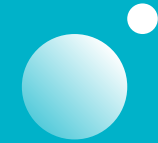


Documento de Trabajo N° 3

Versión reducida

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



ORBITA

Observatorio Regional Bonaerense
de Innovación Tecnológica



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

1. Baterías de ion-litio

1.1. Definición y principales características

¿Qué es una batería de ion-litio?

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. Están compuestas por **celdas** conectadas entre sí y reguladas por un **controlador (chip)**¹ que, a su interior, están integradas por un apilamiento de 3 tipos de hojas:

- **Ánodo:** entrada de corriente o electrodo negativo. Se trata de una lámina de cobre cubierta en una de sus caras por material reactante, normalmente grafito (natural o artificial) y otras formas de carbono.
- **Cátodo:** salida de corriente o electrodo positivo. Se trata de una lámina de aluminio cubierta en una de sus caras por material reactante, normalmente hidróxido de litio y otros materiales (manganeso, cobalto, níquel).

- **Separador:** lámina de polímeros (plástico) con pequeños poros que “separa” los materiales reactantes para evitar un cortocircuito. Se encuentra embebido en un **electrolito**, sustancia compuesta por un líquido o gel de hexafluorofosfato de litio (sal de litio) que permite el tránsito de iones de litio para generar una reacción electroquímica [1] [2].

¿Cómo funciona?

Los materiales reactantes albergan iones de litio (átomos de litio con carga positiva) que se intercalan en su estructura y pueden entrar o salir de éstos sin destruir la estructura del material. En una reacción de descarga, los iones de litio que se encuentran intercalados en el material reactante del ánodo atraviesan el separador y por medio del electrolito se dirigen hacia el cátodo. Sin embargo, los electrones no pueden seguir el mismo camino: viajan desde un electrodo al otro por medio de una ruta alternativa, que en este caso conduce hacia el aparato que la batería pretende hacer funcionar, brindándole así energía eléctrica [1] [2] [3].

¿Cuáles son sus ventajas?

Las baterías de ion-litio ostentan múltiples **ventajas** sobre otros tipos de baterías²: tienen una mayor densidad energética y ocupan menos espacio; poseen un ciclo de vida más largo; tienen un menor peso a igual volumen; pueden cargarse y descargarse más rápido; poseen una descarga lineal, esto es, 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); pueden suministrar aplicaciones que requieren una elevada corriente (como herramientas eléctricas); involucran menos mantenimiento; se pueden fabricar en masa; y generan más voltios [2].

1.2. Tipologías

Las baterías de ion-litio pueden clasificarse de distintas maneras, con arreglo a cuatro variables: **la composición del cátodo o el ánodo, su formato de presentación y sus aplicaciones.**

¹ El controlador regula la tensión, la temperatura, la corriente y la carga de cada celda. 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].

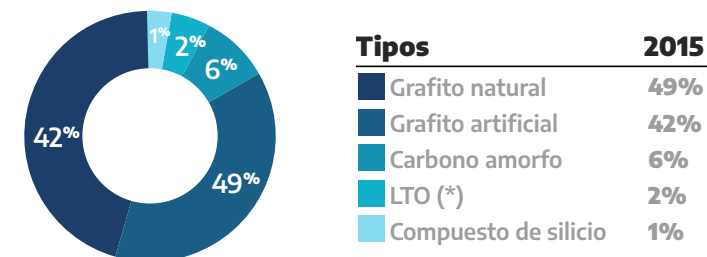
² Como las de Níquel/Cadmio, Níquel/Hidruro Metálico, plomo ácido o sodio-azufre.

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-Ferrosfato	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, espinela	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].

