

EL PANORAMA GLOBAL SOBRE LA EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DEL MINERAL DE LITIO Y SU APROVECHAMIENTO EN MÉXICO

THE GLOBAL OUTLOOK ON THE SUSTAINABLE EXPLOITATION OF LITHIUM MINERAL AND ITS EXPLOITATION IN MEXICO

Vicente Said MORALES SALGADO¹

RESUMEN: La presente investigación tiene como objetivo estudiar las condiciones tecnológicas, económicas y sociales en las que se explota el mineral litio alrededor del mundo, así como identificar las lecciones derivadas de experiencias internacionales en busca de prácticas que permitan informar a la legislación mexicana sobre su aprovechamiento sostenible. La metodología consiste en un análisis histórico-comparativo, así como analítico-sintético basados en la revisión de la literatura existente. Como resultado de este estudio, se describe el panorama del aprovechamiento de litio en el mundo, se identifican oportunidades de participación en la cadena de valor de las baterías de litio y se reconocen posibles escollos en el logro de un aprovechamiento de litio social y ambientalmente sostenible.

PALABRAS CLAVE: Litio, baterías, sostenibilidad, cadena de valor, economía circular.

Abstract: This research aims to study the technological, economic and social conditions in which lithium mineral is exploited around the world, as well as to identify the lessons derived from international experiences in search of practices to inform Mexican legislation on the sustainable use of lithium. The methods employed include historical-comparative and analytic-synthetic analysis based on a review of the existing literature. As a result, an overview of lithium usage in the world is described, opportunities for participation in the lithium battery value chain are identified, and possible pitfalls in achieving a socially and environmentally sustainable use of lithium are recognized.

Keywords: Lithium, batteries, sustainability, value chain, circular economy.

¹ Investigador A del Centro de Estudios de Derecho e Investigaciones Parlamentarias de la Cámara de Diputados, doctor en Ciencias.

SUMARIO: I. *Introducción*. II. *Preliminares técnicos, económicos y sociales sobre el litio*. III. *Retos y oportunidades de la economía circular en el mercado del litio*. IV. *Experiencias internacionales de la producción de litio*. V. *El proyecto Sonora Lithium*. VI. *El marco normativo mexicano*. VII. *Conclusiones*. VIII. *Referencias*.

I. INTRODUCCIÓN

El litio se ha posicionado como un material estratégico debido a su uso para el almacenamiento de energía en forma de baterías de ion-litio que, a su vez, ha sido impulsado por la producción de bienes de consumo electrónicos, así como de automóviles híbridos y eléctricos. Recientes exploraciones sobre el recurso mineral en México han reportado la presencia de litio contenido en forma de arcillas en el estado de Sonora. De acuerdo con el Informe Técnico del Estudio de Factibilidad del Proyecto de Litio Sonora, estos yacimientos son potencialmente susceptibles de extracción y comercialización.²

En este contexto, el 21 de abril de 2022 entró en vigor un decreto por el que se reformaron y adicionaron diversas disposiciones de la Ley Minera; estableciendo así, que la exploración, explotación y aprovechamiento del litio en México están exclusivamente a cargo del Estado. Aún más, la reforma establece el deber del Estado mexicano de realizar tales actividades protegiendo y garantizando la salud de los mexicanos, el medio ambiente y los derechos de los pueblos originarios, comunidades indígenas y afroamericanas.

Ante este escenario se vuelve fundamental que la Cámara de Diputados conozca el panorama mundial de la explotación de litio, las experiencias de otras regiones productoras de este mineral, así como las lecciones generadas para que su aprovechamiento sea sostenible en materia ambiental y social. Esto con el fin de colaborar a un aprovechamiento coherente del marco normativo mexicano, así como el seguimiento y evaluación de su impacto.

² Cfr. AUSENCO SERVICES PTY LTD, *Technical Report on the Feasibility Study for the Sonora Lithium Project, Mexico*, Australia, Ausenco, enero de 2018, p. 216.

El desarrollo sostenible y su papel en la reactivación económica son temas comunes en las agendas de los grupos parlamentarios.³ No obstante, para lograr un desarrollo de esta guisa, la transición hacia formas más limpias de generación energética es clave. De este modo, ciertos materiales con propiedades idóneas para la fabricación de dispositivos de almacenamiento energético han visto incrementada su relevancia y, con ello, su producción. Por ejemplo, Dessemmond y colaboradores reconocen al litio como *un mineral clave para la industria moderna* y atribuyen su importancia a *la creciente demanda de baterías de ion-litio*.⁴ En este mismo sentido, Sterba y colaboradores afirman que *en el contexto actual de amenazas del cambio climático, las baterías de litio cumplen muchas expectativas para lograr una solución más limpia y sostenible para el transporte*.⁵ Sin embargo, cabe advertir, como lo hacen Liu y Agusdinata, que aunque la demanda de tecnologías limpias ha aumentado la producción mundial de litio, *los impactos potenciales de la extracción de litio, especialmente en las comunidades de primera línea, no se han estudiado de manera integral*.⁶

Ahora bien, derivado de recientes exploraciones, se han reportado indicios de litio comercializable contenido en arcillas en el estado de Sonora.⁷ Al respecto, el ejecutivo federal, así como el grupo parlamentario de MORENA en la Cámara de Diputados, han señalado su interés para *crear un ordenamiento jurídico que establezca las bases de aprovechamiento sostenible de los minerales de Litio declarándolos minerales estratégicos para el desarrollo nacional bajo la rectoría del Estado mexicano*.⁸ Sin embargo, la efectividad de tal esfuerzo requiere de un estudio sobre las condiciones y prácticas que posibiliten en mayor medida el aprovechamiento eficiente para el bienestar de la población y el medio ambiente de manera

3 Cfr. CÁMARA DE DIPUTADOS, *Gaceta Parlamentaria*, año XXIV, núm. 5867-A-G, 13 de septiembre de 2021, <http://gaceta.diputados.gob.mx/PDF/65/2021/sep/20210913.pdf>.

4 DESSEMOMD, Colin *et al.*, “Spodumene: The Lithium Market, Resources and Processes”, *Minerals*, Suiza, vol. 9, núm. 334, mayo de 2019, p. 1, traducción propia.

5 STERBA, Jiri *et al.*, “Lithium mining: Accelerating the transition to sustainable energy”, *Resources Policy*, Reino Unido, vol. 62, 2019, p. 416, traducción propia.

6 LIU, Wenjuan y AGUSDINATA, Datu B., “Interdependencies of lithium mining and communities sustainability in Salar de Atacama, Chile”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 260, marzo de 2020, p. 1, traducción propia.

7 Cfr. AUSENCO SERVICES PTY LTD, *op. cit.*, p. 1.

8 Cfr. MORENA, *Agenda parlamentaria*, (Cámara de Diputados), *Gaceta Parlamentaria*, año XXIV, núm. 5867-A, 13 de septiembre de 2021, p. 9.

sostenible. Para tal fin, las experiencias de otras regiones productoras de litio son una fuente valiosa de aprendizajes en la materia.

Es así que en la presente investigación se propone como objetivo principal estudiar las condiciones tecnológicas, económicas y sociales en las que se explota el mineral litio alrededor del mundo e identificar las lecciones derivadas de experiencias internacionales, en busca de prácticas que permitan informar a la legislación mexicana sobre cómo aprovechar el recurso de litio de manera social y ambientalmente sostenible. Esta investigación se organiza de la siguiente manera: en la sección II se revisan aspectos técnicos, económicos y socioambientales relevantes sobre el metal litio; mientras que en la sección III se presenta una reflexión sobre los retos y las oportunidades en materia de economía circular en torno al mercado del litio; posteriormente, en la sección IV se hace un recuento de las experiencias internacionales sobre el aprovechamiento sostenible de litio; en la sección V se describe el proyecto Sonora *Lithium* que busca el aprovechamiento de yacimientos de este mineral en el norte del país; la sección VI está dedicada a reseñar el marco normativo mexicano vigente en la materia y; finalmente, en las secciones VII y VIII se brindan las observaciones concluyentes y las referencias utilizadas, respectivamente.

II. PRELIMINARES TÉCNICOS, ECONÓMICOS Y SOCIALES SOBRE EL LITIO

Hoy día el uso más importante de litio lo constituye la producción de baterías para el almacenamiento de energía eléctrica; en particular las llamadas baterías de ion-litio.⁹ Esta clase de baterías se pueden encontrar en distintos dispositivos como teléfonos celulares, computadoras y otras herramientas portátiles, en autos eléctricos e híbridos, así como en aplicaciones de almacenamiento energético para redes de distribución eléctrica.¹⁰

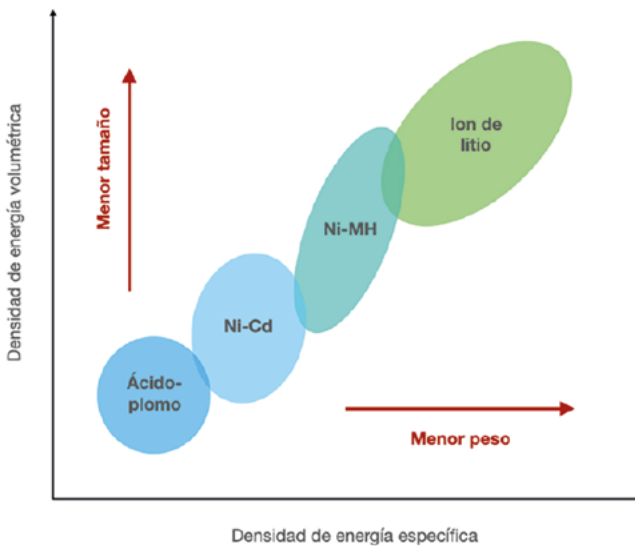
⁹ Cfr. DESSEMOND, Colin *et al.*, *op. cit.*, p. 1.

¹⁰ Cfr. JASKULA, Brian W., “Lithium”, *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*, enero de 2021, p. 1.

1. Consideraciones técnicas

La razón del posicionamiento estratégico de las baterías de litio yace en su alta densidad de energía y potencia.¹¹ Es decir, las baterías de ion de litio pueden almacenar y proporcionar mayores cantidades de energía con un tamaño de batería menor en comparación con otra clase de tecnologías. Por ejemplo, la Figura 1 muestra como las baterías de ion-litio se posicionan por encima de las baterías de ácido de plomo, de níquel-cadmio (Ni-Cd) y níquel-hidruro de metal (Ni-MH) en cuanto a mayor energía a un menor peso y tamaño.¹² A su vez, estos usos y características han convertido actualmente al litio en un elemento clave para la transición energética sostenible.

Figura 1. Ventajas energéticas de las baterías de ion-litio



Fuente: Adaptada de LANDI, Brian J. *et al.*, “Carbon nanotubes for lithium ion batteries”, *Energy & Environmental Science*, 2009, p. 638.

¹¹ Cfr. GROSJEAN, Camille *et al.*, “Assessment of world lithium resources and consequences of their geographic distribution on the expected development of the electric vehicle industry”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, núm. 3, enero de 2012, p. 1735.

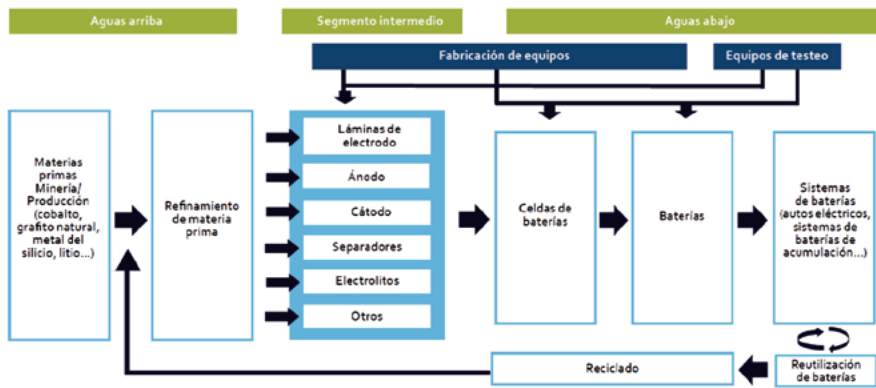
¹² Cfr. LANDI, Brian J. *et al.*, *op. cit.*, p. 638.

