenamiento energético, dispositivos fotovoltaicos, sostenibilidad ambiental, biogás, biomasa, hidrógeno verde, entre otros). Cuenta con más de 250 empleados y es titular de 33 patentes.

³³ Para más detalles consultar el apartado 4.1.

³⁴ Tal como ya fue mencionado, los primeros modelos comerciales de baterías de ion-litio corresponden a principios de la década de 1990.

³⁵ Como fuera analizado en el apartado 2.2, el litio representa entre el 4% y el 10% del costo total, dependiendo de la tecnología utilizada.

B. Oportunidades Provinciales en la cadena de valor

En el caso del proyecto de industrialización de baterías de ion-litio correspondiente a Y-TEC, la composición catódica elegida es la LFP, asociado tanto a las ventajas de su rendimiento (particularmente, en materia de seguridad) así como a las menores dificultades relativas para garantizar el acceso a los insumos minerales necesarios. Al respecto cabe señalar, por ejemplo, que esta formulación no involucra cadmio, cuyo acceso, de ser necesario, podría suponer ciertas restricciones. Con relación al hierro, si bien la calidad y pureza necesarias para encontrarse en condiciones de ser aplicado a baterías no existe actualmente en el país,³⁶ se estima que su producción bajo los parámetros requeridos puede desarrollarse, particularmente al interior de la propia provincia de Buenos Aires. Una situación semejante ocurre con el electrolito. En la actualidad, este insumo de las baterías no registra producción dentro del ámbito nacional. Aun así, existen PyMEs del sector químico local que cuentan con las capacidades necesarias para avanzar en su desarrollo, apuntalado a su vez por el hecho de que este componente no involucra una complejidad tecnológica que resulte excluyente. Por el contrario, la inexistencia de oferta local actual se encuentra más asociada al hecho de que, previamente al emplazamiento del proyecto de Y-TEC, no existía una demanda doméstica de electrolitos.

Ahora bien, complementariamente a lo dicho hasta aquí, también existen segmentos de la cadena de valor (o partes de éstos) cuyo desarrollo local resulta más improbable. Es el caso, por ejemplo, de las láminas de aluminio que conforman el colector del cátodo. Esto se encuentra asociado a que al proceso de laminado específico requerido por la cadena de valor y la escala relativamente acotada que sería demandada, sumado al hecho de que su aprovisionamiento a nivel mundial resulta de fácil acceso por precio y cantidad. Sin perjuicio de ello, de ser necesario su desarrollo local podría ser eventualmente abordado si las circunstancias lo exigieran, dada la existencia en el país del recurso y de laminadores capaces de realizar la transformación. Luego, también cabe señalarse el caso del controlador, cuyo ensamble si bien es factible de realizarse localmente, el aprovisionamiento de las piezas electrónicas que lo conforman sería de origen externo, dada la escala con que son producidas (y su correspondiente menor precio). Finalmente, en lo relativo al ánodo el potencial de su desarrollo local se vería dificultado por el acceso al grafito necesario. Alternativamente se han realizado intentos de sustituirlo con otros materiales, pero hasta el momento dichos esfuerzos han resultado infructuosos.

C. Consideraciones acerca de la competitividad

Los proyectos de inserción en la cadena de valor de baterías de ion-litio orientados a segmentos específicos tales como el de Y-TEC, además de involucrar el desarrollo de tecnologías estratégicas, potenciar y aprovechar las capacidades del sistema científico-tecnológico local, y de promover el agregado de valor doméstico, también detentan la capacidad de resultar competitivas por precio. En la comparación kW/h, el precio local asociado a una batería doméstica se encuentra en un espectro similar al equivalente correspondiente a una batería importada de proveedores chinos y colocada en el mercado local.

³⁶ Se han desarrollado pruebas-piloto con hierro esponja adquirido a proveedores locales.

Independientemente de ello, también es menester considerar que la incursión inicial en un mercado que involucra el desarrollo de un producto nuevo, asociado al dominio de un paquete tecnológico novedoso para el ámbito local probablemente implique que los bienes preliminares no detenten las mismas características en términos de precio y/o calidad respecto a las imperantes en el mercado mundial, o bien los retornos de inversión de los proyectos productivos difieran de aquellos propios de fabricantes con mayor trayectoria en el mercado. Sin embargo, esto se trata de un escenario propio de las instancias iniciales de cualquier proyecto productivo de estas características en el mundo, asociado a una determinación estratégica que sopesa consideraciones técnicas, tecnológicas, sociales y hasta económicas que exceden a la estricta comparación unidimensional de precios.