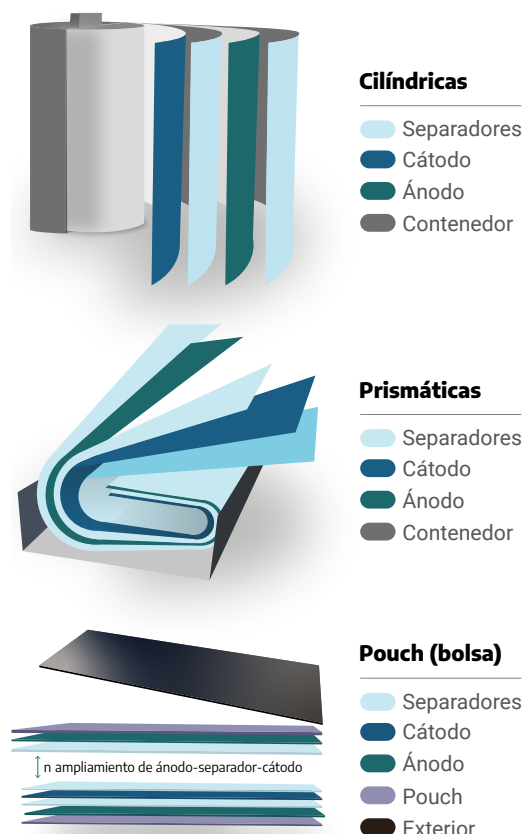
Tipos de baterías de ion-litio según composición del material anódico y participación en el mercado mundial de material anódico (% en toneladas, 2015)



(*) LTO (Lithium Titanium Oxide) corresponde a titanato de litio.

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

Tipos de baterías de ion-litio según formato de presentación



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

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.	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] y Pillot & Sanders (2017) [8].

Las diversas composiciones del material catódico, del material anódico y los distintos formatos de presentación disponibles se corresponden con **diversas aplicaciones, escalas y variables de desempeño de las baterías**. En particular, cabe desta-

car que el tipo de elementos que compongan el cátodo incidirá en múltiples aspectos técnicos, incluyendo el ciclo de vida, la seguridad, el comportamiento, la densidad energética, la densidad de potencia y el costo promedio.

1.3. Prospectiva tecnológica

En términos de la prospectiva tecnológica, en la actualidad los mayores esfuerzos 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 (cátodo, ánodo y electrolito) incluyendo sus materiales, técnicas de producción y sustitución y/o reciclaje de materiales críticos. También se destacan los esfuerzos por desarrollar **nuevas composiciones químicas** de éstos, tanto en el caso de los cátodos (litio-azufre, litio-aire) y los ánodos (litio metálico), así como en los electrolitos (electrolitos de estado sólido a base de cerámicos o polímeros, denominados “baterías de estado sólido” o *solid-state batteries*). Además se registran investigaciones en materia de **reciclado de baterías** (eficientización de procesos existentes y desarrollo de nuevas técnicas). Por último, entre las aplicaciones, sobresalen los esfuerzos en I+D+i correspondientes a baterías para el sector automotriz y el perfeccionamiento de los diversos aspectos técnicos que hacen a su funcionamiento [1] [5] [6] [7].

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

A partir de los estudios relevados la **cadena de valor** correspondiente a la fabricación de baterías de ion-litio puede comprenderse esquemáticamente como un proceso de **cinco etapas** (incluyendo el reciclaje), cada una de ellas con una incidencia disímil en

el costo final del dispositivo y, como se verá más adelante, con diversidad de actores intervinientes (tanto en términos de países como de empresas):

Cadena de valor simplificada de la fabricación de baterías de ion-litio y participación de cada etapa en el costo final

Etapa	Pasos simplificados	Incidencia en el costo según Mayyas y col. (2018)	Incidencia en el costo según Sharova y col. (2020)
Materias Primas	Extracción y procesamiento de elementos de fuentes minerales sólidas o salmueras continentales.	12%	11%
Componentes de celdas	Elaboración de materiales activos y su aplicación a hojas de aluminio y cobre. Conformación de materiales inactivos.	35%	61%
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 	35%	27%
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) 	18%	
Reciclado	Cuatro tecnologías de reciclado: 1 - Mecánica 2 - Pirometalúrgica 3 - Hidrometalúrgica 4 - Combinación de 2 y 3	N/C	N/C

Fuente: elaboración propia sobre la base de la 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].

En términos de la **incidencia de cada una de estas etapas en el costo final de la batería**, deben resaltarse tres elementos. Primeramente, tal como se evidencia en el esquema previo, distintas fuentes atribuyen participaciones disímiles en el valor final.³ No obstante, 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. En segundo lugar, es interesante remarcar que **el litio representa entre el 4% y el 10% del costo total de una batería**, dependiendo de la tecnología utilizada [6]. Por último, considerando la participación en el costo de cada componente de la batería con respecto al total de los mismos, vale indicar que el cátodo ostenta la mayor incidencia (39% del total), seguido por el separador (19%), el ánodo (18%), el electrolito (13%) y la colocación de la carcasa y el establecimiento de las conexiones (11%) [9].