Un perfil de mercado del litio elaborado por la Coordinación General de Minería de la Dirección General de Desarrollo Minero de la Secretaría de Economía enuncia las siguientes ventajas de las baterías de litio con respecto a las baterías tradicionales:

- Mayor densidad de energía por peso y volumen;
- Mayor vida útil, entregando un voltaje constante;
- Menor peso;
- Funcionamiento a alta capacidad y bajas temperaturas, y
- Mayor tiempo de almacenamiento.¹³

El diagrama en la Figura 2 describe el proceso de producción de baterías de ion-litio y los nodos clave del proceso.

Figura 2. Proceso de producción de baterías de ion-litio



Fuente: OBYA, Martín y CÉSPEDES, Mauricio, *Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio: Implicaciones para los países del triángulo del litio*, Documentos de Proyectos, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021, p. 30.

13 Cfr. SECRETARÍA DE ECONOMÍA, *Perfil del mercado de Litio*, México, Dirección General de Desarrollo Minero, diciembre de 2014, p. 18, https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_litio_2014.pdf.

La producción de baterías no es el único uso del litio. De acuerdo con el Servicio Geológico de Estados Unidos, actualmente *los mercados globales de uso final se estiman de la siguiente manera: baterías, 71%; cerámica y vidrio, 14%; grasas lubricantes, 4%; polvos de fundente para moldes de colada continua, 2%; producción de polímeros, 2%; tratamiento de aire, 1%; y otros usos, 6%*.¹⁴ Sin embargo, el litio ha sido catalogado como elemento crítico (o, en algunos casos, como semicrítico) en gran medida por su importancia para las tecnologías verdes.¹⁵ Cabe mencionar que existen materiales capaces de sustituir al litio, aunque no necesariamente con el mismo desempeño, en aplicaciones de baterías, cerámicas, vidrios y lubricantes.¹⁶ Por ejemplo, en baterías es posible usar calcio, magnesio, mercurio y zinc.

Debido a su alta reactividad, el litio se presenta naturalmente en forma de compuestos minerales, bien sea en salmueras como en Chile; rocas ígneas como en Australia; arcillas como en Sonora; o disueltos en el agua de mar (cabe destacar que no existen proyectos de escala significativa en este caso).¹⁷ La Tabla 1 muestra las diferentes características de cada uno de estos yacimientos, así como su participación a nivel mundial.¹⁸

Tabla 1. Características y distribución geográfica de los yacimientos de litio

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

Fuente: Adaptado de OBYA, Martín y CÉSPEDES, Mauricio, *op. cit.*, p. 36.

¹⁴ JASKULA, Brian W., *op. cit.*, p. 1, traducción propia.

¹⁵ Cfr. BRADLEY, Dwight C. *et al.*, “Chapter K: Lithium”, en SCHULZ, Klaus J. *et al.*, (eds.), *Critical Mineral Resources of the United States-Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply*, U.S. Geological Survey Professional Paper, vol. 1802, diciembre de 2017, p. K2.

¹⁶ Cfr. *Ibidem*, p. K3; véase también JASKULA, Brian W., *op. cit.*, p. 2.

¹⁷ Cfr. STERBA, Jiri *et al.*, *op. cit.*, p. 416; véase también SVERDRUP, Harald U., “Modelling global extractable geological resources with the LITHIUM model”, *Resources Conservation and Recycling*, vol. 114, noviembre de 2016, pp. 112-129.

¹⁸ Cfr. OBYA, Martín y CÉSPEDES, Mauricio, *op. cit.*, p. 36.

En cuanto a su distribución geográfica, el servicio geológico norteamericano estima que los recursos de litio,¹⁹ en todo el planeta son de 86 millones de toneladas distribuidas de acuerdo con la Tabla 2.²⁰

Tabla 2. Recursos de litio en el mundo

País	Millones de toneladas
Bolivia	21.00
Argentina	19.30
Chile	9.60
Estados Unidos	7.90
Australia	6.40
China	5.10
Congo	3.00
Canadá	2.90
Alemania	2.70
México	1.70
República Checa	1.30
Serbia	1.20
Perú	0.88
Mali	0.70
Zimbabue	0.50
Brasil	0.47
España	0.30
Portugal	0.27
Otros	0.29

Fuente: Adaptada de JASKULA, Brian, “Lithium”, *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*, 2021, p. 2.

Es importante notar que la cantidad de recursos de litio no se ha mantenido constante a lo largo de los años. Estos recursos usualmente han ido en aumento debido al descubrimiento de nuevos yacimientos resultado de exploraciones. El crecimiento del mercado de vehículos híbridos y eléctricos, a su vez, ha motivado un aumento en la exploración

¹⁹ Los recursos minerales no son lo mismo que las reservas minerales. Mientras que las reservas poseen viabilidad económica demostrada, los recursos no. Usualmente los recursos minerales se reportan incluyendo las reservas minerales.

²⁰ Cfr. JASKULA, Brian W., *op. cit.*, p. 2.

de litio y se espera que la tendencia se mantenga así por la misma razón.²¹

2. Consideraciones económicas

En el panorama mundial, cinco operaciones mineras en Australia; dos operaciones de salmuera, una en Argentina y otra en Chile; y tres operaciones en China, dos de salmuera y una minera, representaron la mayor parte de la producción mundial de litio.²² Vale la pena notar que, aunque incipientes, también existen esfuerzos por reciclar litio. Por ejemplo, en Norteamérica existe una empresa estadounidense que ha reciclado baterías de litio desde 1992 en sus instalaciones en Canadá. Además, existen otras siete empresas ubicadas en Canadá y Estados Unidos que han comenzado a reciclar esta clase de baterías.²³ Sin embargo, se espera que el reciclaje de baterías de ion-litio desempeñe un papel importante en el suministro de litio a mediano y largo plazo.²⁴

Tras su extracción, el litio se comercializa en tres formas: concentrados minerales, metal refinado y compuestos minerales.²⁵ De estos últimos, los más comúnmente encontrados en el mercado son carbonato de litio, cloruro de litio e hidróxido de litio. Los distintos compuestos que se comercializan varían significativamente en su contenido de litio, mientras que las regulaciones en la materia también se informan utilizando distintas unidades de medida en distintas regiones. Para normalizar estos datos, los participantes del mercado a menudo reportan datos en términos de Carbonato de Litio Equivalente o LCE por sus siglas en inglés.

Para el carbonato de litio la industria distingue tres grados según su calidad: *grado de batería*, con una pureza que oscila entre 99.5 y 99.8 %, bajas impurezas minerales y un contenido de agua inferior al 0.5 %, utilizado para la fabricación de material de batería de alta energía; *grado técnico*, con una pureza de alrededor de 99.0 a 99.3 % y un contenido de agua inferior al 0.7 %, utilizado para aplicaciones industriales como

²¹ Cfr. BRADLEY, Dwight C. *et al.*, *op. cit.*, p. K13.

²² Cfr. JASKULA, Brian W., *op. cit.*, p. 2.

²³ Cfr. *Idem.*

²⁴ Cfr. BRADLEY, Dwight C. *et al.*, *op. cit.*, p. K13.

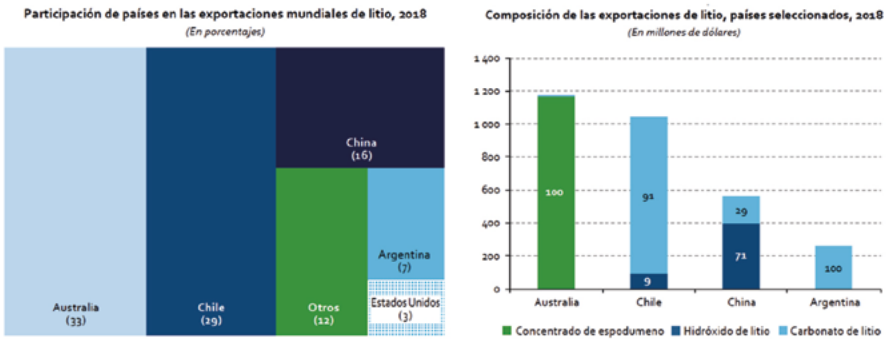
²⁵ Cfr. *Ibidem*, p. K3.

cerámica o lubricantes; y *grado industrial*, con una pureza de alrededor del 99.0%, utilizado como una alternativa de bajo costo al carbonato de litio de grado técnico.²⁶

El mercado del litio es un sector mineral relativamente pequeño en el que el aumento de la producción y la reducción de costos es clave. Además, esta industria se encuentra altamente concentrada en unos pocos productores y, por lo tanto, existe riesgo de colusión entre ellos para la manipulación de precios y creación de barreras para el ingreso de competidores.²⁷

En el panorama mundial, el mayor exportador de litio es Australia. Sin embargo, su producción se presenta en forma de un material llamado concentrado de espodumena, este es un mineral de color que va de blanco a amarillento, a veces también se puede observar púrpura o verde esmeralda y se compone de silicatos de litio y aluminio. En la Figura 3 se puede observar la participación en las exportaciones mundiales de litio, así como la composición de las exportaciones según la forma del material exportado.²⁸

Figura 3. Exportaciones mundiales de litio



Fuente: OBAYA, Martín y CÉSPEDES, Mauricio, *op. cit.*, pp. 43 y 44.

En cuanto al comercio de carbonato de litio e hidróxido de litio, Chile y China son los mayores exportadores; mientras que Corea

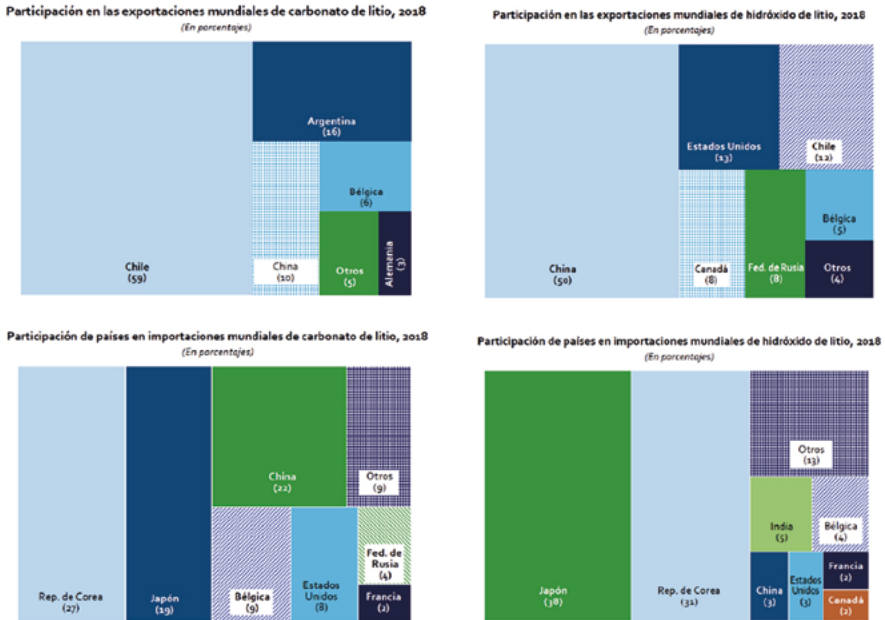
²⁶ Cfr. STERBA, Jiri *et al.*, *op. cit.*, p. 418.

²⁷ Cfr. EBENSBERGER, Arlene *et al.*, “The lithium industry: Its recent evolution and future prospects”, *Resources Policy*, Reino Unido, vol. 30, núm. 3, septiembre de 2005, pp. 223-225.

²⁸ Cfr. OBAYA, Martín y CÉSPEDES, Mauricio, *op. cit.*, pp. 43 y 44.

del Sur y Japón son los mayores importadores de estos compuestos, respectivamente. La Figura 4 muestra la participación de los principales países en cada una de estas actividades en el mundo.²⁹

Figura 4. Exportación e importación de compuestos de litio



Fuente: OBAYA, Martín y CÉSPEDES, Mauricio, *op. cit.*, pp. 45-47.

