



Desarrollo de una cadena de valor de baterías de litio en México

REPORTE FINAL

Enero 2025

Desarrollo de una cadena de valor de baterías de litio en México. Reporte final

Primera edición.

Instituto de Desarrollo, Energía y Ambiente, 2025

COORDINACIÓN INSTITUCIONAL:

Luisa Sierra
Directora Ejecutiva

Erika Ortiz
Gerente de Economía y Comercio

Niuni Butrón
Gerente de Generación Distribuida

Ricardo Cruz
Gerente de Planeación del Sector Eléctrico

Isabel Moreno
Coordinación Administrativa

COORDINACIÓN TÉCNICA:

Erika Ortiz
Mariano Birlain

AUTORES:

Mariano Birlain
Isabel Girón
Alexa Preinfalk

COLABORACIÓN Y REVISIÓN:

Natural Resource Governance Institute

FORMACIÓN:

Instituto de Desarrollo, Energía y Ambiente (IDEA)

HECHO EN MÉXICO

Distribución gratuita. Prohibida su venta. Queda prohibido el uso para fines distintos al desarrollo social. Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra, sin fines de lucro y citando la fuente.

Forma de citar

IDEA (2025). Desarrollo de una cadena de valor de baterías de litio en México. Reporte final.

Esta publicación se elaboró en el marco de un proyecto con el Natural Resource Governance Institute (NRGI), gracias al apoyo de un grant de ClimateWorks Foundation. Las opiniones, puntos de vista y recomendaciones consignadas en esta publicación no comprometen a NRGI ni a ClimateWorks Foundation.

Con el apoyo de:



Índice

Índice de tablas	iv
Índice de figuras	v
Resumen ejecutivo	6
1- Introducción	8
2- La Cadena de Valor de las baterías de iones de litio: Situación actual	11
3- El litio y México	20
4- Beneficios del desarrollo de una cadena de valor de baterías basadas en litio en México	28
5- Retos y oportunidades para el desarrollo de una cadena de valor de baterías basadas en litio en México	37
6- Hallazgos sobre oportunidades, retos y recomendaciones para el desarrollo de una cadena de valor de baterías de litio en México	53
6.1- Sobre los retos y oportunidades para el desarrollo de una cadena de valor de baterías basadas en litio en México	54
6.2- Recomendaciones para el desarrollo de políticas públicas enfocadas en el desarrollo de una cadena de valor de baterías de litio en México.	57
7- Conclusiones	68
8- Bibliografía	70
9- Anexo I. Metodología	76
10- Anexo II	87
11- Anexo III	90

Índice de tablas

Tabla 1. Recursos de litio a nivel mundial por país.	12
Tabla 2. Parámetros técnico-económicos asociados a la cadena de valor de baterías basada en litio.	29
Tabla 3. Evolución de los beneficios socioeconómicos asociados al escenario NDC.	30
Tabla 4. Distribución por estado propuesto del total de los beneficios socioeconómicos asociados al escenario NDC para el periodo 2025-2030.	31
Tabla 5. Evolución de los beneficios socioeconómicos asociados al escenario NDC.	34
Tabla 6. Distribución por estado propuesto del total de los beneficios socioeconómicos asociados al escenario NDC+EUA para el periodo 2025-2030.	35
Tabla 7. Retos y oportunidades para el desarrollo de una cadena de valor de batería de litio en México.	37
Tabla 8. Mapeo de actores con responsabilidades según la Ruta de Implementación de ICM para la medida para impulsar vehículos eléctricos de baterías.	50
Tabla 9. Posibles políticas públicas y actores para impulsar la cadena de valor de baterías de litio en México.	54
Tabla 10. Posibles políticas públicas y actores para impulsar la electromovilidad a nivel subnacional en México.	55
Tabla A 1. Multiplicadores de Valor Agregado y Empleo para las industrias consideradas como esenciales para la cadena de valor de baterías de litio.	80
Tabla A 2. Promedio ponderado de participación de la industria automotriz local en el PIB estatal.	80
Tabla A 3. Cantidad de autos ligeros de combustión sustituidos por eléctricos en cada escenario.	81
Tabla A 4. Información utilizada para la estimación del factor de emisión de CO ₂ e para autos ligeros a gasolina.	82
Tabla A 5. Información utilizada para la estimación de gases efecto invernadero para vehículos ligeros.	84

Índice de figuras

Figura 1: Etapas de la cadena de valor de baterías de iones de litio.	8
Figura 2. Identificación de reservas de litio.	11
Figura 3.Extracción global de litio durante 2023 y su proyección a 2026.	13
Figura 4. Producción mundial de litio refinado y previsiones.	14
Figura 5. Estados de la República Mexicana con potencial de contar reservas de litio.	21
Figura 6. Mercado interno de vehículos eléctricos ligeros en México durante 2023.	24
Figura 7. Producción de vehículos eléctricos en México durante 2023.	25
Figura 8. Inversiones en electromovilidad en 2023.	26
Figura 9. Evolución de las ventas de vehículos eléctricos en México para el Escenario NDC.	30
Figura 10. Evolución de las emisiones evitadas anuales para el Escenario NDC.	32
Figura 11. Evolución de las ventas de vehículos eléctricos en México para el Escenario NDC+EUA.	33
Figura 12. Evolución de las emisiones evitadas anuales para el Escenario NDC+EUA.	35
Figura A 1. Reducción de emisiones anuales por la sustitución de autos ligeros de combustión por eléctricos para el cumplimiento del Escenario 1.	83
Figura A 2. Reducción de emisiones anuales por la sustitución de autos ligeros de combustión por eléctricos para el cumplimiento del Escenario 2.....	83
Figura A 3. Estimación de emisiones de CO ₂ e por metodología.	86

Resumen ejecutivo

Actualmente, el litio es uno de los elementos fundamentales para la transición energética, en especial porque es uno de los insumos más importantes para la producción de las baterías de iones de litio, una tecnología clave para la descarbonización del transporte y el almacenamiento de energía generada a partir de fuentes renovables. Además, el litio es considerado como un recurso estratégico para varios países que cuentan con reservas importantes de este mineral, entre estos México, donde se estima que existe un potencial de alrededor de 1.7 millones de toneladas de este mineral (USGS, 2024), lo que ubica a México entre los 20 países con mayores recursos de litio a nivel mundial.

La naturaleza estratégica del litio radica en sus posibilidades de contribuir al desarrollo económico de los países al generar un impacto positivo en la creación de empleos y de valor. En esta línea, la manufactura de baterías también ofrece importantes oportunidades de creación de valor y de nuevos puestos de trabajo bien remunerados. En este sentido, se pronostica que el mercado de las baterías de litio, asociado al acelerado crecimiento del mercado de los Vehículos Eléctricos (VE), crecerá en promedio más de un 20% anual hasta 2030, alcanzando un valor aproximado de entre 360,000 y 410,000 millones de dólares a nivel mundial (World Economic Forum, 2022). Un rápido aumento de esta demanda puede llevar al desarrollo de capacidad de producción adicional a lo largo de toda la cadena de valor y a la generación de empleos. En este contexto, se estima que una nueva planta de fabricación de baterías, con una capacidad total de producción de entre 30 a 40 GWh al año, podría crear directamente hasta 3,200 puestos de trabajo, número similar a los empleos que se podrían generar de forma indirecta a través de los proveedores y la construcción. Además, junto con un esfuerzo sostenido para establecer un sistema de recolección y reciclaje de baterías que funcione adecuadamente; se podría generar un crecimiento significativo del PIB y del empleo, especialmente si se desarrolla un ecosistema de industrias relacionadas que considere el impacto medioambiental a lo largo de la cadena de valor de la producción y el reciclado de baterías de litio.

No obstante, el tiempo para formar parte de la cadena de valor de las baterías de litio, se reduce drásticamente, debido al aumento de la competencia internacional. Esto afecta el potencial que tiene México para ser un actor clave en esta cadena de valor y reduce la posibilidad de que el país tenga los beneficios económicos, laborales y ambientales que esta industria podría generar. Por ello, es relevante que los gobiernos exploren el potencial de los recursos disponibles localmente, su procesamiento (refinado y atracción de productores de materiales) y su futura reutilización. De igual manera, para acelerar una cadena de valor de baterías de litio en México se debe facilitar la colaboración transfronteriza efectiva y el comercio con otros proveedores y socios de la cadena de valor, al igual que crear y financiar instituciones educativas y de investigación para desarrollar capacidades, así como avanzar en la innovación tecnológica.

En este documento, se presenta un diagnóstico inicial sobre las dimensiones relevantes que permiten analizar las oportunidades y los desafíos que presenta el desarrollo de una cadena de valor de baterías basadas en litio en México.

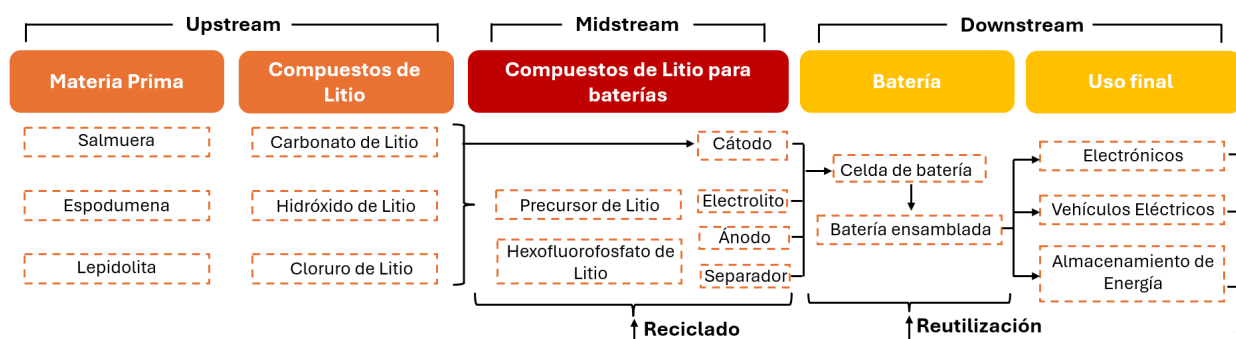
Primero, se presenta una introducción que describe de manera general la cadena de valor de baterías de litio, seguido de una descripción sobre la situación actual de esta cadena a nivel mundial y en México. Posteriormente, se muestra un análisis sobre los potenciales beneficios sociales, económicos y ambientales que se pueden generar con el desarrollo de esta cadena en México. Después, se muestra un primer análisis sobre retos y oportunidades que puede presentar el país durante el desarrollo de esta cadena de valor, lo que se complementa con las discusiones de las mesas multiactor que se llevaron a cabo como parte de este diagnóstico. Por último, se presentan algunas primeras proposiciones de políticas públicas que puedan responder a los retos, en consideración de lo analizado.

1- Introducción

En un contexto global que se mueve hacia la descarbonización y la transición energética, las baterías de litio se han convertido en un componente esencial para la electrificación del transporte y el almacenamiento de energía renovable. Lo que ha generado un creciente interés hacia la creación de cadenas de valor sólidas y sustentables para la producción de baterías de iones litio que responda a las necesidades de un futuro con emisiones netas cero.

En términos simples, una cadena de valor puede definirse como el conjunto de actividades y procesos necesarios para llevar un producto desde su fase inicial de materia prima hasta su consumo final, generando valor en cada una de estas etapas (Porter, 1985). En el caso de las baterías de iones de litio, la cadena de valor es particularmente compleja debido a la diversidad de materiales y procesos involucrados en su fabricación, desde la extracción, procesamiento y refinación de materias primas críticas, tales como el litio, níquel, cobalto y grafito, hasta la producción de componentes avanzados de celdas de batería y, finalmente, la fabricación, comercialización y distribución de las baterías, incluyendo su reciclaje al final de su vida útil. Como se muestra en la Figura 1, la cadena de valor de las baterías de litio se estructura en tres etapas principales: upstream, midstream y downstream (Australian Trade and Investment Commission, 2018). Las cuales se describen a continuación:

Figura 1: Etapas de la cadena de valor de baterías de iones de litio.



Fuente: Australian Trade and Investment Commission, 2018.

1. **Upstream (extracción y procesamiento inicial):** Incluye la exploración, extracción y procesamiento inicial de los minerales. En esta etapa, las materias primas son extraídas de depósitos geológicos y luego concentradas para su posterior refinamiento. Este segmento es crucial al determinar la disponibilidad de las materias primas críticas, que representan el mayor porcentaje en el costo total de las baterías.
2. **Midstream (refinación y producción de componentes):** Se refiere a la purificación y refinamiento de los materiales obtenidos, transformándolos en precursores listos para su uso en la producción de celdas de batería. Aquí, se

realizan procesos químicos complejos que requieren alta precisión para asegurar que los materiales cumplan con las especificaciones técnicas necesarias para la fabricación de las baterías.