³ La discrepancia podría estar explicada, por ejemplo, por el tipo de batería específica analizada. Así, por caso, Sharova y col. [5] utilizan como referencia una batería NMC en formato pouch, mientras que Mayyas y col. [10] no informan una composición específica, por lo que podría tratarse de un promedio.

⁴ 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, como en el caso de Australia) y salmueras continentales (salares, como en el caso de Argentina y Chile) [7]. Además de las baterías, el mineral de litio constituye un insumo transversal utilizado en múltiples aplicaciones (producción de vidrios y cerámicos, grasas y lubricantes, medicamentos, tratamiento del aire, etc.). Sin embargo, en la actualidad las baterías de ion-litio constituyen la principal fuente de demanda del mineral, principalmente como resultado del crecimiento del segmento de vehículos eléctricos [11] [12].

⁵ 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].

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

El análisis de la estructura del mercado mundial de baterías de litio puede realizarse con arreglo a dos dimensiones: según los países o según las empresas involucradas.

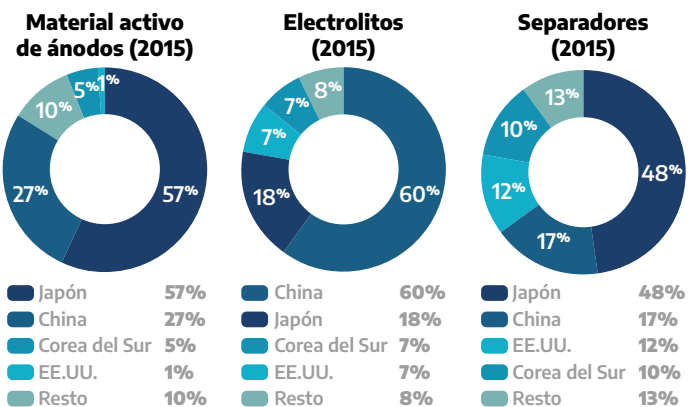
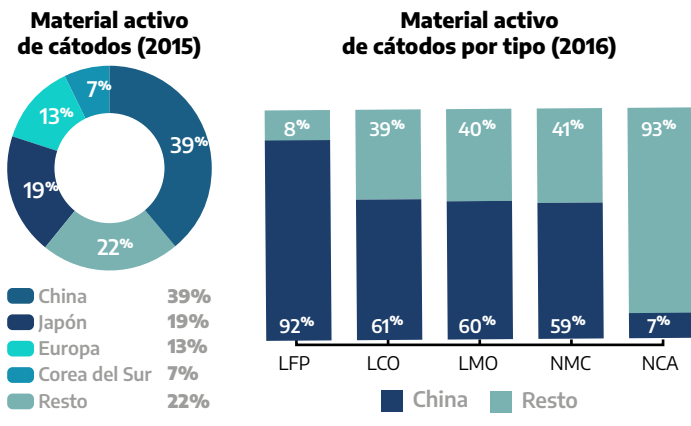
3.1. Análisis por países

En primer lugar, desde el punto de vista de los países, si bien la mayor parte de las actividades de extracción del mineral de litio tienen lugar en **Chile, Argentina y Australia** [2], las empresas que realizan dicho proceso son originarias de **Estados Unidos, Canadá y Australia**^{4,5} [6]. Complementariamente, debe tenerse presente que, además de la extracción o el acceso al mineral de litio, la producción de baterías involucra a **otros minerales indispensables** (cobalto, grafito, fosfato, manganeso, entre otros), específicos de cierto tipo de baterías o transversales a varios de ellos, por lo que es menester atender a su distribución mundial [1]. Para ilustrar la relevancia de

este punto puede señalarse, por ejemplo, que según información correspondiente al 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]. La concentración de la producción y/o de reservas mundiales de estos minerales empleados en la fabricación de baterías de ion-litio (así como en otros procesos productivos) conducen a que algunos países los cataloguen como "materias primas críticas" [1].