Un estudio sobre la industria del litio identificó diversos factores que influyen en la demanda y la oferta de este material.³⁰ Ebensperger y colaboradores destacan que entre los factores que afectan la demanda de litio:

- 1) Existe una relación positiva entre el crecimiento económico (en términos del producto interno bruto) y el consumo de litio. Aunque el crecimiento económico también influye en muchos otros factores.
- 2) El precio del mineral afecta su consumo. De forma similar a otros productos, un aumento en el precio de este, transmitido a su vez al consumidor final, reduce su consumo y aumenta el uso de sustitutos.

²⁹ Cfr. *Ibidem*, pp. 45-47.

³⁰ Cfr. EBENSBERGER, Arlene *et al.*, *op. cit.*, pp. 218-231.

- 3) Los cambios tecnológicos pueden producir movimientos drásticos en la demanda de minerales. Si estos son positivos o negativos depende de la clase de cambio tecnológico; por ejemplo, se espera que el crecimiento de la industria de vehículos eléctricos aumente a su vez la demanda de baterías de litio y, por lo tanto, del litio mismo.
- 4) La implementación de ciertas políticas y legislaciones también puede incentivar el consumo de los minerales. Por ejemplo, los incentivos gubernamentales en favor de los vehículos eléctricos pueden favorecer el consumo de las baterías de litio instaladas en ellos.³¹

Por lo que hace a los factores que modifican la oferta del litio, Ebensperger y colaboradores identifican que:

- 1) Los costos de insumos y servicios para la producción son factores que afectan negativamente la oferta de minerales; por ejemplo, los costos de energía y transporte son más elevados en yacimientos rocosos en comparación con aquellos en salares, haciendo relativamente más atractiva la producción de litio en salares.
- 2) El precio del mineral y de sus sustitutos también actúan sobre su oferta. Mayores precios del litio tienden a aumentar su oferta, mientras que mayores precios de sus sustitutos tienden a disminuirla.
- 3) También existen cambios tecnológicos con potencial de afectar la oferta de litio en ambas direcciones; por ejemplo, los avances tecnológicos en los procesos de extracción de litio en salares han hecho que la producción en estos yacimientos aumente su competitividad.
- 4) Finalmente, las políticas públicas, sobre todo aquellas que brindan una estructura competitiva al mercado de litio, pueden incentivar la oferta del mineral, así como reducir sus precios y aumentar el consumo de este.³²

El consumo mundial de litio en 2020 se estimó en 56,000 toneladas, aproximadamente el mismo que en 2019.³³ La COVID-19 se consideró un factor sustancial para una reducción de su demanda con respecto a la tendencia hasta antes de la pandemia causada por esta enfermedad. Sin embargo,

³¹ Cfr. *Ibidem*, p. 219.

³² Cfr. *Ibidem*, p. 220.

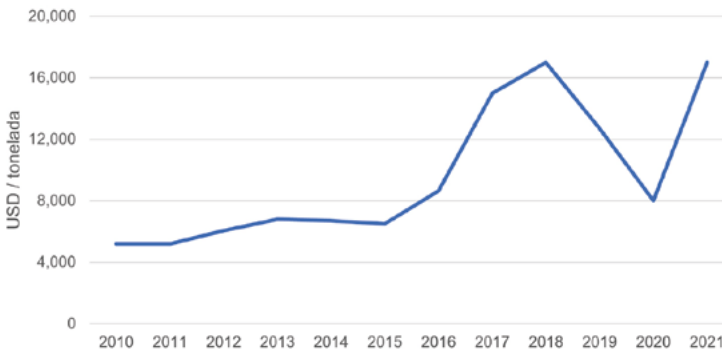
³³ Cfr. JASKULA, Brian W., *op. cit.*, p. 1.

durante la segunda mitad del 2020 la demanda aumentó principalmente por el fuerte crecimiento del mercado de baterías de iones de litio.³⁴

En cuanto al precio del metal de litio (con contenido mayor o igual a 99.9% de litio) se observó que en China disminuyó de aproximadamente 83,000 dólares americanos por tonelada a principios del 2020, y alrededor de 71,000 dólares americanos por tonelada en noviembre del mismo año.³⁵ En el mismo periodo los precios al contado del carbonato de litio en China disminuyeron aproximadamente de 7,100 dólares americanos por tonelada a 6,200 dólares americanos por tonelada.³⁶ Por otro lado, en Estados Unidos se reportó un precio promedio anual para grandes contratos fijos de carbonato de litio de 8,000 dólares americanos por tonelada métrica durante 2020; lo que representó una disminución de 37% con respecto a 2019.³⁷

A manera de ejemplo, considérese la Figura 5 que muestra la evolución del precio del carbonato de litio grado batería de 2010 a 2021.³⁸

Figura 5. Promedio anual del precio de carbonato de litio grado batería



Fuente: Elaboración propia con datos de STATISTA, *Average lithium carbonate price from 2010 to 2021*, enero de 2022, <https://www.statista.com/statistics/606350/battery-grade-lithium-carbonate-price/>.

³⁴ Cfr. *Idem*.

³⁵ Cfr. *Ibidem*, p. 2.

³⁶ Cfr. *Idem*.

³⁷ Cfr. *Idem*.

³⁸ Véase STATISTA, *Average lithium carbonate price from 2010 to 2021*, enero de 2022, <https://www.statista.com/statistics/606350/battery-grade-lithium-carbonate-price/>.

Como hemos podido observar, el principal impulsor del mercado de litio ha sido el consumo de baterías. El aprovechamiento del mineral litio para la producción de esta clase de baterías se incrusta en la cadena de valor de las baterías de ion-litio; la cual consiste en los siguientes seis eslabones:

- i) Obtención de materias primas;
- ii) Fabricación de los componentes de las celdas, es decir, el ánodo, el cátodo, el electrolito y los separadores;
- iii) Fabricación de celdas;
- iv) Producción de baterías;
- v) Usos de las baterías; y
- vi) Reciclado de las baterías.³⁹

La Figura 6 ilustra cómo se concatenan estas etapas.⁴⁰

Figura 6. Cadena de valor de las baterías de litio



Fuente: LÓPEZ, Andrés *et al.*, *op. cit.*, p. 79.

Hasta el 2015, López y colaboradores identificaban a las principales empresas en la cadena de valor de baterías que se muestran en la Figura 7.⁴¹

³⁹ Cfr. LÓPEZ, Andrés *et al.*, *Litio en la Argentina: Oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor*, Estados Unidos, Banco Interamericano de Desarrollo, 2019, p. 78.

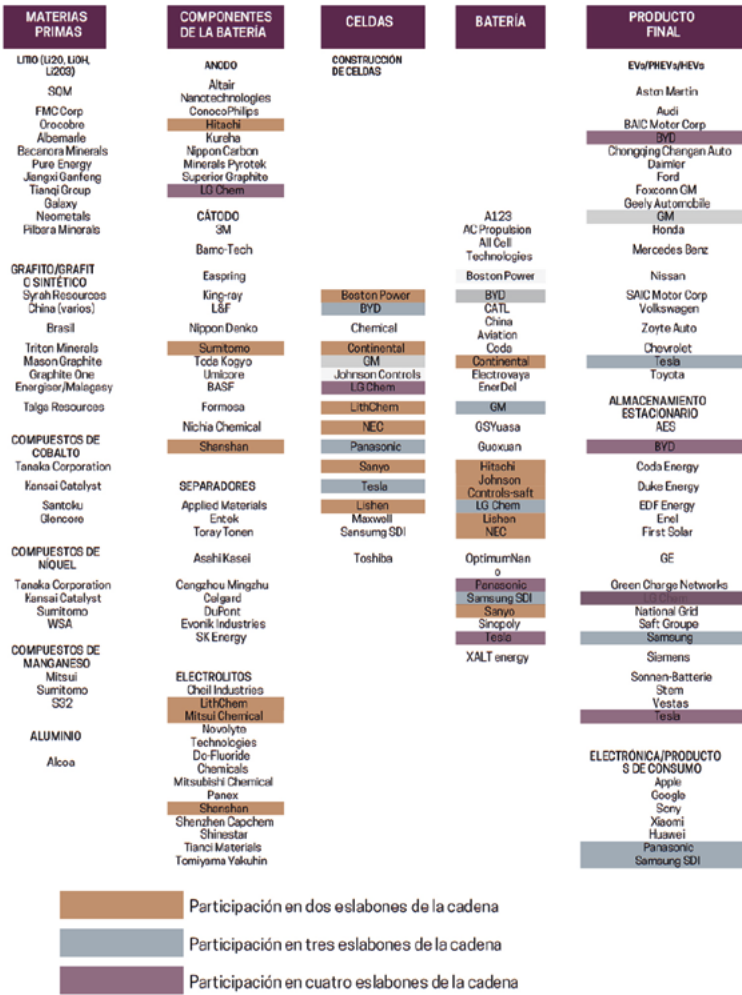
⁴⁰ Cfr. *Ibidem*, p. 79.

⁴¹ Cfr. *Ibidem*, p. 80.

EL PANORAMA GLOBAL SOBRE LA EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DEL MINERAL DE LITIO Y SU APROVECHAMIENTO EN MÉXICO

Vicente Said Morales Salgado

Figura 7. Empresas participantes en la cadena de valor de las baterías de litio



Fuente: LÓPEZ, Andrés *et al.*, *op. cit.*, p. 80.

3. Consideraciones socioambientales

El litio es un elemento altamente soluble, por lo tanto, puede transportarse hacia cuerpos de agua subterráneos o superficiales, como ríos y lagos. Aunque puede ser tóxico, incluso fatal en cantidades de al menos 5 gramos, no se ha informado de intoxicación por este mineral en

aplicaciones industriales.⁴² Hoy día el litio no es un problema ecológico o para la salud cuando está presente en condiciones ambientales.⁴³ Sin embargo, a medida que aumente su consumo, se requerirá investigación adicional sobre los problemas ambientales relacionados con su producción, uso y eliminación.

La investigación sobre los impactos socioambientales de la extracción de litio a nivel de comunidades locales ha sido muy limitada.⁴⁴ Las principales áreas de interés en materia de impacto social han consistido en medir el nivel de compromiso de la industria con la sostenibilidad, el desarrollo económico y el nivel de corrupción de los países que forman parte de la cadena de suministro.⁴⁵ Por otro lado, mientras que la minería de litio puede generar ingresos para el Estado y ganancias para empresas nacionales y extranjeras, también pueden existir costos sociales y ambientales por la extracción y contaminación de recursos como el agua, su posible superposición con áreas de conservación y la inducción de procesos migratorios.⁴⁶

III. RETOS Y OPORTUNIDADES DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN EL MERCADO DEL LITIO⁴⁷

Si bien, en el contexto actual de amenazas por el cambio climático, las baterías de litio cumplen muchas expectativas para lograr una solución más limpia y sostenible para el transporte, encarnada en los vehículos eléctricos;⁴⁸ también ponen de manifiesto una creciente tensión entre la transición global hacia una economía con baja generación de carbono

⁴² Cfr. ARAL, Hal y VECCHIO-SADUS, Angelica, "Toxicity of lithium to humans and the environment—A literature review", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 70, núm. 3, julio de 2008, pp. 349-356.

⁴³ Cfr. BRADLEY, Dwight C. *et al.*, *op. cit.*, p. K17.

⁴⁴ Cfr. AGUSDINATA *et al.*, "Socio-environmental impacts of lithium mineral extraction: towards a research agenda", *Environmental Research Letters*, vol. 13, núm. 12, noviembre de 2018, p. 123001, traducción propia.

⁴⁵ Cfr. *Ibidem*, p. 123011.

⁴⁶ Cfr. *Idem*.

⁴⁷ El autor desea agradecer encarecidamente a la maestra en Ciencias Alya Ramos por las provechosas discusiones en la materia de economía circular.