3. **Downstream (fabricación de baterías y productos finales):** Comprende la fabricación de componentes como ánodos, cátodos, electrolitos y separadores, y su ensamblaje en celdas y paquetes de baterías. Esta etapa es fundamental para determinar las propiedades electroquímicas de la batería, como su capacidad, durabilidad y seguridad, que determinarán su uso final.
4. **Reciclaje y reúso de baterías:** Las baterías de iones de litio tienen una vida útil limitada y, cuando dejan de ser útiles, pueden convertirse en un peligro potencial para el medio ambiente. La vida útil de las baterías de los vehículos eléctricos depende de varios factores, como el tipo de batería, el uso y el mantenimiento. Normalmente, una batería de iones de litio puede durar entre 8 y 10 años, o recorrer entre 160,000 y 320,000 kilómetros. El reciclaje de las baterías es importante para conservar los recursos, reducir el impacto medioambiental, mejorar la eficiencia energética y minimizar los residuos. Los procesos más avanzados pueden recuperar hasta el 95% de las materias primas, incluidos los metales valiosos.

La serie de pasos implicados en el reciclaje de baterías de iones de litio para recuperar materiales esenciales y reducir los residuos se enlistan a continuación (Lectron, 2023; FutureTracker, 2022):

- **Recolección:** Las baterías usadas se recolectan y se transportan a instalaciones de reciclaje.
- **Clasificación:** En las instalaciones de reciclaje, las baterías se clasifican en función de su tipo, composición química y tamaño. Este paso es crucial, ya que el proceso varía en función del tipo de batería.
- **Desmontaje:** Una vez clasificadas, las pilas se desmontan en sus componentes individuales. Este proceso suele combinar métodos mecánicos y químicos para descomponer la pila de forma segura.
- **Separación de componentes:** Los componentes desmontados, incluidos el cátodo, el ánodo, el electrolito y el separador, se separan unos de otros. Esta separación es necesaria para aislar los materiales valiosos para su reciclado.
- **Extracción de materiales:** Tras la separación, se extraen los materiales valiosos de la pila. Normalmente se trata de metales como el cobalto, el níquel, el litio y el cobre. Estos materiales se recuperan para su reutilización en la fabricación de nuevas pilas u otros productos.
- **Refinado:** Los materiales extraídos pueden someterse a otros procesos de refinado para eliminar impurezas y mejorar su calidad. Este paso garantiza que los materiales reciclados cumplan las normas requeridas para su reutilización.
- **Fabricación:** Por último, los materiales purificados se utilizan en la producción de nuevas baterías u otros productos, completando el ciclo de reciclaje. Al

incorporar materiales reciclados a las baterías, los fabricantes de automóviles y baterías pueden reducir su dependencia de materias primas, haciendo más sostenible el proceso de producción.

Además del reciclaje de las baterías, una vez que las baterías de los vehículos eléctricos han cumplido su ciclo de vida, pueden seguir siendo utilizadas para otras aplicaciones:

- **Almacenamiento de energía:** Las baterías retiradas pueden almacenar energía procedente de fuentes como paneles solares o turbinas eólicas. Esta energía almacenada puede utilizarse cuando se necesite, reduciendo el uso de energía eléctrica proveniente de la red.
- **Uso de vehículos eléctricos de segunda vida:** Algunas baterías pueden no contar con la autonomía necesaria para viajes largos, pero pueden funcionar bien en autobuses eléctricos, vehículos de reparto o transporte local.
- **Reparación de baterías:** Las empresas especializadas pueden reparar baterías viejas sustituyendo las piezas desgastadas, dándoles una segunda vida.

Como se puede observar, cada una de las etapas antes mencionadas es interdependiente y su optimización es clave para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la producción de baterías de litio. La integración de estas etapas en una cadena de valor bien coordinada no solo reduce costos, sino que también mejora la resiliencia del suministro, minimiza impactos ambientales y maximiza el valor económico generado a lo largo del ciclo de vida de las baterías (Weimer et al., 2019) a medida que aumenta la demanda de vehículos eléctricos, la dinámica de la cadena de suministro y el mercado del reciclaje de baterías desempeñan un papel fundamental en la sostenibilidad de la cadena de valor del litio.

Durante los siguientes capítulos se abordará la situación actual de esta cadena de valor, a nivel mundial y nacional. Así como los potenciales beneficios que pueden obtenerse si esta cadena se desarrolla en México, y qué políticas pueden implementarse para impulsar desarrollo de la cadena de valor de baterías de litio en el país.

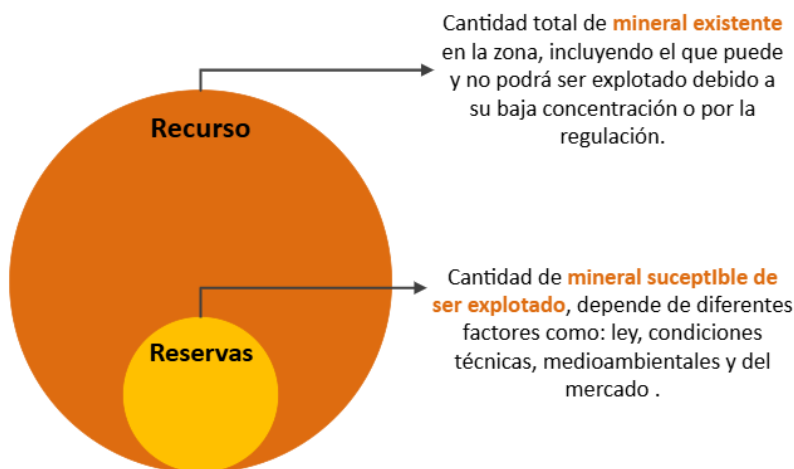
2- La Cadena de Valor de las baterías de iones de litio: Situación actual

El litio es considerado actualmente un recurso mineral crítico, dada su importancia estratégica para la industria tecnológica y la transición energética, debido a que es un insumo fundamental para la descarbonización del transporte y el almacenamiento de energía generada a partir de fuentes renovables.

Sin embargo, a pesar de su relevancia, sólo algunos países cuentan con reservas de este mineral, mientras que otros tienen la capacidad tecnológica para transformar el litio, a costos competitivos, en baterías para vehículos eléctricos. Por esta razón, se considera a la cadena de valor del litio como una cadena de carácter global.

El litio como recurso, es aquel presente en los depósitos del mineral que una vez determinada la viabilidad económica, técnica y legal para su extracción, pasa a ser reclasificado como depósito de litio; a veces esta reclasificación puede darse debido distintos factores como a los cambios y desarrollo en las tecnologías de extracción, cambios en la regulación o del mercado.

Figura 2. Identificación de reservas de litio.



Fuente: Elaboración propia con información de (Servicio Geológico Mexicano, 2017)

Hoy en día, se estima que los recursos de litio alrededor del mundo ascienden a 105 millones de toneladas, de las cuales, Bolivia, Argentina y Chile (el llamado "Triángulo de Litio"), concentran cerca del 60% (Ellerbeck, 2023; Jaskula, 2024; López-Calva, 2022, 2024).

La Tabla 1 muestra los países con mayores recursos de litio y su cantidad estimada.

Tabla 1: Recursos de litio a nivel mundial por país.

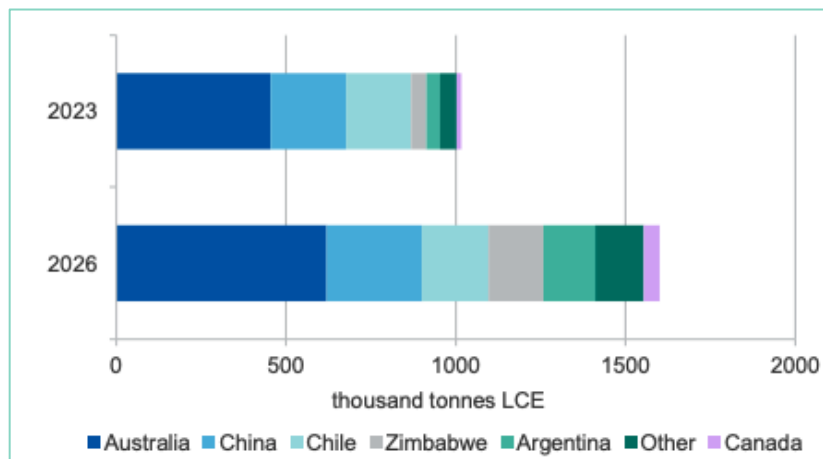
País	Recursos (millones de toneladas)
Bolivia	23
Argentina	22
Estados Unidos*	14
Chile	11
Australia	8.7
China	6.8
Alemania	3.8
Canadá	3
Congo	3
México	1.7

*Nota: *Recursos de litio medidos e indicados provenientes de salmueras continentales, arcillolitas, salmueras geotérmicas, hectorita, salmueras de yacimientos petrolíferos y pegmatitas.*

Fuente: Elaboración propia con información del Servicio Geológico de EE. UU. (Ellerbeck, 2023; Jaskula, 2024; López-Calva, 2022).

A pesar de las reservas disponibles, la extracción y refinación del litio son actividades que se realizan en algunos países. En 2023, se extrajo a nivel global alrededor de 1 millón de toneladas de litio entre Australia, China, Chile, Zimbabwe, Argentina, y Canadá entre otros (Department of Industry, Science and Resources, 2024).

Figura 3.Extracción global de litio¹ durante 2023 y su proyección a 2026.



Nota: Los datos se presentan en miles de toneladas equivalentes de carbonato de litio (LCE por sus siglas en inglés). Incluye el litio extraído de salmueras.

Fuente: Department of Industry, Science and Resources (2024) con colaboración de Wood Mackenzie (2024).

Mientras tanto, el consumo mundial de litio en 2023 se estimó en 180 mil toneladas, un 27% más que la cifra de consumo de 2022 que se encontraba en 142 mil toneladas (Jaskula, 2024). China es el mayor consumidor mundial de litio.

En cambio, en 2023 la producción mundial² de litio aumentó 23%, alcanzando las 180 mil toneladas, en comparación de 2022, cuando la producción fue de 146 mil toneladas. Los países que producen más litio son: Australia, Argentina, Chile, Brasil, Canadá, China y Zimbabwe (Jaskula, 2024).

Australia es el mayor productor de litio en el mundo. El informe trimestral sobre recursos y energía del gobierno australiano, correspondiente a diciembre de 2023, prevé un aumento de la producción de espodumeno³ de litio de 247 mil toneladas a 2025, con lo que la producción del país pasará de 386 mil toneladas (2022) a 633 mil toneladas (Department of Industry, Science and Resources, 2023). La IEA estima que Australia seguirá siendo el mayor productor en 2030, con un tercio de la producción mundial de litio (IEA, 2024a). Sin embargo, la mayor parte del espodumeno australiano se exporta y se transforma en hidróxido o carbonato de litio

¹ En miles de toneladas equivalentes en carbonato de litio (LCE por sus siglas en inglés).

² No considera la producción de Estados Unidos.

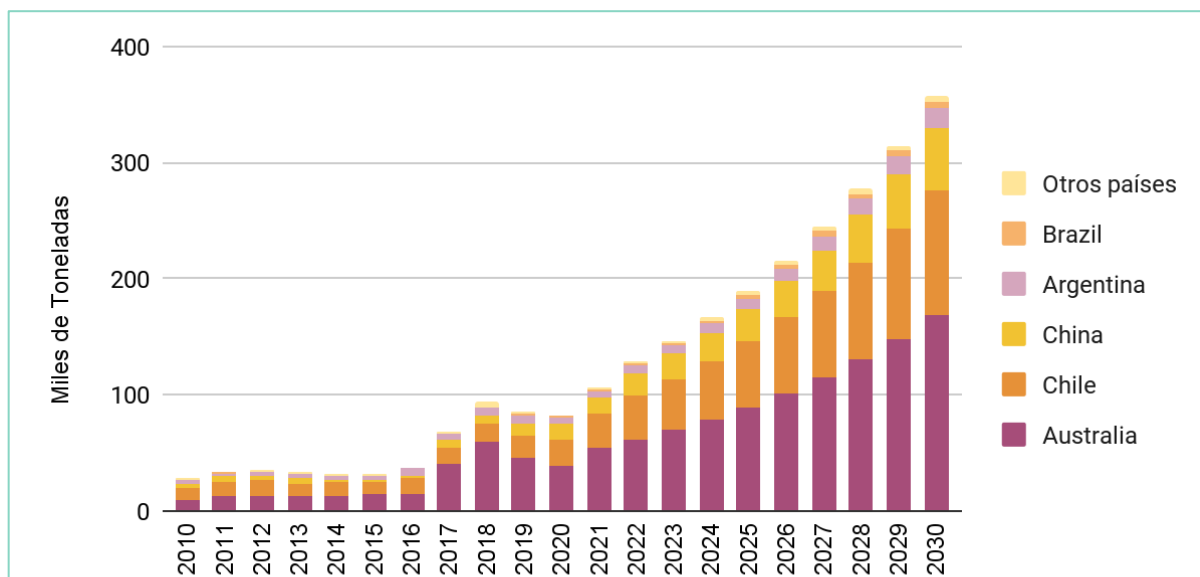
³ Es un mineral de litio derivado de la roca pegmatítica identificado por su alto contenido en litio (Maldonado, 2021), es un suministro esencial de litio que se utiliza en cerámica, teléfonos celulares, batería de automóviles, entre otros.

en el extranjero, sobre todo en China. Aunque, las futuras inversiones en refinerías nacionales harán que aumente la proporción de espodumeno que se procesa en el país (Department of Industry, Science and Resources, 2024).