Con respecto a los **procesos de producción de componentes, celdas y ensamble de baterías**, actualmente (2015) **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, mientras que **Japón** detenta el liderazgo en la etapa de ensamble de baterías y en la fabricación de ánodos y separadores [2] [5]. 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].

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



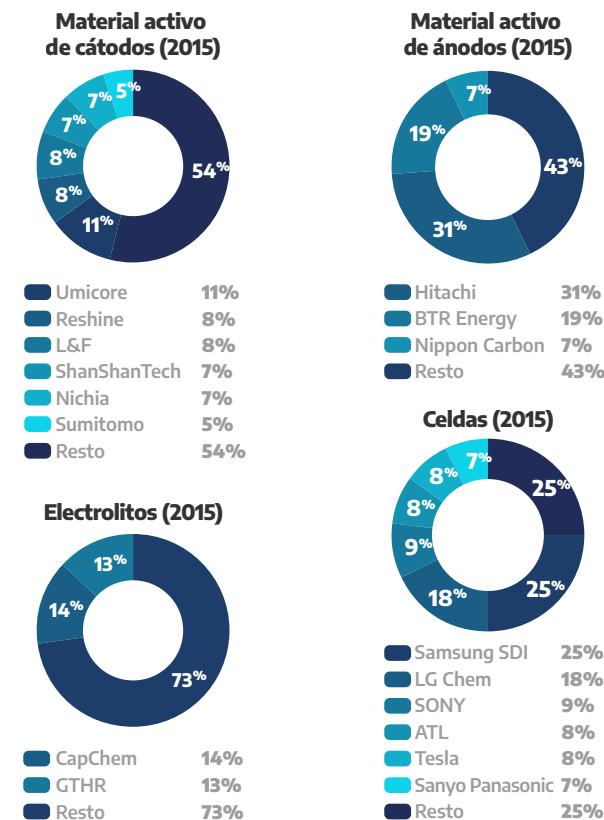
Fuente: elaboración propia sobre la base de Unión Europea (2017) [1] y López y col. (2019) [6].

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 (**EE.UU., China y Japón**) cuentan con capacidad relevante propia de reciclaje, excepto por **Corea del Sur** [10].

3.2. Análisis por empresas

Al nivel de las firmas que participan en la cadena de valor, algunos estudios como el de López y col. [6] señalan que las que intervienen en los distintos eslabones se caracterizan por un alto nivel de especialización, con una creciente concentración de mercado por eslabón y bajos niveles de integración vertical, mientras que otros, como el de la Unión Europea [1], plantean un escenario donde mercados como el de material catódico y el de electrolitos son dinámicos, permeables al ingreso de nuevos jugadores o tendencias a la desconcentración. Independientemente de esto, se consideran las principales firmas por eslabón a lo largo de la cadena productiva de baterías:

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 con la cantidad de procesos específicos que desarrollan, siguiendo estrategias disímiles que varían entre el *outsourcing* de algunas tareas hasta la fabricación completa *in-house*.

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

4.1. Actores nacionales vinculados a baterías de ion-litio

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):

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, monopatines, 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).

Asimismo, en la provincia de Buenos Aires también se registran diversos actores pertenecientes al sistema científico-tecnológico con capacidades asociadas a la cadena de valor de baterías de ion-litio:

Actores del sistema científico-tecnológico de la provincia de Buenos Aires vinculados a proyectos de baterías de ion-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

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.

Los mismos 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 como potenciales demandantes de baterías de ion-litio de fabricación local.

Desde una **perspectiva de la oferta**, puede estimarse que las etapas de menor complejidad tecnológica y, por lo tanto, de mayor apertura para el ingreso de nuevos actores 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: mientras que el principal jugador (China) concentra casi el 40% de la oferta, este porcentaje es 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%). Sin embargo, 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. Además, en términos de su prospectiva tecnológica, la existencia de paradigmas tecnológicos no consolidados derivados de la actual búsqueda del

desarrollo de nuevas composiciones químicas de material catódico activo (litio-azufre y litio-aire) probablemente también contribuya a ofrecer mayores posibilidades de inserción para nuevos jugadores en el mercado.⁶ Por último, puede considerarse la posibilidad de insertarse en el segmento de reciclado de baterías puesto que, al tratarse de una etapa que involucra varias técnicas en competencia dentro de un paradigma tecnológico no consolidado, podría resultar más receptivo a la incorporación de nuevos actores. Además, 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 (como el cobalto, el níquel o el manganeso), lo que ofrecería mayores oportunidades para la integración local de cátodos o bien para el ingreso a la cadena de valor mundial como oferente de materias primas.