⁴⁸ Cfr. STERBA, Jiri *et al.*, *op. cit.*, p. 416.

y una mayor presión sobre los territorios dotados con aquellos recursos que son necesarios para dicha transición, como el litio.⁴⁹

En este contexto, con la finalidad de diseñar un uso eficiente de estos, desvincular el crecimiento económico mundial del aprovechamiento de los recursos naturales, ayudar a disminuir la degradación ambiental y mejorar la eficiencia energética, se ha definido el concepto de economía circular como:

[...] un sistema industrial que es restaurativo o regenerativo por intención y diseño. Reemplaza el concepto de fin de vida por restauración, se desplaza hacia el uso de energías renovables, elimina el uso de productos químicos tóxicos, que dificultan la reutilización y el retorno a la biosfera, y apunta a la eliminación de desechos a través del diseño superior de materiales, productos, sistemas y modelos de negocio.⁵⁰

La realización de los marcos específicos de la economía circular para el mercado de litio cierra adecuadamente esta cadena de valor para formar un ciclo que valoriza las baterías de litio usadas, incluyendo el reciclado de las mismas. En este sentido, la incorporación de acciones de la economía circular en las cadenas de suministro del litio puede apoyar una transición responsable, sostenible y estable hacia una economía baja en carbono.⁵¹

En el caso del litio, el desacoplamiento entre la actividad económica y el consumo de este recurso mineral finito no se ha consolidado debido a los grandes recursos y reservas de litio. Por ejemplo, hasta antes de la pandemia por COVID-19, menos del 5% de las baterías de ion-litio se reciclaban. Esto, a su vez, ha implicado que el litio de fuentes secundarias actualmente no posea un impacto significativo en el suministro mundial.⁵²

⁴⁹ Cfr. OBAYA, Martín y CÉSPEDES, Mauricio, *Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio: Implicaciones para los países del triángulo del litio*, Documentos de Proyectos, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021, p. 30.

⁵⁰ DE SA, Paulo y KORINEK, Jane, *Resource Efficiency, the Circular Economy, Sustainable Materials Management and Trade in Metals and Minerals*, OECD Trade Policy Papers, núm. 245, marzo de 2021, pp. 10-11; véase también WORLD ECONOMIC FORUM, ELLEN MACARTHUR FOUNDATION y MCKINSEY & COMPANY, *Towards the circular economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*, enero de 2014; así como ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, *Growth within: A circular economy vision for a competitive Europe*, julio de 2015.

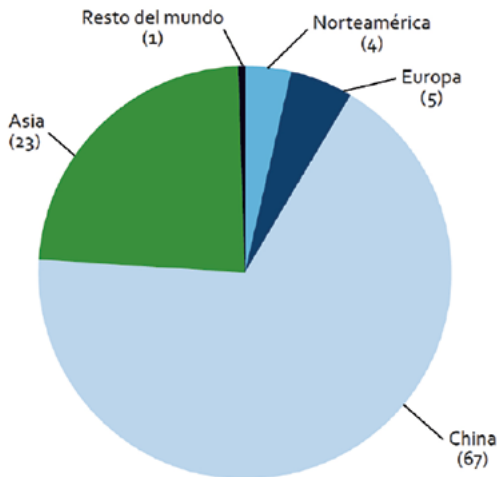
⁵¹ Cfr. CHURCH, Clare y WUENNENBERG, Laurin, *Sustainability and Second Life: The Case for Cobalt and Lithium Recycling*, Canadá, International Institute for Sustainable Development (IISD), marzo de 2019, p. vii.

⁵² Cfr. STERBA, Jiri *et al.*, *op. cit.*, p. 417, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301420719302430>, traducción propia; véase también MARTIN, Gunther *et al.*, "Lithium market

Sin embargo, algunos escenarios prevén que el 25% del suministro de litio provenga de fuentes secundarias para el 2050, con el mayor potencial centrado en el reciclaje de baterías de litio.⁵³

Aun cuando la gran mayoría del comercio de material al final de su vida útil (residuos y chatarra) es de material metálico,⁵⁴ el reciclaje de litio aún es incipiente, con alrededor de 25 empresas en Norteamérica y Europa reciclando o planeando hacerlo.⁵⁵ También se han establecido asociaciones entre empresas automotrices y recicladoras de baterías para suministrar a la industria automotriz una fuente de materiales para baterías.⁵⁶ La Figura 8 muestra el mercado global de reciclaje de las baterías de ion-litio por región en porcentaje.⁵⁷

Figura 8. Porcentajes de participación en el mercado global de reciclaje de baterías de ion-litio



Fuente: OBAYA, Martín y CÉSPEDES, *op. cit.*, p. 66.

research - global supply, future demand and price development”, *Energy Storage Materials*, vol. 6, agosto de 2016, pp. 171-179.

⁵³ Cfr. STERBA, Jiri *et al.*, *op. cit.*, p. 417, traducción propia; véase también RECK, Barbara y GRAEDEL, T. E., “Challenges in metal recycling”, *Science*, vol. 337, núm. 6095, agosto de 2012, pp. 690-695.

⁵⁴ Cfr. DE SA, Paulo y KORINEK, Jane, *op. cit.*, p. 3.

⁵⁵ Cfr. JASKULA, Brian W., *Mineral commodity summaries*, U.S. Geological Survey, enero de 2022, p. 100.

⁵⁶ Cfr. *Idem.*

⁵⁷ Cfr. OBAYA, Martín y CÉSPEDES, Mauricio, *op. cit.*, p. 66.

Entre los factores que han evitado el aumento del reciclado de baterías de litio podemos encontrar los altos costos involucrados y la complejidad de los procesos.⁵⁸ Las etapas para el reciclaje de baterías de iones de litio incluyen: recolección, quema de electrolitos inflamables, neutralización de la química interna peligrosa, la fundición de componentes metálicos, la refinación y purificación de metales de alto valor y, finalmente, la eliminación de residuos no recuperables.⁵⁹

El reciclaje de litio podría ser una oportunidad económica clave para desvincular a los mercados del consumo de recursos finitos y mantener un suministro seguro después de la primera vida de este mineral crítico para satisfacer la creciente demanda de electrificación limpia y de digitalización.⁶⁰ Además, el reciclaje de minerales tiene el potencial de ser económicamente viable debido a sus altos valores unitarios, lo que significa una menor extracción de materia prima primaria.⁶¹

Además del reciclaje, Church y Wuennenberg han identificado las siguientes estrategias circulares en torno al litio:

- Reutilización de baterías de vehículos eléctricos al final de su vida útil para aplicaciones menos exigentes como bicicletas eléctricas, barcos de canal, caravanas, remolques y aplicaciones de almacenamiento de energía para vivienda.
- Minería urbana, de vertederos y de rellenos sanitarios para rastrear la infraestructura desconectada y recuperar los minerales que contienen para su reciclaje.
- La recuperación de litio a partir de baterías de iones de litio se distingue en que tradicionalmente el reciclaje de estas baterías no recupera el litio en sí mismo sino materiales que lo contienen. La recuperación del litio ha mostrado producir mayores tasas de recuperación en comparación con los métodos tradicionales.⁶²

⁵⁸ Cfr. CHURCH, Clare y WUENNENBERG, Laurin, *op. cit.*, p. 7.

⁵⁹ Cfr. *Idem*; véase también PETERSON, John, *Why advanced lithium ion batteries won't be recycled*, Alt Energy Stocks, 16 de mayo de 2011, (2 de abril de 2022), http://www.altenergystocks.com/archives/2011/05/why_advanced_lithium_ion_batteries_wont_be_recycled/.

⁶⁰ Cfr. CHURCH, Clare y WUENNENBERG, Laurin, *op. cit.*, p. 9.

⁶¹ Cfr. DE SA, Paulo y KORINEK, Jane, *op. cit.*, p. 4.

⁶² Cfr. CHURCH, Clare y WUENNENBERG, Laurin, *op. cit.*, p. 32.

Q139

Con el fin de superar las barreras para garantizar que los suministros de litio satisfagan la demanda, respetando los derechos humanos y protegiendo el medio ambiente, los mismos autores han identificado las siguientes acciones a lo largo de las cadenas de suministro y de reciclaje del litio:

- Refuerzo del abastecimiento transparente y responsable.
- Mejora del diseño ecológico y la transparencia del producto.
- Sensibilización de los consumidores sobre los servicios de recolección.
- Aumento de la vida útil de los productos mediante procesos de reutilización y remanufactura.
- Inversión en mejores infraestructuras y equipos de recolección y reciclaje.
- Fomento a la colaboración entre los sectores público y privado, así como la sociedad civil.
- Mejora de la percepción de los productos de segunda vida.⁶³

En cuanto al sector público, se ha observado que las regulaciones que definan claramente los procesos secundarios, designen a los actores responsables de los materiales reciclados y permitan evaluaciones más integrales de las operaciones que puedan ayudar a la consecución de una mayor circularidad en el mercado del litio.⁶⁴ Además, la comunicación de estas estrategias a las empresas y los consumidores son de particular importancia.⁶⁵

IV. EXPERIENCIAS INTERNACIONALES DE LA PRODUCCIÓN DE LITIO

Los principales países productores de litio son Australia (40 mil toneladas), Chile (14.2 mil toneladas), China (6.8 mil toneladas) y Argentina (5.7 mil toneladas).⁶⁶ La Figura 9 muestra la evolución de la producción de compuestos de litio en el mundo, con énfasis en estos cuatro países.⁶⁷

⁶³ Cfr. *Ibidem*, p. 40.

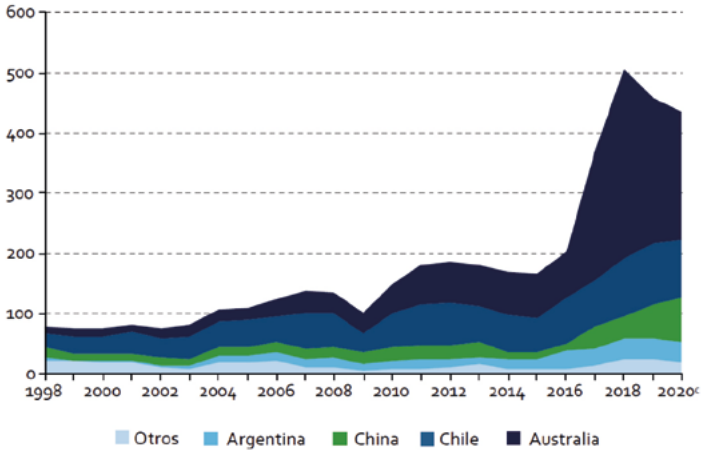
⁶⁴ Cfr. *Ibidem*, p. 41.

⁶⁵ Cfr. *Idem*.

⁶⁶ Cfr. DESSEMOND, Colin *et al.*, *op. cit.*, p. 3.

⁶⁷ Cfr. OBAYA, Martín y CÉSPEDES, Mauricio, *op. cit.*, p. 37.

Figura 9. Producción de compuestos de litio (en miles de toneladas de LCE)



Fuente: OBYA, Martín y CÉSPEDES, Mauricio, *op. cit.*, p. 37.

Aun cuando la minería representa una parte sustancial de las exportaciones y del producto interno bruto de algunos países, esta actividad aporta una parte significativamente menor al empleo.⁶⁸ En efecto, la minería no crea una gran cantidad de empleos en el sector minero en sí, es decir, empleos directos, más bien utiliza insumos de otros sectores que pueden ser más intensivos en mano de obra y variados en términos de los niveles de habilidad requeridos.⁶⁹ Esta relación puede representar una oportunidad para algunos países ricos en minerales.

Un estudio de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD por sus siglas en inglés) sobre la cadena de valor de la minería alrededor del mundo encontró que, como es común en los sectores dedicados a los recursos naturales, mucho del valor agregado en las exportaciones mineras proviene del mismo sector; mientras que el principal sector no minero que provee de insumos a las actividades mineras es el de los servicios.⁷⁰ Esto representa una oportunidad para la proveeduría local de servicios en regiones mineras; incluso, hay indicadores que muestran que

⁶⁸ Cfr. KORINEK, Jane, “The mining global value chain”, *OECD Trade Policy Papers*, núm. 235, enero de 2020, p. 4.