Chile y China también son países fundamentales en la producción de litio. En 2023, Chile representaba casi una cuarta parte de la producción mundial de litio; sin embargo, la participación de Chile en el mercado mundial de producción de litio ha disminuido considerablemente en los últimos años si se compara con el período comprendido entre 2012 y 2016 (Jaganmohan, 2023). En cambio, se calcula que en 2023 la producción minera china de litio alcanzó las 33 mil toneladas métricas, lo que lo posicionó como el tercer país productor de litio del mundo en 2023 por volumen de producción (Statista, 2023). No obstante, la IEA estima que China desplace a Chile a mediados de la década y se convierta en el segundo mayor productor mundial de litio (IEA, 2024a).

El refinado es un paso crucial en la cadena de suministro del litio, ya que transforma el mineral de litio en bruto en productos de litio. La refinación implica varios procesos químicos y físicos para extraer y purificar los compuestos de litio y únicamente el 5% del suministro total de mineral de litio se refina. Desde una perspectiva histórica, el suministro mundial de litio refinado ha mostrado un crecimiento constante, alcanzando alrededor de 130 mil toneladas en 2022 y 145 mil toneladas en 2023. Además, se prevé que, para 2030, la oferta de litio casi se triplique hasta alcanzar las 360 mil toneladas (Incorrrys, 2024).

Figura 4. Producción mundial de litio refinado y previsiones.



Fuente: Elaboración propia con información de (Incorrrys, 2024).

La extracción y refinación de litio seguirá aumentando, sobre todo por la alta demanda de las baterías con base en este mineral. La demanda de baterías de litio ha aumentado en el

mercado, debido a múltiples factores como su ligereza y potencia, así como la disminución de los costos de producción. El litio es el tercer elemento más ligero, sólo más pesado que el hidrógeno y el helio; para los VE, una batería ligera se traduce en más distancia (Crownhart, 2023). A pesar, de que las baterías de litio tienen competencia con otro tipo de baterías, como las de sodio, se espera que el mercado de las baterías de litio continúe incrementando.

Actualmente, el tamaño del mercado mundial de baterías de iones de litio se estimó en 54,400 millones de dólares en 2023 y se espera que alcance los 60,300 millones de dólares en 2024 (Grand View Research, 2024). Asimismo, se valora que, la creciente demanda de VE y de almacenamiento en las redes eléctricas, impulsen el crecimiento del mercado a una tasa anual (compuesta) del 20.3% entre 2024 y 2030, por lo que podría llegar hasta los 182,500 millones de dólares en 2030. Desde una perspectiva regional, Asia-Pacífico dominó el mercado de baterías de iones de litio, representando el 47% del mercado en 2023 (Grand View Research, 2024).

De igual manera, se observa esta misma concentración geográfica de la producción de celdas de baterías de iones de litio, con un mayor predominio de países asiáticos. La capacidad productiva total de celdas de China, República de Corea y Japón supera el 84%. Gran parte de esta capacidad productiva se debe a los apoyos que dieron los gobiernos de estos países a las asociaciones público-privadas para llevar adelante proyectos de investigación y desarrollo (I+D), incluyendo financiamiento. En este mismo sentido, el gobierno chino decidió promover el desarrollo de capacidad productiva en baterías de iones de litio mediante subsidios a las actividades de I+D, incentivos impositivos, requisitos de contenido local y restricciones a las exportaciones (Obaya & Céspedes, 2021).

Estados Unidos es el único país con capacidad productiva relevante fuera del continente asiático, debido fundamentalmente a la "gigafábrica"⁴ de Tesla en el estado de Nevada. De igual manera, Europa busca posicionarse como un actor estratégico para el desarrollo de la industria de baterías desde 2017, con la Alianza Europea de Baterías. No obstante, llama la atención que Europa es la única de las grandes regiones productoras de vehículos que no tiene capacidad productiva de celdas para electromovilidad (Obaya & Céspedes, 2021).

Fuera de China, América del Norte y Europa, la inversión en capacidad de gigafábrica es escasa. Los grandes fabricantes de celdas, como LG Chem, Panasonic, Samsung y SK Innovation, continúan invirtiendo para incrementar gradualmente su capacidad de fabricación en Corea del Sur y Japón. Además de esto y un par de pequeños proyectos en Australia e India, la inversión en capacidad de gigafábrica en el resto del mundo es esencialmente cero (Jones et al., 2021).

⁴ Se refiere a una instalación que fabrica a gran escala baterías para vehículos eléctricos y otras aplicaciones. Este término se volvió popular por la empresa Tesla, pero se ha adoptado para referirse a cualquier fábrica que construya baterías a gran escala. Consultar más información en: https://www.gigafactoryconsultation.co.uk/wp-content/uploads/2021/05/Gigafactory_Fact-Sheet_01_What-is-a-Gigafactory_V4.pdf

El costo de producción de las baterías de iones de litio ha disminuido 97% desde su introducción comercial, debido a los esfuerzos dedicados a I+D por países desarrollados y por el rápido aumento de la adopción de VE. Esto también está directamente relacionado con la reducción del precio de materias primas, por ejemplo, en mayo de 2024, el precio medio del espodumeno fue de 1,220 dólares la tonelada, mientras que el del hidróxido de litio era de 13,612 dólares la tonelada (Department of Industry, Science and Resources, 2024). En contraste, en 2022, los precios de estos materiales alcanzaron una media de 6,108 dólares la tonelada de espodumeno y 75,393 dólares la tonelada de hidróxido de litio. En este sentido, el precio de las baterías de iones de litio cayó 14% hasta alcanzar un mínimo histórico de 139 \$/kWh a finales de 2023 (BloombergNEF, 2023). No sólo por una reducción en el costo de las materias primas, sino también por el aumento de la capacidad de producción en todos los eslabones de la cadena de valor. No obstante, el precio medio de producción actual supera el nivel establecido de paridad de costos con los motores de combustión interna, fijado en 75 dólares/kWh. Asimismo, se esperan futuras reducciones en el costo de producción de las baterías de iones de litio, que se proyecta entre 30-70 USD/kWh para finales de esta década (Orangi et al., 2023).

Respecto al mercado directo de los vehículos eléctricos, durante 2023, las ventas de este tipo de vehículos aumentaron 35% en comparación con 2022, significando un incremento de 3.5 millones de vehículos. Con lo que el número total de VE en el mundo ascendió a 40 millones, cifra seis veces superior a la reportada en 2018 (IEA, 2024b). A pesar de que las ventas de VE están aumentando en todo el mundo, éstos siguen concentrándose en pocos mercados. En 2023, aproximadamente el 60% de las nuevas matriculaciones de vehículos eléctricos se dieron en China, menos del 25% en Europa y 10% en Estados Unidos. En total, esto corresponde a casi el 95% de las ventas mundiales de coches eléctricos (IEA, 2024b).

China es el mayor mercado de coches eléctricos del mundo, con 8.1 millones de ventas de coches eléctricos. No obstante, la tasa de crecimiento de las ventas de coches eléctricos en China se redujo más de la mitad en 2023, hasta el 35%, desde el 80% de 2022. Una de las razones fundamentales es que 2023 fue el primer año en que el Gobierno no concedió subvenciones a la compra de VE, ya que éstas se eliminaron progresivamente en 2022 (IEA, 2024a). Se prevé que, a nivel mundial, el crecimiento de las ventas de vehículos eléctricos se ralentice aproximadamente 17% en 2024, debido a las barreras comerciales y las preocupaciones sobre la cadena de suministro en un entorno de competencia geoestratégica, incluyendo los impactos de las nuevas normas de elegibilidad para los créditos fiscales de la Ley de Reducción de la Inflación de Estados Unidos (IRA por sus siglas en inglés) (Department of Industry, Science and Resources, 2024).

Además de los aspectos mencionados anteriormente, la sostenibilidad de la cadena de valor es otro aspecto clave que debe ser abordado, especialmente en el contexto de las baterías de litio, que son fundamentales para la transición energética hacia una economía baja en carbono.

A pesar de que el uso masivo de VE contribuirá a reducir las emisiones de CO₂ y la contaminación producida por los vehículos de combustión interna, se deben tomar en cuenta de igual manera sus impactos. Por ejemplo, las etapas upstream y midstream de la cadena de

valor tienen un impacto significativo en el ambiente, ya que los procesos de extracción y refinación están asociados con elevados consumos de agua y generación de emisiones de gases de efecto invernadero.

Por lo tanto, mejorar la sostenibilidad de la cadena de valor de las baterías de litio requiere un enfoque integral que incluya la optimización de los procesos de extracción y refinación, el desarrollo de tecnologías de procesamiento más limpias y eficientes, respeto a los derechos humanos y la implementación de prácticas de reciclaje efectivas al final de la vida útil de las baterías (Weimer et al., 2019).

Se estima que para 2030 podrían existir alrededor de 15 millones de toneladas de desechos de las baterías de litio a nivel mundial, provenientes principalmente de los vehículos eléctricos. No obstante, la industria del reciclaje de estas baterías ha crecido en empresas que, asociadas con fabricantes de automóviles, las recolectan y reciclan alcanzando niveles de recuperación del 58% (Obaya & Céspedes, 2021).

En el mercado global de reciclaje de baterías de iones de litio, China es responsable de reciclar aproximadamente el 67%, mientras que otros países de Asia, en su conjunto, reciclan alrededor del 23%. Asimismo, Europa se encuentra en tercer lugar, reciclando el 5%, seguido de Norteamérica (Canadá y Estados Unidos) con el 4% y el resto del mundo con 1% (Obaya & Céspedes, 2021). En 2021, con base en la existencia y la planeación de capacidad de reciclaje de baterías de iones de litio, se reciclaron aproximadamente 391,360 toneladas (Fleck, 2024).

En América Latina, una gran parte de las baterías de iones de litio no se gestiona o se gestiona de forma inadecuada. Esto se debe a la ausencia de normativas específicas y de sistemas de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) operativos, así como a la escasa recolección de batería de iones de litio usada y de infraestructuras de reciclaje. Por ello, en la mayoría de los países, la gestión de baterías usadas sigue operando a través de los sistemas generales de gestión de residuos sólidos (López Hernández et al., 2024).

Recientemente, se han sumado al grupo que demanda mayores estándares sociales y ambientales los países y las empresas que se abastecen con recursos de litio, que han comenzado a exigir que su extracción y procesamiento se realice en condiciones de respeto al ambiente y a los derechos humanos, y que se cumplan los criterios de debida diligencia en la cadena de suministro de minerales. Ello responde a la creciente presión de los consumidores, así como también a la implementación de nueva legislación (marcos regulatorios y de fiscalización) en los países con mayores niveles de industrialización. Este es el caso, por ejemplo, de la legislación alemana sobre debida diligencia en las cadenas de suministro de 2021, que entró en vigor el 1 de enero de 2023 (AHK, 2023), o de la propuesta de un reglamento relativo a las pilas y baterías y sus residuos para la Unión Europea que aprobó en agosto de 2023, y que ya es aplicable a partir de febrero de 2024. El nuevo marco regulatorio abarca todo el ciclo de vida de las baterías, estableciendo obligaciones para todos los operadores. Buscando fomentar la economía circular, reducir los impactos de las pilas en el medio ambiente y la salud humana, así como contribuir al funcionamiento eficaz del mercado interior y a la mejora de la autonomía estratégica de la UE (BOE, 2023).