Desde una **perspectiva de la demanda**, resulta oportuno analizar la presencia en la Provincia de sectores cuya demanda pudiera traccionar el desarrollo local de baterías. Entre ellos pueden resaltarse el sector de generación de energía vinculada a fuentes renovables (principalmente eólica)⁷, que podría asociarse a baterías para almacenamiento de energía eléctrica (EES o *Electrical Energy Storage*)⁸, baterías para movilidad sustentable (principalmente para los sectores de motocicletas y bicicletas y, en menor medida, para la industria automotriz, de buses⁹ y nichos asociados¹⁰) y para las industrias de maquinaria agrícola (equipos autopropulsados como pulverizadoras, tractores o cosechadoras) y naval¹¹ (embarcaciones de menor porte de uso comercial o recreativo).

⁶ Esto es igualmente válido para nuevas formulaciones químicas o mejoras incrementales a las que son sujetas el resto de los componentes de la batería: el material activo anódico, el electrolito y, en menor medida, los separadores.

⁷ Especialmente en un contexto donde, en los últimos años, la generación de energía de fuentes renovables ha crecido considerablemente tanto en Argentina (a partir de programas específicos para su promoción como el RenovAr) así como en el resto del mundo. Por caso, nuestro país pasó de cubrir el 0,7% del total de la demanda eléctrica a partir de fuentes renovables en 2015 al 5,7% en 2019 [19].

⁸ Particularmente en este caso, las baterías de ion-litio permitirían resolver una problemática técnica asociada a la generación energética renovable denominada "intermitencia", que refiere al hecho de que, por su naturaleza, las fuentes renovables no producen energía de manera constante en el tiempo, y su generación a veces tiene lugar en momentos donde no existe una demanda asociada a la cual abastecer, por lo que dicha energía se ve desperdiciada. En concreto, las baterías ofrecerían la capacidad de almacenar la energía generada en cualquier momento para ser utilizada cuando sea requerida [17].

⁹ Tanto el potencial de desarrollo de una cadena de valor de baterías de ion-litio para la industria automotriz en general, como para la de buses en particular, se encuentran relativamente limitadas en Argentina por dos motivos. Por un lado, se estima que las terminales multinacionales relegarán los procesos de electrificación de los vehículos en la región en general, concentrándose en el corto plazo en los mercados maduros consolidados (EE. UU., Europa, China y Japón) [14] [15] [16]. Por el otro, la menor escala relativa del mercado interno argentino en comparación con el brasileño en segmentos como el de buses hace que, probablemente, los esfuerzos de localización regional de líneas de producción de vehículos eléctricos y/o de sus plantas de baterías asociadas se localicen, primeramente, en el país vecino. De hecho, 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 desde 2020 ha localizado la fabricación de las baterías de ion-litio para estas unidades [21].

¹⁰ Citycars e infraestructura de carga y recarga.

¹¹ Al igual que en el caso de la industria automotriz y la movilidad en general, la industria naval también ha evidenciado diversas iniciativas tendientes a promover la eficiencia energética, la electromovilidad y la reducción de emisiones [20].

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 Dvorkin¹², especialista en temáticas de ciencia y tecnología y presidente del directorio de la empresa nacional Y-TEC S.A., cuyas opiniones se enmarcan en el proyecto de desarrollo de baterías mencionado en el apartado 4.1.

A. Decisión estratégica para el desarrollo

El mercado mundial de baterías se encuentra en pleno crecimiento producto de la emergencia del paradigma de transición energética, lo cual ofrece oportunidades para el ingreso de nuevos jugadores. Además, la Argentina ya tiene cierta presencia en la cadena de valor por medio de la producción de mineral de litio, por lo que establecer una estrategia para su industrialización constituye un ejercicio para promover el agregado de valor local a los recursos naturales.

El país también cuenta con antecedentes de capacidades científicas en la materia, principalmente en la provincia de Buenos Aires por medio del Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA-UNLP-CONICET)

que, junto con Y-TEC, conformaron líneas de investigación sobre materiales activos, cátodos y ánodos.