⁶⁹ Cfr. *Idem.*

⁷⁰ Cfr. *Idem.*

los servicios utilizados en la producción minera tienen un efecto significativamente positivo sobre el valor agregado doméstico en las exportaciones del sector.⁷¹ El reto consiste en desarrollar esta proveeduría que en ocasiones no existe en países de medio y bajo ingreso.

La Tabla 3 muestra ejemplos de servicios que pueden ser suministrados durante el ciclo de vida minero.⁷²

Tabla 3. Potenciales servicios requeridos para actividad minera

Prospectiva y Exploración	Factibilidad	Explotación		Cierre y Remediación
		Construcción	Operación	
<ul style="list-style-type: none"> Estudios técnicos especializados Ensayos y análisis de laboratorio Gestión y diseño de proyectos de exploración Construcción, como caminos de terracería y plataformas de perforación Gestión de datos y documentación Electricidad y combustible 	<ul style="list-style-type: none"> Estudios de factibilidad especializados: insumos técnicos, económicos, ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> Estudios técnicos especializados Movimiento de suelo Construcción Servicios de perforación y voladura Servicios de transporte Construcción y mantenimiento de carreteras. Montaje de campamentos mineros Internet y telecomunicaciones Electricidad y combustible Suministro de agua 	<ul style="list-style-type: none"> Transporte especializado de explosivos Arrendamiento de maquinaria pesada, equipo especializado y vehículos Mantenimiento y reparación de equipos Suministro de productos químicos a través de distribuidor autorizado Suministro de agua Combustible y electricidad Técnicos calificados Transporte de mineral a puerto 	<ul style="list-style-type: none"> Manejo y operación de botaderos y balsas de relaves Gestión ambiental para el tratamiento de efluentes y emisiones Auditorías ambientales

Fuente: Adaptado de KORINEK, Jane, “The mining global value chain”, *OECD Trade Policy Papers*, p. 12.

Por otro lado, la innovación ha mostrado ser de gran importancia para que los países capturen con éxito ganancias a partir de sus recursos minerales.⁷³ Se estima que, por cada patente registrada adicional

⁷¹ Cfr. *Ibidem*, p. 5.

⁷² Cfr. *Ibidem*, p. 12.

⁷³ Cfr. *Ibidem*, p. 5.

relacionada con la minería, un país puede esperar un aumento del 0.1% en el valor agregado doméstico producto de la minería.⁷⁴ Aún más, el fortalecimiento de sistemas de innovación parece estar fuertemente correlacionado con un desempeño sólido en la exportación de servicios para la minería.⁷⁵

El aprovechamiento de la innovación tecnológica es particularmente relevante ya que no existe un consenso claro sobre la relación directa entre recursos naturales y desarrollo en un país.⁷⁶ Existen indicios que apuntan a que *lo importante no es qué se produce, sino cómo se produce, ya que esto es lo que define las posibilidades de generar derrames de conocimiento y encadenamientos*.⁷⁷ Algunos posibles encadenamientos pueden impactar en el desarrollo a partir de las industrias extractivas, generando capacidades productivas, tecnológicas, de gestión y comerciales a lo largo de la cadena de valor, incluso, en otros sectores, como se muestran en la Tabla 4.⁷⁸

En el caso de la minería, distintos tipos de avances tecnológicos asociados a la automatización y al uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones han mostrado ser esenciales para descubrir nuevas fuentes de recursos, aumentar los niveles de eficiencia en los procesos de exploración y explotación, así como reducir los daños ambientales causados por sus operaciones.⁷⁹

74 Cfr. *Idem*.

75 Cfr. *Idem*.

76 Cfr. LÓPEZ, Andrés *et al.*, *op. cit.*, p. 25; también véase ANDERSEN, Allan D. *et al.*, “Innovation in natural resource-based industries: a pathway to development? Introduction to special issue”, *Innovation and Development*, vol. 8, núm. 1, febrero de 2018, pp. 1-27.

77 *Idem*, traducción propia; también véase LEDERMAN, Daniel y MALONEY, William F., *Does what You Export Matter?: In Search of Empirical Guidance for Industrial Policies*, World Bank Publications, 2012, pp. 1-148.

78 Cfr. *Idem*.

79 Cfr. *Idem*; véase también COSBEY, A., *Mining a Mirage?: Reassessing the Shared-Value Paradigm in Light of the Technological Advances in the Mining Sector*, International Institute for Sustainable Development, Canadá, octubre de 2016, pp. 1-67.

Tabla 4. Posibles encadenamientos productivos en industrias extractivas

Tipo de encadenamiento		Descripción
Fiscal		A partir de la recaudación impositiva y de las regalías generadas por el sector, el gobierno promueve el desarrollo de actividades que no se vinculan con el recurso natural.
Consumo		Los mayores ingresos generados por la industria extractiva generan demanda de productos elaborados por otros sectores productivos.
Productivo	Hacia atrás	Insumos y procesos desarrollados para la producción del recurso.
	Hacia adelante	Procesamiento y transformación del recurso.
	Horizontales (o laterales o de conocimiento)	El conocimiento, los bienes de capital y los servicios asociados al sector de recursos naturales son utilizados en áreas que no están directamente vinculadas con dicho sector.

Fuente: Adaptado de LÓPEZ, Andrés *et al.*, *op. cit.*, p. 25.

1. El Triángulo de Litio Sudamericano

El *triángulo de litio sudamericano* es una región alrededor de las fronteras entre Chile, Bolivia y Argentina.⁸⁰ En el territorio chileno de esta región, es decir, en el Salar de Atacama, se llevó a cabo un estudio sobre la interdependencia entre la minería de litio y la sostenibilidad de las comunidades, que desveló que entre 2002 y 2017 la expansión de las actividades de extracción de litio impactó en las comunidades cercanas de la siguiente manera:

- a) Se ha registrado un agotamiento de la disponibilidad de agua que se puede atribuir principalmente a las extracciones de agua debidas a la minería;
- b) Los flujos migratorios relativamente desequilibrados revelan un número mucho mayor de trabajadores que ingresan a la comunidad que hacia fuera de ella, principalmente atribuibles a la actividad minera;
- c) Tanto la minería como las industrias inducidas por ella en su mayoría emplean trabajadores que viajan diariamente, lo que

⁸⁰ Véase GRUBER, P. W. *et al.*, “Global lithium availability”, *Journal of Industrial Ecology*, Estados Unidos, vol. 15, núm. 5, octubre de 2011, pp. 760-775.

- contribuye a la economía local de manera limitada;
- d) A pesar del aumento de puestos de trabajo producidos por la minería, el número de trabajadores locales y su participación en la industria minera se redujeron de manera significativa;
 - e) La empresa a cargo de la explotación del litio ha tomado más sofisticada su presentación de informes sobre responsabilidad social corporativa, mientras que la credibilidad del desempeño real aún es puesta en duda por la comunidad debido a la falta de auditorías independientes;
 - f) Finalmente, a pesar de los grandes esfuerzos en materia de responsabilidad social corporativa, el activismo social contra las expansiones mineras de litio ha aumentado en intensidad y escala, movilizándose de lo local a lo nacional.⁸¹

Aunque se debe destacar que existen diferencias técnicas y sociales entre la explotación mineral en el triángulo de litio sudamericano y la posible explotación de este recurso en México, las lecciones sobre las posibles tensiones medioambientales, laborales, migratorias y sociales en Sudamérica son aspectos considerables para la instalación de una operación minera de litio sostenible en el país.

En un trabajo en estado de prepublicación, se analizan la exploración y explotación de litio en México como una nueva industria en el país.⁸² En él se advierte que la experiencia internacional muestra que a los países con reservas de litio se les presentan los siguientes retos para agregar valor a sus industrias:

- 1) Por un lado, existe una considerable distancia con respecto a los centros de demanda, principalmente en Asia y, por otro, la configuración de ambientes de negocios adversos;
- 2) En países en desarrollo tiende a existir una falta de capacidad financiera y técnica para el aprovechamiento del recurso, lo que vuelve necesaria la participación extranjera;
- 3) Un reto adicional lo representa la instauración de un régimen

⁸¹ Cfr. LIU, Wenjuan y AGUSDINATA, Datu B., *op. cit.*, pp. 11 y 12, traducción propia.

⁸² Cfr. MARMOLEJO CERVANTES, Miguel Ángel y GARDUÑO RIVERA, Rafael, “Mining-Energy Public Policy of Lithium in Mexico: Tension between Nationalism and Globalism”, *Social Science Research Network*, prepublicación, Estados Unidos, septiembre de 2021, pp. 1-39, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3924366.

fiscal eficaz a través del cual los ingresos por extracción de litio puedan aprovecharse en el país anfitrión.⁸³

Sobre el aprovechamiento de la extracción del litio en el triángulo sudamericano el estudio señala las distintas estrategias implementadas por cada país. En el caso de Argentina, por ejemplo, se comenzó con concesiones de explotación diseñadas para la materia.⁸⁴ Posteriormente se incorporó el caso del litio a la legislación minera del país, finalmente se creó un órgano nacional con el objetivo de desarrollar capacidades de fabricación de baterías.⁸⁵ Hoy día, las empresas energéticas públicas en Argentina participan en el negocio de litio y buscan desarrollar industria más avanzada dentro de la cadena de valor del litio, como la producción de baterías; mientras que, a su vez, el país busca inversión de empresas chinas como Gotion High-Tech y Ganfeng Lithium.⁸⁶

Las grandes reservas de litio en Bolivia no han logrado ser aprovechadas por ese país.⁸⁷ La nueva constitución boliviana de 2009, aumentó el esfuerzo público para industrializar los recursos de litio.⁸⁸ Tras diversas vicisitudes como la nacionalización y una serie de costosas interrupciones debidas a inestabilidades sociopolíticas, la empresa pública boliviana dedicada al litio, Yacimientos de Litio Bolivianos, inició una operación piloto para producir carbonato de litio.⁸⁹ Posteriormente, Bolivia implementó una coalición con la empresa alemana ACI Systems para la construcción de cuatro plantas de producción, incluidas una de hidróxido de litio y otra de baterías, en la que el país controla el 51% de las acciones mientras que ACI Systems el 49% restante.⁹⁰ Por otro lado, Bolivia continúa probando

⁸³ Cfr. *Ibidem*, p. 15, traducción propia; véase también PEROTTI, Remco y COVIELLO, Manlio, "Governance of strategic minerals in Latin America: The case of lithium", *Economic Commission for Latin America and the Caribbean*, Chile, septiembre de 2015, p. 30.

⁸⁴ Cfr. *Ibidem*, p. 16; véase también WITKER VELÁSQUEZ, Jorge, *Derecho Minero*, México, Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM, 2021, p. 106.

⁸⁵ Cfr. *Idem*; también véase PEROTTI, Remco y COVIELLO, Manlio, *op. cit.*, p. 30.

⁸⁶ Cfr. *Idem*; véase GILBERT, Jonathan y SIRTORI-CORTINA, Daniela, *Lithium Nationalism Is Taking Root in Region With Most Resources*, Bloomberg, 30 de junio de 2021, <https://www.bloomberquint.com/technology/lithium-nationalism-is-taking-root-in-region-with-most-resources>.

⁸⁷ Cfr. MARMOLEJO CERVANTES, Miguel Ángel y GARDUÑO RIVERA, Rafael, *op. cit.*, p. 17; también véase PEROTTI, Remco y COVIELLO, Manlio, *op. cit.*, p. 31.

⁸⁸ MARMOLEJO CERVANTES, Miguel Ángel y GARDUÑO RIVERA, Rafel, *op. cit.*, p. 17.

⁸⁹ *Idem*.