No obstante, se ha identificado que, con relación a los residuos del sector minero, todavía hay trabajo que hacer. Se espera que la Comisión de la Unión Europea actualice la Directiva sobre residuos de las industrias extractivas, en particular: convertir la Directiva en un nuevo Reglamento europeo sobre residuos de extracción; exigir las mejores técnicas disponibles para aplicar las técnicas más seguras de almacenamiento y control de residuos, basándose en los conocimientos de los expertos y en las directrices establecidas con el documento BREF relacionado con la gestión de los residuos de extracción; basar la revisión en las directrices Safety First para reforzar la protección del medio ambiente y las medidas de seguridad para la comunidad. Así como garantizar la participación de la comunidad, desde el inicio y a lo largo de todo el proyecto (T&E, 2024).

De igual manera, cada vez más empresas que operan aguas abajo en la cadena de valor comienzan a adherirse al estándar de la Iniciativa para el Aseguramiento de la Minería Responsable, que ofrece certificación de terceros a nivel de mina. En lo que respecta a la cadena de la electromovilidad, se encuentran dentro de este grupo empresas como BMW, Ford, General Motors, Volkswagen y Tesla. En la Iniciativa para el Aseguramiento de la Minería Responsable participan múltiples actores, como el sector privado, las comunidades locales, la sociedad civil y los trabajadores (ARM, 2024). Las empresas mineras recurren a este tipo de certificaciones para realizar auditorías sociales y medioambientales de sus operaciones. Sin embargo, al ser de carácter voluntario, se enfrentan a problemas de conflicto de intereses, ya que estas auditorías son pagadas por las mismas empresas mineras que las solicitan, y al temor de que no se tome en cuenta a todas las comunidades, siendo bastante controvertidas entre la sociedad civil chilena.

Adicionalmente, los impactos y beneficios de esta cadena de valor no se distribuyen de forma equitativa entre los actores internacionales. Esto quiere decir, que mientras los países desarrollados que tienen la tecnología van a recibir más beneficios entorno a la transición energética, los países en desarrollo y mineros tendrán que enfrentarse a los obstáculos socioambientales de esta actividad. En este sentido, los beneficios y los impactos de esta industria son desiguales desde un panorama social e internacional.

En conclusión, es de esperarse que, en los próximos años, con la creciente demanda de VE en China, Europa y Estados Unidos, la demanda de litio para este sector continúe creciendo. También es importante considerar que la cadena de valor de las baterías de iones de litio está cada vez más interconectada a nivel global, con actores de múltiples países participando en diferentes etapas del proceso. Como se mostró, la mayoría de los países no participan en todos los eslabones de la cadena de valor de este mineral, sino que necesitan de otros países y del comercio internacional para recibir beneficios. Hay países que se dedican únicamente a la extracción y producción de litio, mientras que otros tienen la tecnología para procesarlo y manufacturar baterías, las cuales se utilizan sobre todo para los VE. Por ejemplo, China, que no es poseedor de grandes reservas de litio, domina los procesos de refinación de litio, lo que subraya la importancia de asegurar cadenas de suministro diversificadas y resilientes para evitar interrupciones y asegurar el acceso continuo a los materiales esenciales. Esto implica que las decisiones y políticas adoptadas en un país pueden tener repercusiones significativas



en otros, tanto en términos de suministro de materiales críticos como de competitividad en el mercado global de baterías (Weimer et al., 2019). En el siguiente capítulo se ahondará en la situación actual de la industria del litio en México, y dónde pudiera estar su participación en la cadena de valor de este mineral.

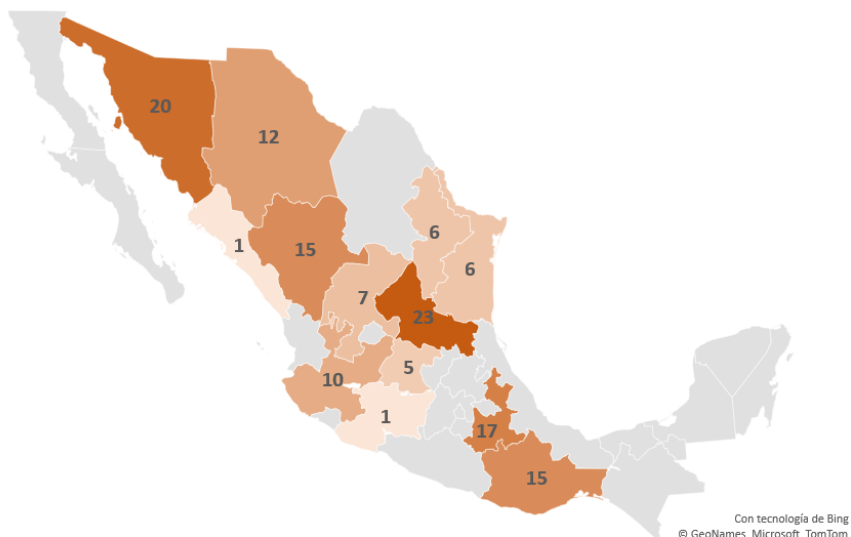
3- El litio y México

De acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano (SGM), actualmente en México no hay yacimientos⁵ de litio en explotación. A pesar de que se han llevado a cabo trabajos de exploración, no hay información suficiente para saber la cantidad de litio en el país y aún no se han identificado las reservas de litio económicamente viables para su explotación (Mining México, 2023). Aunque desde hace años se conoce la existencia de litio en México, no se ha intentado desarrollar proyectos para el aprovechamiento de este recurso debido principalmente a las limitaciones técnicas-económicas de las posibles manifestaciones de litio presentes en el territorio nacional (SEMARNAT, 2022b). Sin embargo, el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) reportó que México está entre los 10 países con mayores recursos de litio, al acumular cerca de 1.7 millones de toneladas de recurso de este material (USGS, 2024).

En 2021 se identificaron 82 ubicaciones con potencial de contar con este recurso. Restando las zonas que son áreas naturales protegidas y otras que se encuentran asignadas a otras operaciones mineras y áreas con un potencial de perjudicar a comunidades por lo que quedan en total 82 áreas en el país (Sánchez Mancera & Pérez Garibay, 2023). En 2021 comenzaron trabajos de exploración por parte del SGM en la que sumaron 57 sitios extras a los anteriormente establecidos dando para el año 2022 un total de 139 localidades prospectivas con potencial de reservas de litio (SEMARNAT, 2022c), en la siguiente Figura 5 se muestra la distribución por estado de estos puntos con potencial de contar con reservas de litio.

⁵ Yacimiento. Parte de la corteza terrestre, que, debido a procesos geológicos, ha habido acumulación de uno o varios minerales (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

Figura 5. Estados de la República Mexicana con potencial de contar reservas de litio.



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT, (2022c).

Con la información del SGM las manifestaciones de litio se expanden por una parte importante del territorio de la nación mexicana en 14 entidades. San Luis Potosí, Sonora, Puebla y Durango son los cuatro estados con más localidades donde se han encontrado manifestaciones de litio.

Uno de los yacimientos más conocidos a nivel mundial está localizado en Sonora, y es el yacimiento de litio Bacadéhuachi, principalmente contenido en arcillas enriquecidas (Roldán Xopa, 2023), de acuerdo a las empresas relacionadas en el proyecto de este yacimiento (Gangfeng Lithium y Bacanora Lithium) las reservas probables⁶ de este yacimiento se estiman en 43 millones de toneladas (Mining México, 2023) valor que falta por confirmar y que podría ser menor al anunciado en 2018 (Azmar, 2022), (Secretaría de Economía, 2018; CINESTAV, 2023; Ej Atlas, 2023), el proyecto minero en este yacimiento "Sonora Lithium" se estimó en primera instancia que podrían alcanzar hasta una producción 35,000 toneladas anuales (Secretaría de Economía, 2018).

Actualmente, existen dos tipos de reservas de las que se extrae el litio, la principal es a través de salmuera y la otra es a través de yacimientos de rocas sedimentarias. Para el caso de depósitos de arcillas, en el mundo aún no existen proyectos de extracción de litio por lo que se encuentran en desarrollo proyectos y estudios para encontrar la factibilidad técnica y económica de procesos de extracción en reservas de arcilla. En Nevada, Estados Unidos, también cuentan con reservas del tipo arcillas, aunque tampoco se encuentran en etapa de producción, actualmente se están construyendo dos proyectos (CEPAL, 2023), además

⁶ Las reservas mineras son aquellos recursos identificados con probabilidad de viabilidad económica de ser extraídos (Morlands Escalante, 2018).

recientemente la empresa canadiense Advance Lithium ha propuesto un proceso propio para extraer litio de arcilla (Duran, 2024). Debido a estos avances, la academia en México ha expresado la necesidad de desarrollar tecnologías propias y competitivas para la extracción de litio (UNAM, 2024).

A diferencia de otros países de Latinoamérica, México se encuentra en una etapa temprana con respecto al desarrollo de las políticas públicas y la discusión interna sobre la explotación del litio. No obstante, los recientes descubrimientos de reservas de litio en Sonora han llamado la atención de diferentes sectores de la sociedad, lo que ha impulsado el debate público sobre riesgos, dilemas y oportunidades que puede traer la explotación de litio en México (Roldán Xopa, 2023).

Durante el sexenio del presidente Andrés Manuel López Obrador (2018 – 2024), se llevaron a cabo reformas a la Ley Minera, que establecen nuevas reglas en materia de litio y su cadena de valor. En ellas se establece que el litio es patrimonio nacional y que sus cadenas de valor económico serán administradas y controladas por el Estado; esto quiere decir, que se establece una nueva forma de intervención del Estado en el litio como actividad minera. Mientras tanto, en la industria se modifican las reglas en la actividad minera relacionada con el litio, así como las condiciones del mercado, lo que transforma las relaciones entre las autoridades competentes y los agentes económicos al regular, gestionar y vigilar la actividad minera relacionada con el litio (Roldán Xopa, 2023). Por lo tanto, las reformas legislativas que se han llevado a cabo con relación al litio han generado incertidumbre jurídica sobre la política y estrategia del Estado mexicano, sobre todo, en torno al alcance y naturaleza de la nueva empresa minera estatal: Litio para México (LitioMx).

Según el gobierno mexicano, LitioMx es un organismo público descentralizado de la Administración Pública Federal con el objetivo de realizar la exploración, explotación, beneficio y aprovechamiento del litio en el país, así como la administración y control de las cadenas de valor económico del mineral (SENER, s.f.). Esto quiere decir, que Lito Mx está a cargo de todas las actividades enfocadas al litio como recurso natural, al igual que las actividades de la cadena de valor del litio. Estas funciones son reguladas principalmente por la Ley Minera, el Decreto de Creación y la Ley Federal de la Administración Paraestatal (Roldán Xopa, 2023).

Sin embargo, quedan dudas sobre el papel que tendrá LitioMx en la cadena de valor de litio. Esta cadena podría comprender desde la exploración de reservas, hasta la comercialización con el consumidor final de productos que empleen el litio, como las baterías de vehículos eléctricos. No obstante, la cadena de valor de litio considera una amplia gama de actividades económicas, por lo que la integración de LitioMx en todas ellas podría afectar a otras empresas privadas y a los mercados. Actualmente, la Ley Minera puede interpretarse en el sentido, que solamente podría ser realizada la cadena de valor por LitioMx, y no por otro tipo de agentes económicos. En el mercado de baterías para vehículos eléctricos, esto podría imposibilitar que se establecieran empresas productoras de baterías de litio en México, incluso utilizando litio importado. Si se considera que esta actividad se incluye en las cadenas de valor reservadas a LitioMx, existe el riesgo de que no se les otorgue a las demás empresas

las autorizaciones administrativas para operar en México, lo que impactaría la economía del país. Esto se debe considerar en el análisis, debido a que la industria automotriz es muy importante para la economía de México (Roldán Xopa, 2023), por ejemplo, en las inversiones que recibe el sector automotriz en temas de electromovilidad planeadas para los siguientes años.

De hecho, la industria automotriz contribuye con el 18% del PIB manufacturero y el 3.6% del PIB nacional; México está posicionado como el 5° exportador de vehículos ligeros en el mundo, el 7° fabricante de vehículos en el mundo y el 1° en América Latina (AMIA, 2022).