D. Segmentos de especialización con potencial de desarrollo

Tal como fuese reseñado con anterioridad, el proyecto desarrollado por Y-TEC tiene como objetivo la producción de baterías de ion-litio orientadas específicamente a segmentos de la demanda considerados de mayor potencial para el país: acumulación energética para fuentes renovables (EES) y el sector de la Defensa. A este respecto, resulta relevante considerar los fundamentos que condujeron a privilegiar estos nichos por encima de otro usualmente asociado con este tipo de desarrollos: los automotores eléctricos. Si bien tanto la Argentina en general como la provincia de Buenos Aires en particular cuentan con un sector automotriz presente en la matriz productiva, es menester atender al hecho de que, en términos mundiales, las escalas de producción resultan relativamente acotadas, al tiempo que el sector se encuentra liderado por compañías multinacionales cuyos proyectos de electromovilidad ya cuentan con una cadena de proveedores formada y en operaciones, lo cual constituye una barrera que dificultaría el ingreso de nuevos jugadores a la cadena de valor. Asimismo, también cabe señalarse que la electrificación de nuevos vehículos o del parque actualmente instalado, tanto de automóviles como de buses, involucraría adicionalmente el desafío de desarrollar la infraestructura energética necesaria para el funcionamiento de los vehículos, cuestión particularmente desafiante en el ámbito del Área Metropolitana de Buenos Aires dada la densidad de automotores y el estado actual de la red eléctrica que, de por sí, ya registra problemáticas para su operación bajo determinadas condiciones climáticas.

Por otra parte, el segmento de reciclaje de baterías también reviste interés estratégico para su desarrollo en la Provincia y el país. En primer lugar, el eslabón resulta relevante desde una perspectiva ambiental, a los usos de poder contar con actividades que permitan en el futuro atender a la potencial emergencia de stocks de baterías cuya vida útil haya finalizado, de forma tal de que éstas no representen un peligro para el medio. En segundo lugar, cabe considerar las implicancias económicas del reciclaje, asociadas a la reutilización de materiales para abastecer la producción de nuevas baterías, garantizando el acceso a una parte de sus insumos que además, como ya fue analizado con anterioridad, pueden constituir un desafío en determinados casos. En tercer lugar, el país también cuenta con ciertas capacidades científicas en la materia. Así, por ejemplo, la provincia de San Luis registra grupos de investigación con líneas de trabajo asociadas al desarrollo de una tecnología propia³⁷ para el reciclado de baterías de menor porte (celulares y similares). En este contexto, existen condiciones y atractivos para explorar el desarrollo provincial de la actividad de reciclaje.

³⁷ Tal como ya fue señalado, el eslabón de reciclaje de baterías está conformado en la actualidad por un conjunto de técnicas en competencia, caracterizando un paradigma tecnológico aún no consolidado.

6. Comentarios finales

El segmento productivo de baterías de ion-litio constituye una estructura relativamente compleja, asociada a las características de su cadena de valor, la multiplicidad de tipos de baterías (caracterizadas según su aplicación, formato de presentación, la conformación de su material catódico y/o anódico) y los determinantes del mercado mundial de cada uno de sus eslabones, donde intervienen un conjunto variado de países y empresas.

A partir del análisis de la estructura de la cadena de valor de las baterías de ion-litio, de la configuración del mercado mundial de los eslabones que la componen, de su prospectiva tecnológica y de algunos de los sectores productivos que forman parte del entramado productivo provincial, es posible afirmar que **existen condiciones para el desarrollo de baterías autóctonas basadas en las capacidades industriales y tecnológicas presentes en la provincia de Buenos Aires**, insertándose estratégicamente en eslabones específicos de la cadena de valor en articulación con potenciales sectores demandantes.