⁹⁰ *Idem*; véase también AHORA EL PUEBLO, *El proyecto retoma su avance tras estar paralizado casi*

técnicas de extracción directa de este mineral, desarrollando prototipos, construyendo plantas de carbonato de litio y baterías, así como promoviendo acuerdos con empresas de manufactura de vehículos eléctricos.⁹¹ Recientemente, debido a la necesidad de tecnología para la extracción y separación del litio, se ha invitado a desarrolladores extranjeros en materia de litio a participar en licitaciones públicas para explotar los yacimientos de este mineral en Bolivia.⁹²

Por otro lado, Chile ha clasificado al litio como un mineral estratégico de interés nacional y no le permite ser objeto de concesiones.⁹³ Sin embargo, antes de tal clasificación, se habían autorizado concesiones a las empresas SQM y Rockwood Holdings.⁹⁴ Chile estableció acuerdos con la industria química con la finalidad de explorar, investigar y producir litio.⁹⁵ Además, ha creado una comisión nacional para proponer políticas públicas sobre la regulación del litio. Ese país busca que las regalías cobradas por el Estado derivadas de la extracción de litio sean utilizadas para el desarrollo de las comunidades ubicadas cerca de los yacimientos de litio y para mitigar los efectos ambientales y sociales en la producción de este.⁹⁶

A manera de resumen sobre los sistemas normativos que regulan la explotación del mineral litio en el triángulo sudamericano, la Tabla 5 compara diferentes características de Argentina, Chile y Bolivia en la materia.⁹⁷

un año, (24 de febrero de 2022), [www.ylb.gob.bo/archivos/notas_archivos/especial_-_litio_bolivia_compressed_\(1\).pdf](http://www.ylb.gob.bo/archivos/notas_archivos/especial_-_litio_bolivia_compressed_(1).pdf).

⁹¹ *Idem*; véase también GILBERT, Jonathan y SIRTORI-CORTINA, Daniela, *op. cit.*

⁹² *Idem*; véase también YACIMIENTOS DE LITIO BOLIVIANOS, *El conocimiento y la experiencia del litio: Bolivia rumbo al Bicentenario*, 25 de mayo de 2021, www.ylb.gob.bo/archivos/notas_archivos/25052021unicom_compressed.pdf.

⁹³ *Ibidem*, p. 19; véase también PEROTTI, Remco y COVIELLO, Manlio, *op. cit.*, p. 35.

⁹⁴ *Idem*; véase también PEROTTI, Remco y COVIELLO, Manlio, *op. cit.*, p. 38.

⁹⁵ *Idem*; véase también WITKER VELÁSQUEZ, Jorge, *op. cit.*, pp. 179-180.

⁹⁶ *Cfr. Ibidem*, p. 190.

⁹⁷ *Cfr. OBAYA*, Martín y CÉSPEDES, Mauricio, *op. cit.*, p. 121.

Tabla 5. Regulación de la explotación de litio en los países del triángulo sudamericano

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

Fuente: Adaptado de OBAYA, Martín y CÉSPEDES, Mauricio, *op. cit.*, p. 121.

2. Litio y sostenibilidad

Un estudio sobre minería y desarrollo verde en las regiones de Europa del Este, Cáucaso y Asia Central encontró que la actividad minera produce impactos ambientales significativos como la destrucción de ecosistemas, efectos negativos sobre la biodiversidad, liberación de metales pesados, sustancias tóxicas y partículas, así como un uso

significativo de los recursos hídricos.⁹⁸ Estos impactos se pueden extender más allá del área cercana a la operación mediante diversos mecanismos de transporte dentro de los ecosistemas y más allá de la vida útil de una mina, muchas veces porque las operaciones concluidas se supervisan menos que aquellas aún abiertas.⁹⁹

Por otro lado, el mejoramiento del desempeño ambiental del sector minero puede tener beneficios socioeconómicos tangibles para las empresas involucradas y efectos indirectos en otras partes de la economía. Además de reducir el impacto de la minería en el medio ambiente y las comunidades, las prácticas sostenibles contribuyen a la competitividad de la región en que se llevan a cabo.¹⁰⁰ En este sentido la OECD, reconoce cuatro formas en que las políticas públicas pueden facilitar la transferencia de habilidades y tecnología con miras a generar estos beneficios:¹⁰¹

- 1) Ofrecer incentivos para fomentar el despliegue de tecnología;
- 2) Exigir la transferencia de tecnología y la capacitación como componentes de las licencias mineras;
- 3) Alentar a las empresas mineras a maximizar las adquisiciones locales y ayudar a las empresas locales a cumplir con los estándares reconocidos internacionalmente; y
- 4) Desarrollar recursos humanos capacitados.

Como lo observan Obaya y Céspedes, la explotación del litio pone de manifiesto una creciente tensión entre la transición global hacia una economía con baja generación de carbono y una mayor presión sobre los territorios dotados con aquellos recursos que son necesarios para dicha transición, como lo es el litio.¹⁰²

⁹⁸ Cfr. ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS, *Mining and Green Growth in the EECCA Region*, Francia, OECD Green Growth Studies, OECD Publishing, 2019, pp. 7-9.

⁹⁹ Cfr. *Idem*.

¹⁰⁰ Cfr. *Idem*.

¹⁰¹ Cfr. *Idem*.

¹⁰² Cfr. OBAYA, Martín y CÉSPEDES, Mauricio, *op. cit.*, p. 122.

V. EL PROYECTO SONORA *LITHIUM*

El proyecto conocido como Sonora *Lithium* se localiza en el estado de Sonora a tres horas en automóvil hacia el noreste de la capital Hermosillo y 170 kilómetros al sur de la frontera con los Estados Unidos. Este proyecto busca producir carbonato de litio con una calidad apropiada para la elaboración de baterías, es decir, litio grado batería.¹⁰³ El proyecto consta de siete concesiones de exploración y minería: las concesiones conocidas como La Ventana y La Ventana 1 pertenecen en un 99.9% a Bacanora Minerals Ltd, mientras que el resto (El Sauz, El Sauz 1, El Sauz 2, Fleur y Fleur 1) pertenece en su mayoría a Bacanora Minerals Ltd con una propiedad del 70%, mientras que el 30% le pertenece a Cadence Minerals PLC.¹⁰⁴ Las Figuras 10 y 11 muestran la localización del proyecto en el territorio del país.¹⁰⁵

Figura 10. Localización del proyecto Sonora *Lithium* en el estado



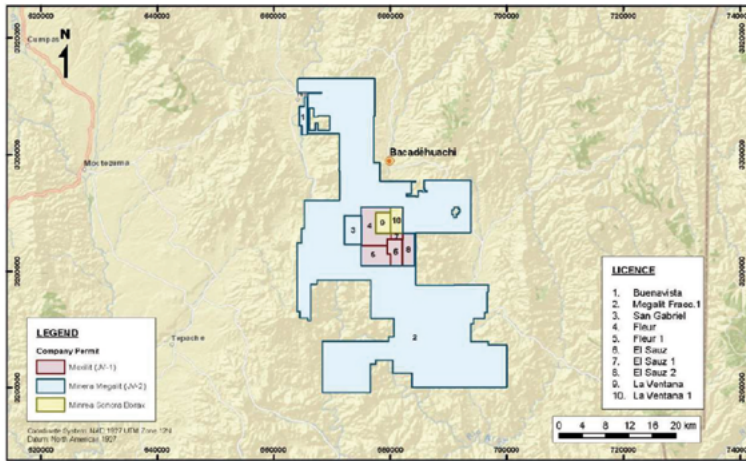
Fuente: AUSENCO SERVICES PTY LTD, *Technical Report on the Feasibility Study for the Sonora Lithium Project, Mexico*, 2018, p. 23.

¹⁰³ Cfr. AUSENCO SERVICES PTY LTD, *op. cit.*, p. 1.

¹⁰⁴ Cfr. *Idem*.

¹⁰⁵ Cfr. *Ibidem*, pp. 23 y 24.

Figura 11. Localización del proyecto Sonora *Lithium* con respecto al poblado de Bacadéhuachi



Fuente: AUSENCO SERVICES PTY LTD, *op. cit.*, p. 24.

El proyecto propone una mina a cielo abierto y una planta de procesamiento de carbonato de litio, con un plan de mina de 19 años.¹⁰⁶ La producción de diseño mínima anual comenzará en 17,500 toneladas anuales de carbonato de litio (Li_2CO_3) de grado batería durante los primeros cuatro años del proyecto (etapa 1), seguida de una expansión que propone duplicar el tamaño de la operación de la planta, para alcanzar una producción de diseño mínima de 35,000 toneladas por año (etapa 2).¹⁰⁷ Además, el proyecto ha sido diseñado para producir hasta 28,800 toneladas por año de sulfato de potasio (K_2SO_4), para su venta a la industria de fertilizantes.¹⁰⁸ El poblado más cercano al sitio es Bacadéhuachi y es ahí donde Bacanora ha instalado su base de operaciones.¹⁰⁹

Aunque el plan de la mina cubre los primeros 19 años de producción, el proyecto reporta la existencia de recursos y reservas minerales adicionales para extender la extracción y el procesamiento más allá de ese periodo.¹¹⁰

106 *Cfr. Ibidem*, p. 1.

107 *Cfr. Idem*.

108 *Cfr. Idem*.

109 *Cfr. Idem*.

110 *Cfr. Idem*.

Para el programa de mina de 19 años, se planea extraer un total de 37.1 millones de toneladas de mineral con una concentración de 4,151 partes por millón de litio y 1.76% de potasio.¹¹¹ El grado de litio límite para el material enviado a la planta es de 1,500 partes por millón durante los años 1 a 18 y de 2,000 partes por millón durante el año 19.¹¹²

La forma en que se presenta el recurso mineral (concepto denominado como *mineralización*) dentro del alcance del proyecto consiste en una serie de arcillas que contienen litio y ocurren en dos secuencias de capas separadas por una lámina de roca conocida como ignimbrita.¹¹³ La Figura 12 ilustra la manera en que suceden las dos unidades de arcilla (*clay units*, en inglés).¹¹⁴

Figura 12. Unidades de arcilla para el proyecto Sonora *Lithium*



Fuente: AUSENCO SERVICES PTY LTD, *op. cit.*, p. 37.

El proceso de recuperación del mineral se puede resumir en los siguientes pasos:

- 1) Beneficiación para recuperar litio mientras se remueve la calcita y la sílice mediante depuración, clasificación por hidrociclón y flotación inversa;
- 2) Tostado del yeso; y
- 3) Procesamiento hidrometalúrgico.¹¹⁵

¹¹¹ Cfr. *Idem*.

¹¹² Cfr. *Idem*.

¹¹³ Cfr. STERBA, Jiri *et al.*, *op. cit.*, p. 422.

¹¹⁴ Cfr. AUSENCO SERVICES PTY LTD, *op. cit.*, p. 37.

¹¹⁵ Cfr. *Idem*.

A partir de este proceso, se prevé que la recuperación general de la planta de litio sea del 69.8 % para litio y del 57.2 % para potasio.¹¹⁶

Los métodos de minería para el proyecto en Sonora consideran una mina a cielo abierto con bancas de 10 metros a un ángulo entre rampas de 42°, con caminos para maquinaria de 20 metros de anchura.¹¹⁷ Las operaciones mineras se llevarán a cabo con cargadores frontales, camiones de acarreo y una flota auxiliar de topadoras, motoniveladoras y camiones cisterna; mientras que la extracción del mineral se realizará con máquinas mineras de superficie por su mejor selectividad para extraer las arcillas de litio hasta el contacto con los depósitos adyacentes.¹¹⁸

El proyecto propone un programa operativo para la planta mediante una operación continua de 24 horas al día, utilizando dos turnos de 12 horas por día durante los 365 días del año.¹¹⁹ Se predice una disponibilidad cercana al valor típico de 90% (7884 horas al año) para la planta de beneficiación y de 83% (7270 horas al año) para la planta de extracción.¹²⁰

Bacanora junto con SignumBox han llevado a cabo un estudio de mercado para el proyecto de litio en Sonora, encontrando que el mercado presentaba un crecimiento por encima del 15% anual.¹²¹ Además, en términos de valor se ha más que duplicado desde 2014 y 2015 a un estimado de 2.2 a 2.5 mil millones de dólares americanos.¹²² Por otro lado, el estudio encontró que los precios habían aumentado drásticamente desde el tercer trimestre de 2015, partiendo de un precio promedio global de carbonato de litio en el rango de 6,000 a más de 12,000 dólares americanos por tonelada en el tercer trimestre de 2017.¹²³ Para el caso del sulfato de potasio, que sería el otro producto generado por el proyecto, Bacanora solicitó a Green Markets un estudio que resultó en un precio pronosticado de 550 dólares americanos por tonelada durante los próximos diez años.¹²⁴ Cabe destacar que este estudio se llevó a cabo previo a la pandemia y sus efectos.