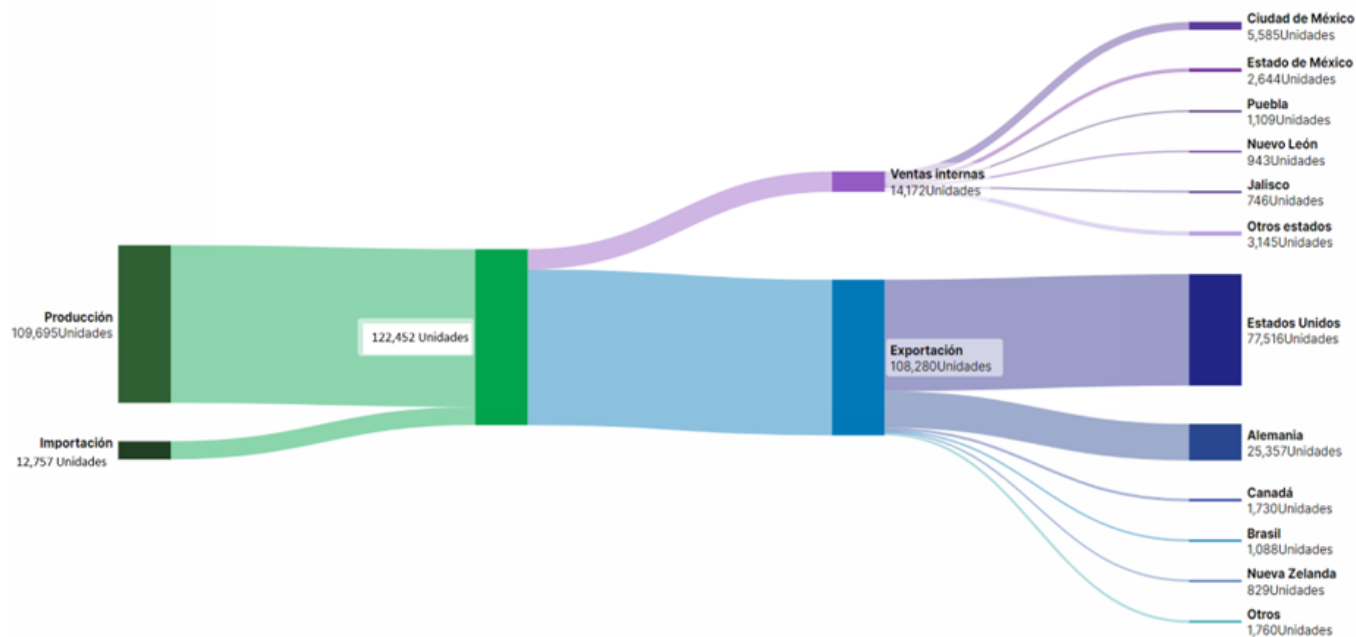
El gobierno se ha comprometido en lograr una descarbonización hacia 2050 (SRE, 2022). Por lo que todos los sectores, entre ellos el sector transporte junto con la industria automotriz tienen un papel importante en la reducción de las emisiones y alcanzar la neutralidad de carbono. Además, siguiendo con la transición a la que diferentes países se han comprometido mediante el desarrollo de un transporte sostenible y el impulso de la electromovilidad, se han desarrollado políticas como la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica (ENME) para el desarrollo de tecnologías y proyectos bajo en carbono y posicionar a nivel nacional la movilidad eléctrica (SEMARNAT, 2022a).

México ha comenzado una transición en la industria automotriz. En el año 2020 comenzó la fabricación de vehículos ligeros 100% eléctricos, alcanzando en 2023 una producción de 109,695 vehículos ligeros eléctricos (INEGI, 2024), lo que representó un incremento de 38% respecto al año anterior y se espera que para 2024 se logre una producción de 214,040 de VE (Directorio Automotriz, 2024).

Los VE que se ensamblaron en 2023 representaron cerca del 3% del total de producción de vehículos ligeros en el país, de acuerdo con información de la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz A.C. (AMIA). Los estados dónde se producen los vehículos eléctricos ligeros son Estado de México, Coahuila e Hidalgo (AMIA, 2024b).

Los mercados externos tienen una gran influencia en la producción de vehículos eléctricos ligeros en México, en 2021 cerca del 91% de la producción de vehículos ligeros se dirigió para exportación (AMIA, 2024a). Como se ilustra en la siguiente Figura 6, en 2023 se produjeron 109,695 unidades y se exportaron 108,280 que representa cerca de un 98.7%.

Figura 6. Mercado interno de vehículos eléctricos ligeros en México durante 2023.

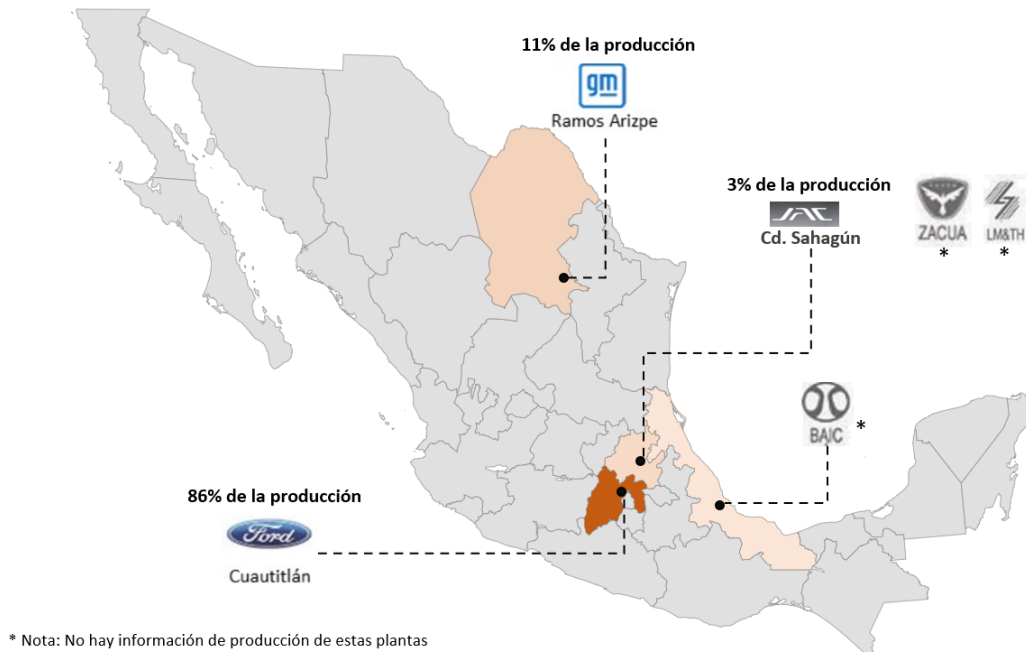


Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, (2024), AMIA, (2024a) y Directorio Automotriz, (2024).

El 12% de los VE ligeros en México fueron dirigidos hacia las ventas internas concentrándose principalmente en Ciudad de México 39%, Estado de México 19%, Puebla 8%, Nuevo León 7% y Jalisco 5%, que, en conjunto, estos cinco estados concentran el 78% de las ventas totales. El 88% restante de vehículos eléctricos fueron destinados a las exportaciones siendo Estados Unidos el principal país receptor (72% de las exportaciones).

De acuerdo con datos reportados por la AMIA, en México, los estados con más participación en la producción de VE son: el Estado de México (86% de la producción), seguido de Coahuila en su planta de Ramos Arizpe (11% de la producción nacional) e Hidalgo con su planta en Ciudad Sahagún (3%).

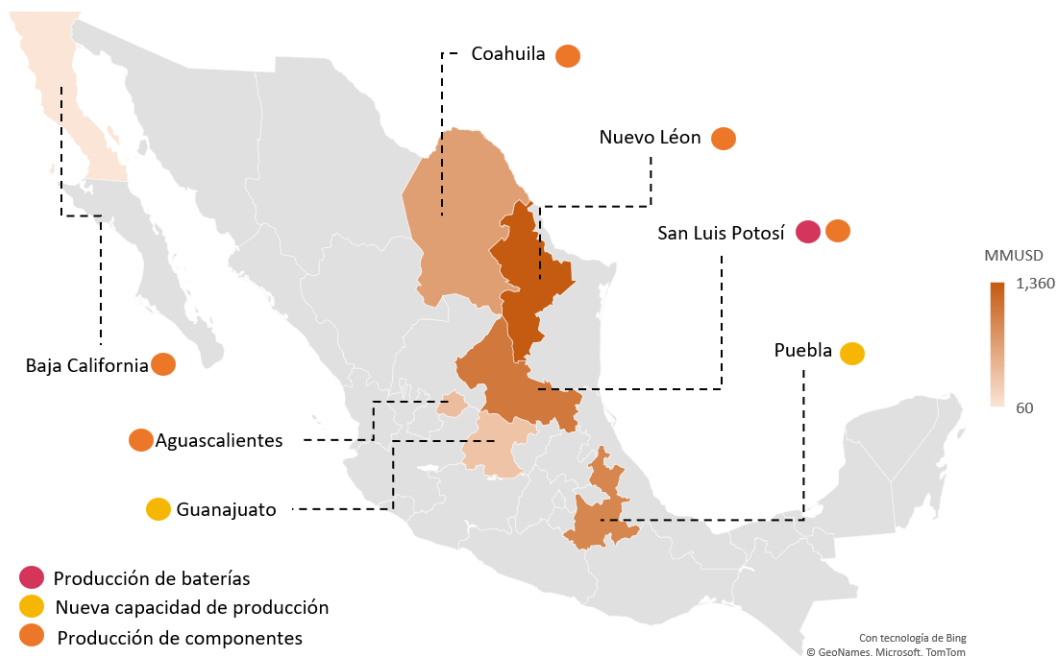
Figura 7. Producción de vehículos eléctricos en México durante 2023.



Fuente: Elaboración propia con información de AMIA, (2024b) y CONUEE & SENER, (2023).

Con la finalidad de seguir con la tendencia y la creciente demanda de vehículos para el desarrollo de la electromovilidad, la industria automotriz nacional ha planteado inversiones para llevar a cabo la transición hacia la producción de vehículos eléctricos y cubrir la futura demanda, estas inversiones clasificadas se muestran en la siguiente Figura 8.

Figura 8. Inversiones en electromovilidad en 2023.



Fuente: Elaboración propia con información del Directorio Automotriz, (2024).

Los tres estados con más inversiones en temas de electromovilidad son Nuevo León, San Luis Potosí y Puebla con el 24%, 19% y 17% respectivamente de las inversiones relacionadas a la electromovilidad (Directorio Automotriz, 2024).

Lo anterior destaca la importancia de la localización de las inversiones por estado, ya que nos indica las zonas donde los inversionistas han encontrado condiciones favorables para el desarrollo de la cadena de valor para la electromovilidad o como punto estratégico para la producción o empleo de las baterías de litio en el sector automotriz en México. En este sentido, de acuerdo con NRGi (2023), la región norte del país es aquella donde se presenta la más alta capacidad de manufactura orientada al comercio exterior; esta capacidad representa una ventaja competitiva si el objetivo es desarrollar un mercado de productos de litio en la región de Norteamérica. Por su parte la región centro tienen una clara vocación hacia la producción de automóviles y sus autopartes, sectores que son determinantes en el nivel de demanda que tendrá el litio en un futuro. Mientras que, de manera más específica, los estados de Chihuahua, Baja California, Nuevo León, Jalisco, Tamaulipas y Sonora cuentan con gran potencial para desarrollar industrias afines tecnológicamente con los productos intermedios y finales necesarios para desarrollar sectores enfocados en el midstream y upstream del litio.

En resumen, a pesar de que México cuenta con grandes potenciales recursos de litio, actualmente no cuenta con operaciones de extracción de este metal. Principalmente, ya que estos recursos se encuentran en forma de arcillas y su extracción resulta aún inviable tanto técnica como económicamente. Que, sumado a la situación política actual, enfocada en

reservar el aprovechamiento del litio como recurso estratégico para el Estado, genera incertidumbre al momento de pensar en futuras inversiones para desarrollar una industria de litio en el país, contemplando todos los eslabones de su cadena de valor. No obstante, a pesar de todo lo anterior, con base en el presente análisis, se considera que México aún cuenta con la posibilidad de desarrollar otros eslabones de la cadena de valor, que pueden generar un mayor valor agregado y mayores beneficios. Para esto, se deben aprovechar las oportunidades que ofrece el impulso actual que genera el mercado de los vehículos eléctricos y desarrollar un mercado enfocado en la fabricación de baterías de iones de litio que sea sostenible, justo e inclusivo. En el desarrollo de esta cadena deben cobrar relevancia los nuevos modelos económicos, de gobernanza y de participación ciudadana, así como la generación de conocimientos y las tecnologías que permitan acelerar la transición energética.

En el siguiente capítulo, se presentan los resultados del análisis realizado con respecto a los potenciales beneficios que pueden generarse a partir del desarrollo de una cadena de valor de baterías de litio en México.