La provincia de Buenos Aires además detenta potencial específico para el desarrollo de proyectos productivos en la cadena de valor de baterías dada la presencia de usinas generadoras de conocimiento especializado (CONICET, CIC y universidades), cuya importancia supera a la proximidad geográfica con el mineral de litio en una etapa inicial de dominio de un nuevo paquete tecnológico.

B. Oportunidades provinciales en la cadena de valor

Además del ensamble de baterías y la producción de celdas vinculadas al proyecto de Y-TEC, existen oportunidades para el desarrollo provincial de determinados componentes de las baterías, incluyendo el hierro en calidad para baterías y el electrolito. Del otro lado, también existen otros elementos cuyo desarrollo local resulta más improbable, como las láminas de aluminio de los cátodos, la electrónica del controlador y el ánodo.

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, pueden ser competitivos por precio en términos del mercado mundial. Independientemente de ello, el desarrollo de un producto y el dominio de una tecnología novedosa para el ámbito local pueden implicar que los primeros bienes no tengan idéntico precio y/o calidad que los ya existentes en el mercado, o que los retornos de inversión de los proyectos productivos sean comparativamente menores. No obstante ello, 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

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

¹² 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.

para el país: acumulación energética para fuentes renovables (EES) y el sector de la Defensa. Otros segmentos, como la provisión de baterías para vehículos eléctricos, no resultarían convenientes dadas las limitaciones planteadas por la escala del mercado local, las características de esa cadena de valor (liderada por empresas multinacionales con proveedores ya desarrollados) y las limitaciones que el estado actual de la red eléctrica supondría para el aumento de EVs en el mercado local, particularmente en la región del AMBA.

Por otra parte, el segmento de reciclaje de baterías también reviste interés estratégico para su desarrollo en la provincia y el país, dado su potencial para la conservación del ambiente, el reaprovechamiento de materiales para la producción de nuevas baterías y la existencia de algunas capacidades científicas en la materia a nivel nacional, por ejemplo, en la provincia de San Luis.

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 el ingreso de nuevos jugadores los constituyen el **ensamble de baterías y packs** junto a la **producción de celdas**, seguido por la fabricación de ma-

terial catódico¹³, y, complementariamente, la inserción en la etapa de **reciclaje de baterías de ion-litio** usadas. Por su parte, desde una perspectiva de la demanda, cabe destacarse primeramente que la diversidad de los sectores que conforman el entramado productivo local hace que la provincia de Buenos Aires se encuentre con múltiples 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)**, para las industrias de **motocicletas y bicicletas**, de **maquinaria agrícola, naval, automotriz, buses y nichos asociados**. En este marco 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, convirtiendo a ésta 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.

¹³ Se trata de la promoción de la producción local de las sales necesarias para conformar los cátodos, por ejemplo, NCA, LCO y otras.

7. Glosario de abreviaturas

- **CIC:** Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires.
- **COCHILCO:** Comisión Chilena del Cobre.
- **CONICET:** Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
- **EES:** *Electrical Energy Storage*, almacenamiento de energía eléctrica o almacenamiento energético.
- **EVs:** *Electric Vehicles*, vehículos eléctricos o electromovilidad.
- **I+D:** Investigación y Desarrollo.
- **I+D+i:** Investigación, Desarrollo e Innovación.
- **INIFTA:** Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas.
- **LCO:** Batería de ion-litio de óxido de cobalto-litio.
- **LFP:** Batería de ion-litio de litio-ferrofosfato.
- **LO:** Batería de ion-litio de litio-aire (oxígeno).
- **LS:** Batería de ion-litio de litio-azufre.
- **LTO:** Titanato de litio.
- **NCA:** Batería de ion-litio de litio, níquel, cobalto, aluminio.
- **NMC:** Batería de ion-litio de litio, níquel, manganeso, óxido de cobalto.
- **SLI:** *Start, Lighting, Ignition* o arranque, encendido e ignición.
- **UBA:** Universidad de Buenos Aires.
- **UNLP:** Universidad Nacional de la Plata.
- **UNMDP:** Universidad Nacional de Mar del Plata.
- **Y-TEC:** YPF TECNOLOGÍA

8. Referencias bibliográficas

- [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.