116 Cfr. *Idem*.

117 Cfr. *Ibidem*, p. 4.

118 Cfr. *Idem*.

119 Cfr. *Idem*.

120 Cfr. *Idem*.

121 Cfr. *Idem*.

122 Cfr. *Idem*.

123 Cfr. *Idem*.

124 Cfr. *Idem*.

En cuanto a los impactos ambientales y sociales, el proyecto comisionó a Solum la realización de estudios sobre la materia.¹²⁵ El estudio reporta haber incluido consideraciones sobre áreas naturales protegidas, flora, fauna, aguas superficiales, aguas subterráneas y actividades socioeconómicas, así como el estudio de muestras de roca de mina y desechos residuales para detectar la posible generación de ácido; siguiendo lineamientos y planes establecidos por las autoridades mexicanas, la *International Lending Institution Standards* y el Consejo Internacional de Minería y Metales.¹²⁶ El estudio reporta no haber identificado problemas ambientales o sociales significativos.

Bacanora Lithium afirma que la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) fue preparada y presentada a SEMARNAT para su aprobación en mayo de 2017 y que recibió la resolución aprobatoria de la MIA el 11 de octubre de 2017.¹²⁷ Además, se elaboró y presentó el Estudio Técnico Justificativo (ETJ) para el cambio de uso de suelo del sitio el 10 de enero de 2018.¹²⁸

El proyecto reporta haber iniciado el contacto con las comunidades locales, las cuales están a favor de este, de modo que no se han identificado riesgos mayores para su consecución; así mismo, se ha puesto en marcha un plan de compromiso social para la fase de construcción y operación.

Recientemente Bacanora Lithium estableció una alianza con Ganfeng Lithium Co. Ltd., el mayor productor de compuestos de litio de China, para avanzar en la revisión del diseño de ingeniería de la planta de procesamiento de litio.¹²⁹ Tras lo cual, Ganfeng aumentó su participación en el proyecto, pasando de 22.5% a 50% el 26 de febrero de 2021.¹³⁰

¹²⁵ Cfr. *Ibidem*, p. 8.

¹²⁶ Cfr. *Idem*.

¹²⁷ Cfr. *Idem*.

¹²⁸ Cfr. *Idem*.

¹²⁹ Cfr. MORALES, Roberto, *Por tecnología china, sube viabilidad de planta de baterías de litio en México*, *El Economista*, 29 de marzo de 2021, <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Planta-de-baterias-de-litio-en-Mexico-requiere-inversion-por-2000-millones-de-dolares-en-10-anos-Bacanora-Lithium-20210329-0044.html>.

¹³⁰ Cfr. *Idem*.

VI. EL MARCO NORMATIVO MEXICANO

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece en su artículo 27 párrafo cuarto, el dominio directo de los recursos minerales en el territorio nacional:

Corresponde a la Nación el dominio directo de todos los recursos naturales de la plataforma continental y los zócalos submarinos de las islas; de todos los minerales o sustancias que en vetas, mantos, masas o yacimientos, constituyan depósitos cuya naturaleza sea distinta de los componentes de los terrenos, tales como los minerales de los que se extraigan metales y metaloides utilizados en la industria; los yacimientos de piedras preciosas, de sal de gema y las salinas formadas directamente por las aguas marinas; los productos derivados de la descomposición de las rocas, cuando su explotación necesite trabajos subterráneos; los yacimientos minerales u orgánicos de materias susceptibles de ser utilizadas como fertilizantes; los combustibles minerales sólidos; el petróleo y todos los carburos de hidrógeno sólidos, líquidos o gaseosos; y el espacio situado sobre el territorio nacional, en la extensión y términos que fije el Derecho Internacional.

En el mismo artículo, se establece que las concesiones en la materia otorgadas por el Ejecutivo Federal deben estar *de acuerdo con las reglas y condiciones que establezcan las leyes* para la explotación, el uso o el aprovechamiento de los recursos antes referidos. Además, *las normas legales relativas a obras o trabajos de explotación de los minerales y sustancias a que se refiere el párrafo cuarto, regularán la ejecución y comprobación de los que se efectúen o deban efectuarse a partir de su vigencia, independientemente de la fecha de otorgamiento de las concesiones, y su inobservancia dará lugar a la cancelación de éstas.*

Por otro lado, el artículo 73 en su fracción X faculta al Congreso de la Unión para legislar en toda la República sobre minería y sustancias químicas, entre otras materias. Por cuanto a legislación laboral, el artículo 123 constitucional, apartado A, fracción XXXI, establece la competencia exclusiva de las autoridades federales para la aplicación de las leyes del trabajo en los asuntos relativos a la minería y la explotación de los minerales básicos, así como su beneficio y fundición.

En lo que respecta a referencias explícitas al litio en la legislación mexicana, la Ley Minera en su artículo 4, ha incluido a los minerales o sustancias de los que se extraigan litio como mineral o sustancia que en vetas, mantos, masas o yacimientos constituyen depósitos distintos de los componentes de los terrenos. Por lo tanto, estos minerales o sustancias quedan sujetos a esta ley. El 20 de abril de 2022 se reformaron y adicionaron diversas disposiciones de la Ley Minera con la finalidad de declarar al litio como un material de utilidad pública y reconocerlo como patrimonio de la Nación. Para tal efecto, la ley reserva la exploración, explotación, beneficio y aprovechamiento en favor del pueblo de México y previene el otorgamiento de concesiones, licencias, contratos, permisos o autorizaciones en la materia. Además, considera como zonas de reserva minera aquéllas en que haya yacimientos de litio.

La Ley Minera también establece la creación de un organismo público descentralizado a cargo de la exploración, la explotación, beneficio y el aprovechamiento del litio, a través del cual el Estado administra y controla las cadenas de valor económico de este material. Finalmente, esta misma ley obliga al Estado mexicano a proteger y garantizar la salud de los mexicanos, el medio ambiente y los derechos de los pueblos originarios, comunidades indígenas y afromexicanas durante la realización de las actividades antes mencionadas.

Existe además la norma mexicana, la NMX-I-282NYCE-2012, que describe el método de prueba para cuantificar el consumo de energía eléctrica de cargadores de baterías para ser utilizados en baterías reemplazables de la química ion de litio; y dos normas estadounidenses, la ASTM D3561-11, que describe un método de prueba estándar para el litio, potasio y los iones de sodio en agua salobre, agua de mar, y salmueras por espectrofotometría de absorción atómica y la ASTM D7303-12, que describe un método de prueba estándar para la determinación de metales en grasas lubricantes por espectrometría de emisión atómica de plasma acoplada inductivamente. La Secretaría de Economía reporta que los compuestos carbonato de litio, hidróxido de litio y los óxidos de litio se han exentado de aranceles de importación desde el 1 de enero de 2010.¹³¹

¹³¹ Cfr. SECRETARÍA DE ECONOMÍA, *Perfil del mercado de Litio*, México, Dirección General de Desarrollo Minero, enero de 2021, p. 24.

VII. CONCLUSIONES

El uso del recurso mineral para impulsar el crecimiento económico en las regiones donde se localiza requiere del aumento de la productividad mediante el aprovechamiento de los avances y las nuevas tecnologías. La idea central es maximizar el valor agregado de la producción en la región, en ocasiones, incluso más que el contenido mismo de material nacional en los productos. Comúnmente, esto implica la integración de la región en distintos eslabones de las cadenas de valor involucradas.

En este sentido, las políticas en materia de innovación se encuentran entre las que más impactan la productividad en el sector minero.¹³² La OECD identifica cinco pilares necesarios para fortalecer las condiciones para la innovación sostenible:

- 1) Estrategias efectivas de habilidades;
- 2) Un entorno empresarial estable, sólido, abierto y competitivo;
- 3) Inversión pública sostenida en un sistema eficiente de creación y difusión del conocimiento;
- 4) Mayor acceso y participación en la economía digital; y
- 5) Buena gobernanza e implementación.¹³³

Cabe destacar que, de acuerdo con el Índice Global de Innovación publicado por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, México se ubica en la posición 55 de 132 en esta materia.¹³⁴

En este contexto, un dilema del desarrollo sostenible en el sector de la minería es que el cambio hacia una economía más verde seguirá demandando cantidades significativas de recursos naturales, como el litio. Sin embargo, el sector minero es una fuente potencial de daños ambientales inmediatos y a largo plazo.¹³⁵ Un estudio sobre los impactos

¹³² Cfr. KORINEK, Jane, *op. cit.*, p. 32.

¹³³ Cfr. ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS, *The Innovation Imperative: Contributing to Productivity, Growth and Well-Being*, OECD Publishing, 2015, pp. 121-151, traducción propia.

¹³⁴ Cfr. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL, *Global Innovation Index 2021: Tracking Innovation through the COVID-19 Crisis*, World Intellectual Property Organization, 2021, p. 4.

¹³⁵ Cfr. ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS, *Mining and Green Growth in the EECCA Region*, *op. cit.*, p. 7.

ambientales y las tendencias en el sector minero en Europa del Este, Cáucaso y Asia Central encontró que los marcos regulatorios exitosos de esas regiones muestran una confluencia de políticas que en conjunto incentivan, apoyan y regulan a las empresas mineras para reducir su impacto ambiental,¹³⁶ entre ellas:

- El desarrollo de un enfoque en todo el gobierno para mejorar el desempeño ambiental de la minería, utilizando convenciones internacionales;
- La implementación de una regulación ambiental clara, estable y consistente que estimule a los operadores a implementar técnicas y tecnologías eficientes y ecológicas;
- La facilitación de una participación amplia de las partes interesadas en apoyo del buen desempeño ambiental, incluyendo el monitoreo de los impactos ambientales por parte de las comunidades locales;
- El apoyo a la innovación en el sector minero mediante la promoción de infraestructura sostenible e innovadora y la financiación de la investigación aplicada y específica del sector;
- El desarrollo de capacidad humana en habilidades y conocimientos técnicos y ambientales a través de educación, formación y experiencia laboral;
- El desarrollo de políticas para atender los sitios mineros abandonados, lo que incluye responsabilizar a las partes involucradas e incentivar la inversión respecto del reprocesamiento de desechos; y
- El apoyo al desarrollo de un mercado de proveedores de servicios verdes en el sector minero, incluidos los procesos de acreditación.

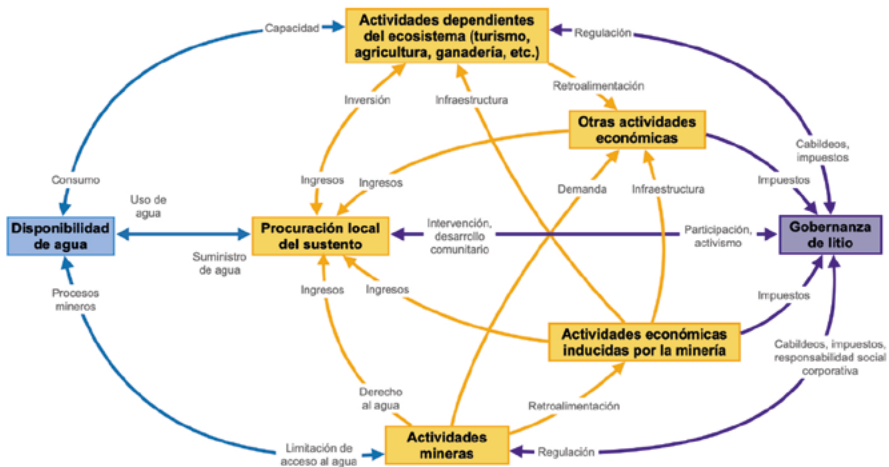
En efecto, el apoyo a las tecnologías sostenibles bajas en carbono, como las baterías de litio, requieren del pleno reconocimiento y abordaje de sus impactos en los sistemas socioecológicos en que se desarrollan.¹³⁷ De ahí, que la experiencia en el triángulo de litio sudamericano

¹³⁶ Cfr. *Ibidem*, p. 8.