4- Beneficios del desarrollo de una cadena de valor de baterías basadas en litio en México

Como parte del presente diagnóstico se realizó un análisis sobre los potenciales beneficios económicos (valor agregado), sociales (generación de empleo) y ambientales (emisiones GEI evitadas) que pueden generarse con el desarrollo de la cadena de valor de baterías basadas en litio en México. Dicho análisis se basa en dos escenarios de demanda de vehículos eléctricos ligeros en México como impulsores de la oferta para la cadena de valor de baterías basadas en litio, los cuales se enlistan a continuación:

1. **Escenario NDC:** Este escenario considera las ventas internas de vehículos eléctricos ligeros necesarias para que el sector transporte en México alcance los compromisos establecidos en sus Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC) hacia 2030.
2. **Escenario NDC+EUA:** Este escenario considera, además de lo planteado en el Escenario NDC, la cantidad de vehículos eléctricos ligeros, de producción nacional, que son demandados por el mercado de los Estados Unidos.

La estimación de los beneficios sociales y económicos asociados a cada uno de los escenarios se determinó mediante la evaluación de su impacto en el valor agregado y el empleo. Primero, de manera directa, considerando el impacto directo en la cadena de valor. Y segundo, de manera indirecta, a través de un análisis insumo-producto basado en la información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), incluyendo aquellas industrias esenciales que pueden tener una relación directa con la cadena de valor de baterías basadas en litio (Ver Anexo I. Metodología). Si bien, tanto los beneficios sociales como ambientales pueden evaluarse a un nivel más profundo, como por ejemplo a nivel de desarrollo comunitario y de mejor aprovechamiento de recursos, como el agua. Este análisis es desarrollado como un primer diagnóstico inicial, y la metodología utilizada no considera este tipo de beneficios, al requerir de información más específica, y con la que no se cuenta actualmente. No obstante, se busca que este primer diagnóstico de pie a la elaboración de otros estudios, que amplíen los resultados presentados en este análisis.

Además de lo anterior, como parte de un estudio realizado de acuerdo con un estudio realizado para NREGI en 2023 (NREGI, 2023), se identificaron las capacidades productivas de varios estados del país afines a la cadena de valor de baterías de iones de litio. Como parte de los resultados de este estudio, se identificó que los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y Puebla cuentan con amplias capacidades para el desarrollo de una cadena de valor enfocada a las baterías de litio, dada su clara vocación hacia la producción de automóviles y sus autopartes los cuáles son determinantes en el nivel de demanda que tendrá el litio en un futuro. Tomando en cuenta esta información, los resultados sobre beneficios socioeconómicos generados en el presente análisis, fueron distribuidos entre estos Estados, en función de la participación de la industria automotriz como parte del PIB estatal. Lo anterior, con el objetivo de comparar el impacto, en términos de generación de beneficios, que el

desarrollo de la cadena de valor de baterías de litio puede generar en cada uno de los Estados analizados.

Finalmente, la estimación de los beneficios ambientales se determinó a través de las emisiones totales de GEI evitadas por la sustitución de vehículos ligeros de combustión interna por vehículos ligeros eléctricos a lo largo de los escenarios.

Así mismo, para la estimación de beneficios, se consideraron diversos parámetros técnico-económicos asociados a la cadena de valor de baterías basada en litio, los cuales se muestran en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros técnico-económicos asociados a la cadena de valor de baterías basada en litio.

Parámetro	Valor
Capacidad promedio de batería	77 kWh
Cantidad promedio de Litio por batería	12.86 kg
Cantidad promedio de Litio por kWh	0.167 kg
Cantidad promedio de componentes en una batería (Li, Ni, Co, Cu, Grafito, Al)	0.238 ton
CAPEX promedio para la parte Upstream	24,796 USD/ton
CAPEX promedio para la parte Midstream	9,357 USD/ton
CAPEX promedio para la parte Downstream	8,200 USD/batería
Empleos directos promedio generados en la parte Upstream por batería	7.7x10 ⁻⁵ empleos
Empleos directos promedio generados en la parte Midstream por batería	0.001 empleos
Empleos directos promedio generados en la parte Downstream por batería	0.01 empleos

Fuentes: (ATIC, 2018; EDF, 2023; ELEMENTS, 2022; Umicore, 2023).

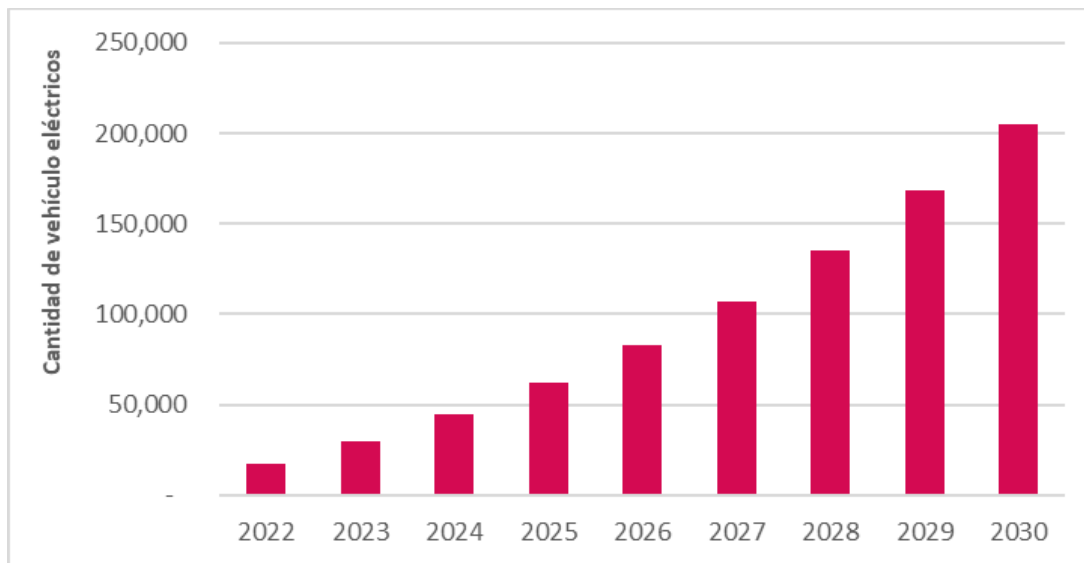
A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios propuestos.

a) Escenario NDC

En el contexto de aumentar la ambición de la NDC y cumplir con las metas de reducción de GEI, ICM analizó varias medidas en el sector transporte con un alto potencial de reducir gases de efecto invernadero, una de las medidas es la adopción de vehículos eléctricos basándose en compromisos internacionales y neutralidad climática. En este sentido, el presente escenario

plantea que hacia 2030, las ventas internas de vehículos eléctricos ligeros deban alcanzar las 204,713 unidades (ICM, 2022), como se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Evolución de las ventas de vehículos eléctricos en México para el Escenario NDC.



Fuente: Elaboración propia con base en ICM, (2022).

Asumiendo que deben de producirse un número igual de baterías, se deben explotar y refinar un total de 10,166 toneladas de litio, equivalentes al 0.6% de las reservas estimadas de mineral de litio con las que se estima que cuenta el país. Para lo cual se estima una inversión total (CAPEX) a lo largo de la cadena de valor superior a los 18,500 millones de dólares para todo el escenario 2025-2030. A partir de los cuales se pueden generar más de 17,800 empleos directos y alrededor de 137,400 empleos indirectos. En cuanto al valor agregado, la cantidad total de baterías producidas en este escenario representa un valor agregado directo de 1,550 millones de dólares y un valor agregado indirecto superior a 3,200 millones de dólares.

La evolución del presente escenario puede observarse en la siguiente Tabla 3.

Tabla 3. Evolución de los beneficios socioeconómicos asociados al escenario NDC.

Año	CAPEX (USD)	Empleos directos (#)	Empleos indirectos (#)	Valor Agregado directo (USD)	Valor Agregado Indirecto (USD)
Parte Upstream					
2025	19,797,603	4,983	181	150,526,767	19,369,868
2026	6,701,453	1,687	61	50,953,039	6,556,666
2027	7,536,485	1,897	69	57,302,022	7,373,656
2028	9,082,795	2,286	83	69,059,057	8,886,558

Año	CAPEX (USD)	Empleos directos (#)	Empleos indirectos (#)	Valor Agregado directo (USD)	Valor Agregado Indirecto (USD)
2029	10,543,702	2,654	96	80,166,745	10,315,902
2030	11,611,016	2,922	106	88,281,834	11,360,156

Parte Midstream

2025	138,272,997	83	3,001	117,599,037	71,372,581
2026	46,805,160	28	1,016	39,807,062	24,159,490
2027	52,637,299	32	1,142	44,767,205	27,169,874
2028	63,437,241	38	1,377	53,952,388	32,744,496
2029	73,640,697	44	1,598	62,630,270	38,011,230
2030	81,095,170	49	1,760	68,970,183	41,859,016

Parte Downstream

2025	509,178,307	355	38,494	202,270,343	883,919,840
2026	172,355,939	120	13,030	68,468,147	299,205,273
2027	193,832,282	135	14,654	76,999,593	336,487,626
2028	233,602,132	163	17,661	92,798,108	405,527,015
2029	271,175,475	189	20,501	107,724,064	470,753,328
2030	298,625,923	208	22,576	118,628,714	518,406,567

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados referentes a la distribución de los beneficios (Ver Anexo I. Metodología), dada la participación de la industria automotriz en los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y Puebla en el PIB estatal, se muestran en la siguiente Tabla 4.

Tabla 4. Distribución por estado propuesto del total de los beneficios socioeconómicos asociados al escenario NDC para el periodo 2025-2030.

Estado	Empleos directos (#)	Empleos indirectos (#)	Valor Agregado directo (USD)	Valor Agregado Indirecto (USD)
Aguascalientes	4,884	37,547	423,796,293	878,107,245
Guanajuato	6,198	47,653	537,854,802	1,114,436,834
Puebla	6,547	50,334	568,116,060	1,177,138,255
Querétaro	244	1,873	21,137,423	43,796,807

Fuente: Elaboración propia.

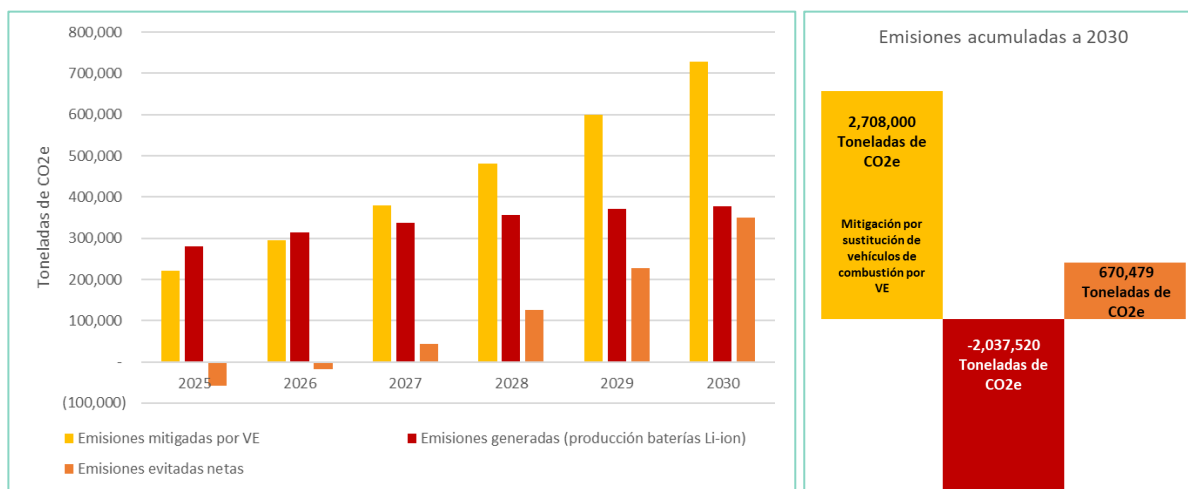
Como se puede observar en la Tabla anterior, los estados con la mayor generación de beneficios son Guanajuato y Puebla, al tener su industria automotriz una participación sobre

el PIB estatal del 34.7% y 36.6% respectivamente. Seguidos de Aguascalientes, con una participación del 27.3%. Y finalmente Querétaro, que al tener una participación del 1.4%, genera la menor cantidad de beneficios.