Desde una perspectiva de la oferta, el análisis sugiere que los eslabones de la cadena productiva más permeables para la incorporación de nuevos actores los constituyen el **ensamble de baterías y packs** junto a la **producción de celdas**, dada su menor complejidad tecnológica relativa asociada a su incidencia sobre el costo total. En segundo lugar, el crecimiento aguas arriba en la cadena, en la búsqueda de lograr mayor integración orientaría el desarrollo hacia la fabricación local de componentes, específicamente de **material catódico**,³⁸ dado tanto su menor concentración relativa agregada de mercado (lo que promueve la competencia) así como por su mayor incidencia en el costo frente al resto de los componentes, lo que redundaría en un mayor agregado de valor local. Además de explorar la posibilidad de avanzar en los mercados de composiciones químicas de cátodos ya consolidadas y vigentes en el mercado, también podría analizarse la inserción en el desarrollo de nuevas composiciones que forman parte de la prospectiva tecnológica del sector (por ejemplo, litio-azufre o litio-aire), lo que involucraría inversiones considerables en ciencia y tecnología.

Complementariamente, el proceso de **reciclaje de baterías de ion-litio** también ofrecería oportunidades para que la provincia de Buenos Aires se inserte en su cadena de valor. Dado que el reciclaje de baterías involucra actualmente distintas técnicas que se hallan en competencia entre sí dentro de un paradigma tecnológico no consolidado, constituiría un escenario fértil para el ingreso de nuevos jugadores al mercado. Asimismo, el desarrollo de capacidades en este eslabón permitiría obtener acceso, al menos, a una parte de los otros minerales que, junto al litio, resultan críticos para el desarrollo de baterías (por ejemplo, el cobalto). Esto luego podría apuntalar los propios esfuerzos en materia de integración de material catódico o bien posibilitaría el ingreso de la Provincia a la cadena de valor mundial como oferente de materias primas. A su vez, el crecimiento proyectado del segmento de vehículos eléctricos (EVs) y de otras tecnologías como el almacenamiento energético (EES), incrementarían sensiblemente la oferta de baterías agotadas en el futuro, ofreciendo grandes posibilidades de desarrollo para el segmento de reciclaje.

³⁸ Se trata de la promoción de la producción local de las sales necesarias para conformar los cátodos, por ejemplo, NCA, LCO y otras.

Desde una perspectiva de la demanda, en principio, corresponde remarcar que la diversidad de los sectores que conforman el entramado productivo local hace que la provincia de Buenos Aires se encuentre con una multiplicidad de oportunidades para traccionar el desarrollo de una cadena de valor local de baterías de ion-litio. Éstas podrían incluir la producción de baterías aplicadas al **almacenamiento energético (EES)** - en articulación con el sector provincial de generación de energía renovable -, para las industrias de **motocicletas y bicicletas, de maquinaria agrícola, naval, automotriz, buses y nichos asociados**. Es en este marco donde pueden comprenderse los primeros antecedentes desarrollados y/o en desarrollo de firmas provinciales que han incursionado en la producción de baterías para abastecer proyectos locales, tales como los casos reseñados de **LITBAR, Dynami e Y-TEC**.

A partir de este análisis preliminar, es posible afirmar que la provincia de Buenos Aires cuenta con las condiciones productivas para explorar la posibilidad de insertarse de manera virtuosa en la cadena de valor de las baterías de ion-litio, convirtiéndola en una fuente de agregado de valor local que potencie la competitividad de otros sectores, contribuya a brindar soluciones locales a problemáticas globales como el cambio climático y permita generar más y mejor trabajo.

7. Glosario de abreviaturas

ADEFA: Asociación de Fabricantes de Automotores.

Al: Aluminio.

ANFAVEA: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.

BMS: *Battery Management System* o Sistema de Control de Baterías.

C: Carbono.

CAFAM: Cámara de Fabricantes de Motovehículos.

CIC: Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires.

CIMBRA: Cámara de la Industria de Motovehículos, Bicicletas, Rodados, Motopartes y Bicipartes argentinas.

CITEDEF: Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa.

CITEMA: Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias y Tecnología de Materiales.

Co: Cobalto.

COCHILCO: Comisión Chilena del Cobre.

COMMBI: Cámara Argentina de Comercio e Industria de Bicycletas.

CONICET: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

Cu: Cobre.

EE. RR.: Energías Renovables.

EES: *Electrical Energy Storage*, almacenamiento de energía eléctrica o almacenamiento energético.

EVs: *Electric Vehicles*, vehículos eléctricos o electromovilidad.

H: Hidrometalurgia.

HEV: *hybrid electric vehicles* o vehículos eléctricos híbridos.

I+D: Investigación y Desarrollo.

I+D+i: Investigación, Desarrollo e Innovación.

INIFTA: Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas.