¹³⁷ Cfr. AGUSDINATA, Datu *et al.*, *op. cit.*, p. 123001.

ha mostrado que la minería de litio y las comunidades locales están estrechamente vinculadas tanto a escala local como regional, por lo menos, a través del intercambio de recursos hídricos, oportunidades económicas y gobernanza de los recursos.¹³⁸ Para ilustrar la complejidad socioecológica del fenómeno en la región, Liu y Agusdinata diseñaron un marco de sistema complejo natural-social acoplado.¹³⁹ La Figura 13 muestra una adaptación de ese sistema de interdependencias.

Figura 13. Marco de acoplamiento del sistema en torno a la explotación de litio en Chile



Fuente: Adaptado de LIU, Wenjuan y AGUSDINATA, Datu B., *op. cit.*, p. 123004.

En México no existe actualmente algún yacimiento de litio en explotación, aunque sí se hallan exploraciones en Baja California, San Luis Potosí en conjunto con Zacatecas y Sonora.¹⁴⁰ En Baja California, la empresa Pan American Lithium estudia el reprocesamiento de una salmuera residual, resultado de la operación de la planta de generación geotérmica de Cerro Prieto, perteneciente a la Comisión Federal de

138 Cfr. LIU, Wenjuan y AGUSDINATA, Datu B., *op. cit.*, p. 1.

139 Cfr. *Idem*.

140 Cfr. DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO MINERO, *op. cit.*, p. 10.

Electricidad.¹⁴¹ En San Luis Potosí y Zacatecas, la empresa Litiomex S.A. de C.V., ha estudiado un depósito de sales de litio y de potasio en arcillas y salmueras de evaporación en forma de lagunas, estimando recursos del orden de los 8 millones de toneladas de litio equivalente.¹⁴² En el estado de Sonora, la empresa Bacanora Minerals desarrolla un proyecto para explotar dos unidades de arcillas con contenido de litio. Bacanora Minerals ha reportado estudios que estiman un potencial de 43,3 millones de toneladas de recursos inferidos con una concentración de 0.3 % de litio.¹⁴³ El proyecto de Bacanora Lithium, en Sonora, es el que cuenta con mayor avance en el país. La Secretaría de Economía federal espera que la planta comience a operar en el año 2023.¹⁴⁴

El aumento del consumo de litio y la nula producción del mineral en México han hecho que la balanza comercial del litio sea deficitaria. Por ejemplo, en 2018 las exportaciones fueron de 652 mil dólares americanos, mientras que las importaciones fueron de 3.8 millones de dólares, que representa un déficit de más de 3.1 millones de dólares.¹⁴⁵ Sin embargo, la tendencia de crecimiento del mercado del litio puede ser aprovechada por México a través de su cercanía con los consumidores de baterías de litio en Estados Unidos y Canadá. En este sentido, el mercado de vehículos híbridos y eléctricos es particularmente importante.

La participación de México en el mercado de litio y, aún más, en diversos eslabones de la cadena de valor de las baterías de ion-litio tiene el potencial para producir efectos sistémicos que se pueden canalizar a través de los procesos de generación, adopción y difusión de innovaciones, así como por los encadenamientos que esas industrias promueven.¹⁴⁶ Al respecto López y colaboradores afirman que:

[...] los cambios tecnológicos pueden ayudar tanto a mejorar la eficiencia y reducir los impactos indeseables de estas industrias (en el plano ambiental, por ejemplo), como a producir derrames de conocimiento a través de procesos de imitación y difusión,

¹⁴¹ Cfr. *Ibidem*, p. 11.

¹⁴² Cfr. *Ibidem*, p. 12.

¹⁴³ Cfr. *Ibidem*, p. 13.

¹⁴⁴ Cfr. *Ibidem*, p. 28.

¹⁴⁵ Cfr. *Ibidem*, p. 30.

¹⁴⁶ Cfr. LÓPEZ, Andrés *et al.*, *op. cit.*, 2019, p. 25.

el establecimiento de redes de innovación, la cooperación con proveedores, clientes y organismos científico-tecnológicos, la movilidad del personal, etc., [...] los encadenamientos generados por las industrias extractivas pueden contribuir a elevar sus impactos en materia de empleo o nivel de actividad, así como a diversificar las economías a través del desarrollo de proveedores de bienes y servicios o la industrialización de las materias primas respectivas.¹⁴⁷

Ante el panorama descrito, el Poder Legislativo mexicano tiene frente a sí la oportunidad de tomar decisiones adecuadas que permitan a las regiones del país que cuentan con litio hacer uso de su explotación para promover su sostenibilidad social y ambiental.

VIII. REFERENCIAS

1. *Bibliohemerográficas*

- AGUSDINATA, Datu *et al.*, “Socio-environmental impacts of lithium mineral extraction: towards a research agenda”, *Environmental Research Letters*, vol. 13, núm. 12, noviembre de 2018.
- ANDERSEN, Allan D. *et al.*, “Innovation in natural resource-based industries: a pathway to development? Introduction to special issue”, *Innovation and Development*, vol. 8, núm. 1, febrero de 2018.
- ARAL, Hal y VECCHIO-SADUS, Angelica, “Toxicity of lithium to humans and the environment—A literature review”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 70, núm. 3, julio de 2008.
- BRADLEY, Dwight C. *et al.*, “Chapter K: Lithium”, en SCHULZ, Klaus J. *et al.*, (eds.), *Critical Mineral Resources of the United States-Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply*, U.S. Geological Survey Professional Paper, vol. 1802, diciembre de 2017.
- CHURCH, Clare y WUENNENBERG, Laurin, *Sustainability and Second Life: The Case for Cobalt and Lithium Recycling*, *International Institute for Sustainable Development (IISD)*, Canadá, marzo de 2019.

147 *Idem.*

- COSBEY, A., *Mining a Mirage?: Reassessing the Shared-Value Paradigm in Light of the Technological Advances in the Mining Sector*, Canadá, International Institute for Sustainable Development, octubre de 2016.
- DE SA, Paulo y KORINEK, Jane, *Resource Efficiency, the Circular Economy, Sustainable Materials Management and Trade in Metals and Minerals*, *OECD Trade Policy Papers*, núm. 245, marzo de 2021.
- DESSEMOND, Colin *et al.*, “Spodumene: The Lithium Market, Resources and Processes”, *Minerals*, Suiza, vol. 9, núm. 334, mayo de 2019.
- EBENSPERGER, Arlene *et al.*, “The lithium industry: Its recent evolution and future prospects”, *Resources Policy*, Reino Unido, vol. 30, núm. 3, septiembre de 2005.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, *Growth within: A circular economy vision for a competitive Europe*, julio de 2015.
- GILBERT, Jonathan y SIRTORI-CORTINA, Daniela, *Lithium Nationalism Is Taking Root in Region With Most Resources*, Bloomberg, 30 de junio de 2021.
- GROSJEAN, Camille *et al.*, “Assessment of world lithium resources and consequences of their geographic distribution on the expected development of the electric vehicle industry”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, núm. 3, enero de 2012.
- GRUBER, P.W. *et al.*, “Global lithium availability”, *Journal of Industrial Ecology*, Estados Unidos, vol. 15, núm. 5, octubre de 2011.
- JASKULA, Brian W., “Lithium”, *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*, enero de 2021.
- , *Mineral commodity summaries*, U.S. Geological Survey, enero de 2022.
- KORINEK, Jane, “The mining global value chain”, *OECD Trade Policy Papers*, núm. 235, enero de 2020.
- LANDI, Brian J. *et al.*, “Carbon nanotubes for lithium ion batteries”, *Energy & Environmental Science*, vol. 2, abril de 2009.
- LEDERMAN, Daniel y MALONEY, William F., *Does what You Export Matter?: In Search of Empirical Guidance for Industrial Policies*, World Bank Publications, 2012.
- LIU, Wenjuan y AGUSDINATA, Datu B., “Interdependencies of lithium mining and communities sustainability in Salar de Atacama,

- Chile”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 260, marzo de 2020.
- LÓPEZ, Andrés *et al.*, *Litio en la Argentina: Oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor*, Banco Interamericano de Desarrollo, 2019.
- MARMOLEJO CERVANTES, Miguel Ángel y GARDUÑO RIVERA, Rafael, “Mining-Energy Public Policy of Lithium in Mexico: Tension between Nationalism and Globalism”, *Social Science Research Network*, prepublicación, Estados Unidos, septiembre de 2021.
- MARTIN, Gunther *et al.*, “Lithium market research – global supply, future demand and price development”, *Energy Storage Materials*, vol. 6, agosto de 2016.
- MORALES, Roberto, *Por tecnología china, sube viabilidad de planta de baterías de litio en México*, *El Economista*, 29 de marzo de 2021.
- OBAYA, Martín y CÉSPEDES, Mauricio, *Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio: Implicaciones para los países del triángulo del litio*, Documentos de Proyectos, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL, *Global Innovation Index 2021: Tracking Innovation through the COVID-19 Crisis*, World Intellectual Property Organization, 2021.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS, *Mining and Green Growth in the EECCA Region*, OECD Green Growth Studies, Francia, OECD Publishing, 2019.
- , *The Innovation Imperative: Contributing to Productivity, Growth and Well-Being*, OECD Publishing, 2015.
- PEROTTI, Remco y COVIELLO, Manlio, “Governance of strategic minerals in Latin America: The case of lithium”, *Economic Commission for Latin America and the Caribbean*, Chile, septiembre de 2015.
- RECK, Barbara y GRAEDEL, T. E., “Challenges in metal recycling”, *Science*, Estados Unidos, vol. 337, núm. 6095, agosto de 2012.
- SECRETARÍA DE ECONOMÍA, *Perfil del mercado de Litio*, México, Dirección General de Desarrollo Minero, diciembre de 2014.
- , *Perfil del mercado de Litio*, Dirección General de Desarrollo Minero, México, enero de 2021.
- STATISTA, *Average lithium carbonate price from 2010 to 2021*, enero de 2022.

- STERBA, Jiri *et al.*, “Lithium mining: Accelerating the transition to sustainable energy”, *Resources Policy*, vol. 62, 2019.
- SVERDRUP, Harald U., “Modelling global extractable geological resources with the LITHIUM model”, *Resources Conservation and Recycling*, vol. 114, noviembre de 2016.
- WITKER VELÁSQUEZ, Jorge, *Derecho Minero*, México, Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM, 2021.
- WORLD ECONOMIC FORUM, ELLEN MACARTHUR FOUNDATION y MCKINSEY & COMPANY, *Towards the circular economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*, enero de 2014.

2. Normativa nacional

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
Ley Minera.
NMX-I-282NYCE-2012.

3. Internet

- AHORA EL PUEBLO, *El proyecto retoma su avance tras estar paralizado casi un año*, 24 de febrero de 2022.
- AUSENCO SERVICES PTY LTD, *Technical Report on the Feasibility Study for the Sonora Lithium Project, Mexico*, Ausenco, Australia, enero de 2018.
- PETERSON, John, *Why advanced lithium ion batteries won't be recycled*, *Alt Energy Stocks*, 16 de mayo de 2011.
- YACIMIENTOS DE LITIO BOLIVIANOS, *El conocimiento y la experiencia del litio: Bolivia rumbo al Bicentenario*, 25 de mayo de 2021.

4. Otras

- CÁMARA DE DIPUTADOS, *Gaceta Parlamentaria*, año XXIV, núm. 5867-A-G, 13 de septiembre de 2021.
- MORENA, *Agenda parlamentaria*, (Cámara de Diputados), *Gaceta Parlamentaria*, año XXIV, núm. 5867-A, 13 de septiembre de 2021.