En relación con el beneficio ambiental asociado, la sustitución de vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos tiene repercusiones directas en la generación de emisiones a la atmósfera, ya que los vehículos eléctricos no utilizan combustible fósil para su funcionamiento. En este sentido se estimó que dicha sustitución tiene un potencial de mitigar 729,374 toneladas de CO₂e en 2030, con un acumulado de reducción de emisiones de 2.7 millones de toneladas de CO₂e para el periodo (2025-2030) (Ver Anexo I. Metodología). Así mismo, es importante considerar también que la producción de baterías de litio genera una huella de carbono a lo largo de sus procesos de manufactura. De acuerdo con McKinsey & Company, durante la manufactura de las baterías de litio, se producen en promedio 70 kg de CO₂e por cada kWh de capacidad de la batería. No obstante, se estima que este valor disminuya a 12 kg de CO₂e hacia 2030 (McKinsey & Company, 2023). A partir de estos datos se estimó que hacia 2030, la producción de baterías de litio en este escenario generaría un acumulado de alrededor de 2 millones de toneladas de CO₂e. Alcanzando un potencial neto de mitigación para este escenario de 670,479 toneladas de CO₂e.

La siguiente Figura 10 muestra la evolución anual de las emisiones evitadas para el periodo 2025-2030, según lo planteado para este escenario.

Figura 10. Evolución de las emisiones evitadas anuales para el Escenario NDC.



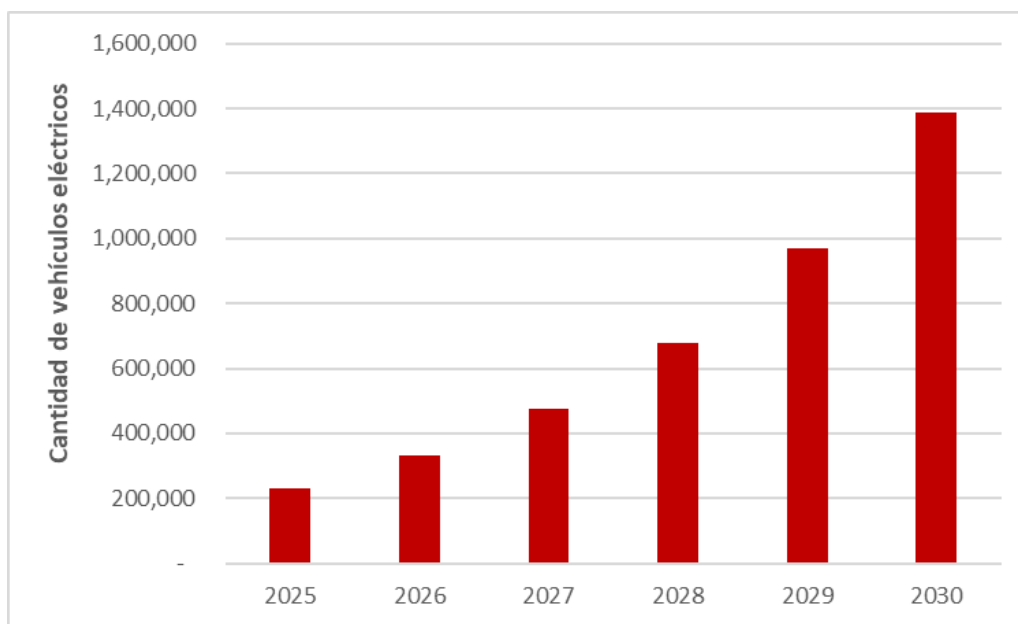
Fuente: Elaboración propia con información de ICM, (2022) y McKinsey & Company, (2023).

b) Escenario NDC+EUA

A diferencia del primer escenario, el presente escenario plantea cubrir la cantidad de vehículos eléctricos ligeros que son demandados por el mercado de los Estados Unidos, además de las ventas de estos vehículos que deben darse a nivel nacional. Considerando lo anterior, se estima para este escenario que las ventas totales de vehículos eléctricos ligeros deben alcanzar 1,386,426 unidades (ICM, 2022), como se muestra en la Figura 11.

En línea con lo anterior, para el desarrollo de este escenario, es necesaria la explotación y refinación de un total de 54,450 toneladas de litio, equivalentes al 3.2% de las reservas estimadas de mineral de litio con las que cuenta el país. Para lo cual se estima una inversión total (CAPEX) a lo largo de la cadena de valor superior a los 125,800 millones de dólares para todo el escenario 2025-2030. A partir de los cuales se pueden generar más de 121,000 empleos directos y alrededor de 930,596 indirectos. En cuanto al valor agregado, la cantidad total de baterías producidas en este escenario representa un valor agregado directo mayor a los 10,500 millones de dólares y un valor agregado indirecto superior a 21,700 millones de dólares.

Figura 11. Evolución de las ventas de vehículos eléctricos en México para el Escenario NDC+EUA.



Fuente: Elaboración propia con base en ICM, (2022).

La evolución de dichos beneficios a lo largo del escenario puede observarse en la siguiente Tabla 5.

Tabla 5. Evolución de los beneficios socioeconómicos asociados al escenario NDC.

Año	CAPEX (USD)	Empleos directos (#)	Empleos indirectos (#)	Valor Agregado directo (USD)	Valor Agregado Indirecto (USD)
Parte Upstream					
2025	73,640,235	18,532	672	559,907,500	72,049,210
2026	32,319,760	8,133	295	245,736,262	31,621,479
2027	45,343,974	11,411	414	344,763,040	44,364,301
2028	64,879,076	16,327	592	493,293,935	63,477,339
2029	92,887,836	23,376	848	706,252,443	90,880,959
2030	132,993,642	33,468	1214	1,011,188,218	130,120,265
Parte Midstream					
2025	514,327,715	309	11,163	437,427,734	265,481,310
2026	225,731,875	135	4,899	191,981,455	116,516,362
2027	316,697,288	190	6,874	269,346,125	163,470,116
2028	453,136,889	272	9,835	385,385,887	233,896,350
2029	648,759,313	389	14,081	551,759,721	334,871,071
2030	928,871,511	557	20,160	789,990,796	479,457,006
Parte Downstream					
2025	1,893,967,157	1,319	143,186	752,375,703	3,287,876,021
2026	831,238,034	579	62,842	330,208,102	1,443,006,859
2027	1,166,210,267	812	88,167	463,275,335	2,024,509,643
2028	1,668,637,253	1,162	126,151	662,863,725	2,896,709,371
2029	2,388,999,849	1,664	180,611	949,026,721	4,147,239,455
2030	3,420,488,699	2,382	258,592	1,358,784,169	5,937,876,343

Fuente: Elaboración propia.

Similar a lo que se realizó para el primer escenario, se estimaron los resultados referentes a la distribución de los beneficios, dada la participación de la industria automotriz en los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y Puebla en el PIB estatal, los cuales se muestran en la siguiente Tabla 6.

Tabla 6. Distribución por estado propuesto del total de los beneficios socioeconómicos asociados al escenario NDC+EUA para el periodo 2025-2030.

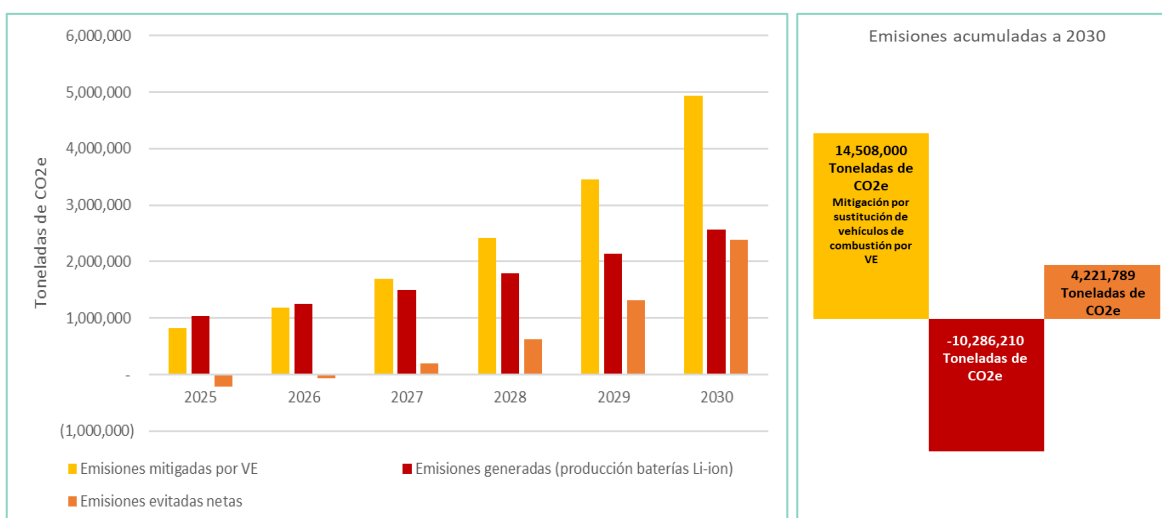
Estado	Empleos directos (#)	Empleos indirectos (#)	Valor Agregado directo (USD)	Valor Agregado Indirecto (USD)
Aguascalientes	33,069	254,292	2,870,178,321	5,947,018,472
Guanajuato	41,969	322,731	3,642,644,403	7,547,570,615
Puebla	44,331	340,889	3,847,590,053	7,972,218,643
Querétaro	1,649	12,683	143,154,094	296,615,731

Fuente: Elaboración propia.

Al mantenerse la participación de la industria automotriz sobre el PIB estatal, al igual que el escenario anterior, los estados con la mayor generación de beneficios son Guanajuato y Puebla. Seguidos por los estados de Aguascalientes y Querétaro.

En cuanto al potencial de mitigación para el presente escenario, en términos globales, se logra un abatimiento de emisiones de 4.9 millones de toneladas de CO₂e en 2030 y un acumulado de 14.5 millones de toneladas de CO₂e durante el periodo 2025-2030. Alcanzando un potencial neto de mitigación para este escenario de 4.2 toneladas de CO₂e, ya que la producción de baterías de litio generaría alrededor de 10.3 millones de toneladas de CO₂e. En la siguiente Figura 12 se ilustra la evolución de las emisiones evitadas y netas anuales para este escenario.

Figura 12. Evolución de las emisiones evitadas anuales para el Escenario NDC+EUA.



Fuente: Elaboración propia con información de ICM, (2022) y McKinsey & Company, (2023).

Sin embargo, en el presente análisis se considera que la producción de dichas baterías se realiza en México. Tomando en cuenta que, de acuerdo con las tendencias actuales, el 85% de los vehículos eléctricos producidos en el país serían exportados hacia los EUA, esto nos indica que en México solo se mitigaría el 15% de las emisiones evitadas estimadas por la sustitución de vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos. Dando como resultado un balance negativo de 7.6 millones de toneladas de CO₂e para el país, en términos de emisiones evitadas, indicando que en este escenario se generarían más emisiones que las que se pueden mitigar derivado de la manufactura nacional de baterías de litio.

No obstante, es importante resaltar que las estimaciones parten de datos promedio a nivel mundial, y donde las decisiones de abastecimiento, tanto de materiales como de la energía utilizada, tienen un gran impacto en las emisiones, dependiendo de si en los procesos de producción se utilizan energías renovables o combustibles fósiles como el gas natural. Los productores que utilizan electricidad renovable ya tienen una huella de carbono significativamente menor en su producción de baterías que los que utilizan combustibles fósiles. Por ejemplo, Suecia tiene una intensidad de emisiones de 45 kg CO₂e/kWh frente a los 108 kg CO₂e/kWh de China (McKinsey & Company, 2023). Lo que enfatiza la importancia de descarbonizar las fuentes de energía de los procesos productivos, en orden de crear procesos más sustentables.

En resumen, el análisis de beneficios potenciales tras el desarrollo de una cadena de valor de batería de litio en México se realizó con la construcción de dos escenarios prospectivos basados en diferentes crecimientos de la producción de VE ligeros en México hacia el año 2030; con una demanda proporcional de baterías de litio a la producción de VE.

Para el escenario NDC se estimó una producción de 204,713 unidades hacia 2030. A través de los cuales se pueden generar potenciales beneficios económicos, en términos de valor agregado, de hasta 4,750 millones de dólares. Con un beneficio social, en términos de generación de empleo, de hasta 155,200 empleos generados. En términos de mitigación de emisiones, el beneficio ambiental se estimó en una reducción neta de emisiones de 670,479 toneladas de CO₂e.

Mientras que para el escenario más ambicioso NDC+EUA se estima una producción de casi 1.4 millones de unidades, veinte veces más que lo estimado para el escenario de NDC, hacia 2030. Con potenciales beneficios económicos de 32,200 millones de dólares y una generación de empleos de 1,051,596 empleos. Con un beneficio ambiental neto de 4.2 millones de toneladas de CO₂e mitigadas.

Los estados de Guanajuato y Puebla, en ambos escenarios, logran alcanzar mayores beneficios, al tener su industria automotriz una mayor participación sobre el PIB estatal que otros estados considerados.