INQUISUR: Instituto de Química del Sur.

INTEMA: Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales.

IoT: *Internet of Things* o internet de las cosas.

JEMSE: Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado.

kW/h: kilowatt/hora.

LCE: Litio carbonato equivalente.

LCO: Batería de ion-litio de óxido de cobalto-litio.

LFP: Batería de ion-litio de litio-ferrofosfato.

Li: Litio.

LO: Batería de ion-litio de litio-aire (oxígeno).

LS: Batería de ion-litio de litio-azufre.

LTO: Titanato de litio.

MINCYT: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación.

Mn: Manganeseo.

MPCeIT: Ministerio de Producción, Ciencia e Innovación Tecnológica de la provincia de Buenos Aires.

Na-ion: ion-Sodio.

NCA: Batería de ion-litio de litio, níquel, cobalto, aluminio.

Ni/Cd: Níquel/Cadmio.

Ni/HM: Níquel/Hidruro Metálico.

Ni: Níquel.

NMC: Batería de ion-litio de litio, níquel, manganeso, óxido de cobalto.

P: Pirometalurgia.

PAC: Política Automotriz Común.

P-HEV: *Plug-in Hybrid Electric Vehicles* o vehículos eléctricos híbridos enchufables.

PyMEs: Pequeñas y Medianas Empresas .

Si: Silicio.

SLI: *Start, Lighting, Ignition* o arranque, encendido e ignición.

Sn: Estaño.

Ti: Titanio.

UBA: Universidad de Buenos Aires.

UCC: Universidad Católica de Córdoba.

UE: Unión Europea.

UNLP: Universidad Nacional de la Plata.

UNMDP: Universidad Nacional de Mar del Plata.

UNRC: Universidad Nacional de Río Cuarto.

UNS: Universidad Nacional del Sur.

UPS: *Uninterruptible Power Supply* o fuente de energía para interrupciones.

UTN: Universidad Tecnológica Nacional.

Y-TEC: YPF TECNOLOGÍA

8. Bibliografía

- **[1]** Unión Europea (2017). Lithium-ion battery value chain and related opportunities for Europe.
- **[2]** Commonwealth of Australia (2018). The lithium-ion battery value chain.
- **[3]** Gamba, M. (2019). ¿Cómo funciona una batería? En Fornillo, B. (coord.), Litio en Sudamérica. Geopolítica, energía y territorios.
- **[4]** Fornillo y col. (2015). Geopolítica del litio. Industria, ciencia y energía en Argentina.
- **[5]** Sharova y col. (2020). Evaluation of Lithium-Ion Battery Cell Value Chain.
- **[6]** López y col. (2019). Litio en Argentina. Oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor.
- **[7]** CIECTI (2015). Industrialización del litio y agregado de valor local.
- **[8]** Pillot, C. & Sanders, M. (2017). The Rechargeable Battery Market and Main Trends 2016-2025.
- **[9]** Rolland Berger Strategy Consultants (2012). The Lithium-Ion Battery Value Chain.
- **[10]** Mayyas y col. (2018). The case for recycling: Overview and challenges in the material supply chain for automotive li-ion batteries.
- **[11]** COCHILCO (2013). Mercado internacional del litio.
- **[12]** Secretaría de Política Económica (2018). Informes de Cadenas de Valor: Litio.
- **[13]** Choi, J. & Aurbach, D. (2016). Promise and reality of post-lithium-ion batteries with high energy densities.
- **[14]** Ernst & Young LLP (2013). Eight mega trends shaping the global light vehicle industry.
- **[15]** McKinsey & Company (2016). Automotive revolution – perspective towards 2030.
- **[16]** PwC (2018). Five trends transforming the Automotive Industry.
- **[17]** Kazimierski, M. (2018). Almacenamiento energético frente al inminente paradigma renovable: el rol de las baterías ion-litio y las perspectivas sudamericanas. Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales, N.º 23, pp. 108-132.
- **[18]** Bermúdez Liévano, A. (2019). El año en que los buses eléctricos llegaron (finalmente) a América Latina.
- **[19]** Secretaría de Gobierno de Energía (2019). Balance de gestión en energía 2016-2019.
- **[20]** Mosquera, P. (2019). El sector naval solo tiene una opción: reducir con urgencia sus emisiones.
- **[21]** BYD (2020). BYD Starts Operations at its Lithium Iron Phosphate Battery Factory in Brazil.