Finalmente, en orden de poder alcanzar los beneficios antes mencionados, es necesario analizar los retos y oportunidades con los que cuenta el país, así como las posibles políticas públicas que puedan impulsar el desarrollo de esta cadena de valor en México.

5- Retos y oportunidades para el desarrollo de una cadena de valor de baterías basadas en litio en México

Con base en el análisis anterior, a continuación, se exponen los retos y oportunidades que podría tener México en el desarrollo de una cadena de valor de baterías de iones de litio.

Desde una perspectiva internacional, se reconoce que es difícil que México pueda desarrollar la cadena de valor completa; sin embargo, es un país que cuenta tanto con recursos naturales como un sector automotriz desarrollado, al igual que un mercado grande para vehículos eléctricos por su cercanía con Estados Unidos. Estos factores son importantes para exponer los siguientes retos y oportunidades:

Tabla 7. Retos y oportunidades para el desarrollo de una cadena de valor de batería de litio en México.

Retos	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación ambiental y estrés hídrico • Conflictos socioambientales y afectaciones a comunidades locales • Malas condiciones de trabajo/ violaciones de derechos humanos y trabajo infantil • Inseguridad por crimen organizado • Mala gobernanza de recursos naturales • Lagunas regulatorias a partir de reforma Ley Minera 2022 • Alcances de LitoMX • Desarrollo de una Política Industrial que impulse sector mid y downstream • Desarrollo de una cadena sostenible 	<ul style="list-style-type: none"> • Legislación clara sobre la explotación de minas públicas • Soberanía en la producción de VE • Aprovechar el mercado de EE. UU. • T-MEC e IRA • Fortalecer la seguridad transnacional • Condiciones políticas actuales favorables • Impulso económico regional • Políticas industriales para el cambio estructural • Políticas nacionales para impulsar electromovilidad • Mitigación de GEI e impulso a la transición energética

En el sector upstream de la cadena, México se enfrentaría a los retos más comunes de la minería. Uno de ellos es la contaminación ambiental, tanto de suelo como de agua, especialmente si se considera la explotación a cielo abierto. Este tipo de minería, aunque efectiva para extraer grandes volúmenes de litio, puede tener impactos significativos en el

medio ambiente, incluyendo la alteración de ecosistemas y la contaminación de aguas subterráneas.

Además, la extracción de litio requiere aproximadamente 2.2 millones de litros de agua por tonelada de litio (Ellerbeck, 2023), lo que podría causar graves problemas en zonas con estrés hídrico, sobre todo en el norte del país donde se ha identificado el mineral. La perforación y la excavación suelen tener impactos directos sobre los acuíferos, así como la desecación (cuando se bombean las entradas de agua subterránea para mantener el acceso a las minas), que puede provocar un descenso del nivel del agua o incluso contaminar los acuíferos adyacentes. También pueden producirse impactos indirectos, como la producción del drenaje ácido de minas, que se produce durante la explotación minera. De igual manera, las balsas de estériles, utilizadas habitualmente para almacenar residuos mineros, suponen un riesgo de contaminación de agua, incluidas las subterráneas cercanas (IEA, 2022). Por último, los recursos hídricos de una región pueden no ser suficientes para satisfacer las necesidades tanto de la industria, como de la población, lo que podría ocasionar conflictos socioambientales.

Estos obstáculos son sólo algunos a los que se enfrenta el sector minero; sin embargo, se debe considerar que la industria de litio en México podría enfrentar otros problemas, tales como: deforestación, pérdida de hábitats silvestres y biodiversidad, contaminación ambiental por el transporte, erosión del suelo y la degradación de las zonas circundantes (Oxfam Australia, s.f.).

Además, como en otros procesos mineros, la extracción de litio requiere mano de obra para los aspectos más dañinos y breves del trabajo minero, tales como: la apertura de la mina, la extracción de los desechos y el transporte de materias primas. Normalmente, estas actividades son realizadas por la población de las comunidades cercanas, pero en las etapas más avanzadas de estos proyectos se busca personal especializado. También, no se fomentan procesos de sostenibilidad en el largo plazo, no se crean cadenas productivas en el lugar y no se impulsa el desarrollo comunitario. Por el contrario, se privatiza el territorio, lo que afecta la industria local, que suele ser agrícola, comercial y turística, imposibilitándolas en el largo plazo debido a los daños y riesgos que provoca (Aleida Azamar & Isidro Téllez, 2022).

Adicionalmente, la minería puede afectar a las comunidades locales cuando (Oxfam Australia, s.f.):

- Son desplazadas de sus hogares y tierras,
- Se les impide el acceso a la tierra y agua limpia,
- Se afecta su salud y sus medios de subsistencia,
- Se crean divisiones en las comunidades

Es importante mencionar, que estos efectos se agravan cuando no se consulta a la población local ni se le da información sobre la mina prevista. De igual manera, cuando no se les deja opinar sobre la conveniencia o participar en el desarrollo de la mina, entonces se debilita la sostenibilidad de los proyectos mineros.

En México, han existido dos tipos de conflictos mineros. El primero de ellos son conflictos de coexistencia en los que la agenda social no rechaza absolutamente la actividad minera, sino más bien busca negociar mejores compensaciones principalmente de carácter económico, ya sea bajo la forma de regalías voluntarias, pago de impuestos, contratación de pequeños propietarios locales o mejores salarios y condiciones laborales. El segundo se refiere a los conflictos en los que el rechazo social a la minería es el núcleo central de la protesta, que se califica como la resistencia social (Aleida Azamar & Isidro Téllez, 2022). Esto se debe tomar en cuenta, debido a que, si la cadena de valor de litio busca incrementar la explotación de este mineral, se deben evitar estos conflictos sociales a través del diálogo con las comunidades y su participación en la toma de decisiones y negociaciones para la explotación de los recursos naturales.

También, la inseguridad del país es otro reto considerable que puede afectar el desarrollo de la cadena de valor del litio, sobre todo los eslabones upstream. La presencia de crimen organizado en regiones potencialmente ricas en litio podría disuadir la inversión y complicar las operaciones mineras. Según el reporte de Stratop Risk Consulting de 2024, "los constantes robos, la infiltración de cárteles y la actividad de 'narcomineros' han creado un ambiente de inseguridad que desincentiva la inversión y pone en riesgo tanto a los trabajadores como a la producción" (Rodríguez, 2024). Esto muestra que el crimen organizado sí es un obstáculo para el desarrollo de esta primera etapa de la cadena de valor de las baterías de iones de litio.

Sin embargo, este desafío también presenta una oportunidad para fortalecer la seguridad transnacional a través de iniciativas internacionales. La colaboración con organismos internacionales para implementar proyectos de seguridad que protejan las operaciones mineras y las comunidades locales podría no solo garantizar un entorno seguro para las inversiones, sino también mejorar la imagen de México como un destino confiable para la inversión extranjera directa en el sector del litio.

Otro reto para México es diseñar un modelo de gobernanza para el litio, que aproveche, por ejemplo, las lecciones aprendidas en el Triángulo del Litio. Los modelos de gobernanza en el Triángulo del Litio son heterogéneos y reflejan las distintas prioridades y capacidades de cada país en cuanto a la explotación de este recurso estratégico.

En Bolivia el litio es considerado un recurso estratégico, y su explotación está bajo el control del estado. El gobierno boliviano, a través de la empresa estatal Yacimientos del Litio Bolivianos (YLB), controla todas las actividades mineras relacionadas con el litio. A pesar de contar con la mayor cantidad de recursos de litio del mundo, Bolivia ha tenido dificultades para escalar su producción y participar significativamente en el mercado global de litio debido a limitaciones tecnológicas y políticas. Por otra parte, Chile ha adoptado un enfoque híbrido, combinando la gestión estatal con asociaciones público-privadas. El litio es considerado un recurso estratégico, y su extracción está reservada para el Estado o para empresas privadas que operan bajo contratos especiales. La gobernanza en Chile se caracteriza por un fuerte control estatal sobre las operaciones mineras y un enfoque en maximizar los beneficios económicos mediante la renegociación de contratos y la promoción de la industria downstream, como lo demuestran las iniciativas para fomentar la producción local de cátodos y baterías. Por último, Argentina presenta un modelo de gobernanza descentralizado donde

las provincias tienen el control sobre los recursos mineros, incluyendo el litio. Este modelo ha permitido una mayor participación del sector privado, con varias empresas extranjeras, principalmente de China, Estados Unidos y Australia, involucradas en la extracción de litio.

En resumen, tanto en Bolivia como en Chile se considera al litio como un mineral estratégico y se ha creado un régimen especial, con diferencias en su implementación y con un grado de involucramiento distinto del sector privado, pero con objetivos similares sobre el impulso a la generación de valor a lo largo de las cadenas de producción (Ballesteros, 2022).

En cambio, en México se reformó la Ley Minera en 2022, con la finalidad de "garantizar la autodeterminación y soberanía energética sobre el litio". Con esta reforma, se estableció la exploración, la explotación y el aprovechamiento del litio como actividades exclusivas del Estado, al ser actividades de utilidad pública. Asimismo, no se otorgarán más concesiones para litio como sucede con otros minerales, por lo que se creó Litio para México como un organismo descentralizado encargado de la exploración, explotación, administración y control de las cadenas de valor de este mineral en el país (Ballesteros, 2022).

Sin embargo, esto ha creado un doble régimen para el litio en México: uno por las concesiones ya otorgadas, que son vigiladas y reguladas por la Secretaría de Economía, y otro por la exploración y explotación que llevará a cabo LitioMx, para la cual tendrá que desarrollarse un marco normativo específico. Este doble régimen, junto a las restricciones a la participación de los privados, muy probablemente traerán problemas que tendrán que ser solucionados próximamente en tribunales (Ballesteros, 2022). Sin duda las lagunas regulatorias ante esta reforma son un reto para el crecimiento del sector, al igual que la incertidumbre jurídica sobre el rol del Estado en la cadena de valor de litio.

A pesar de esto la oportunidad de crear un modelo de gobernanza de carácter híbrido, en el que el Estado mantenga un control estratégico sobre los recursos a través de LitioMx, pero que también se le permita la participación del sector privado para atraer inversión y tecnología. Este modelo podría incluir concesiones limitadas y asociaciones público-privadas (APP) para garantizar la extracción de litio.

Adicionalmente, existe la oportunidad de cooperación entre los países del Triángulo de Litio para desarrollar la cadena de valor de litio en México. De hecho, México y Bolivia firmaron en 2021 una carta de intención en materia de cooperación técnica entre ambos países, en el que se buscará conformar un Comité Científico, que fortalezca las capacidades de profesionales y especialistas en la materia (Hernández, 2022). Mientras tanto, con Chile y Argentina no se ha oficializado una cooperación similar, pero sí se ha propuesto una alianza Chile-México y Argentina-México en la materia (A. Morales, 2022; Swiss Info, 2022).

Por otro lado, en los eslabones mid y downstream de la cadena de valor de litio para baterías de VE, América del Norte se ha posicionado como un actor relevante en el mercado internacional, lo que abre oportunidad de participación en el mercado a países como México.

Entre agosto de 2022 y marzo de 2023 se invirtieron aproximadamente 52,000 millones de dólares en las cadenas de suministro de vehículos eléctricos de Norteamérica. Alrededor de la mitad de la inversión se destinó a la fabricación de baterías, mientras que un 20% se destinó tanto a componentes de baterías como a la fabricación de VE (Straughan & Mitchner, 2024). Asimismo, el tamaño del mercado de las baterías de iones de litio en Norteamérica se estima en 16,100 millones de dólares en 2024, y se espera que alcance los 68,950 millones de dólares en 2029.

Cabe señalar, que según Morales (2024), el Departamento de Comercio de Estados Unidos estimó que en el primer semestre de 2024 las exportaciones de vehículos eléctricos de México hacia Estados Unidos registraron un valor de 3,127 millones de dólares, es decir, las exportaciones aumentaron 170% su valor registrado en el mismo periodo del año pasado. Esto significa, que sólo fue superado por Alemania, con 3,213 millones de dólares en ventas. Cabe señalar, que, en 2023, México ya había desplazado a Corea del Sur del segundo lugar y dejó atrás a otros países como Japón, Bélgica y Reino Unido (Morales, 2024).

Según Mordor Intelligence, la IEA estimó que las ventas de VE en Estados Unidos y Canadá crecieron más de un 54% entre 2021 y 2022 (Mordor Intelligence, 2024). En 2023, las ventas de vehículos ligeros eléctricos nuevos en Estados Unidos alcanzaron alrededor de 1.4 millones de unidades, frente a casi 1 millón en 2022, lo que supone una cuota de ventas de alrededor del 9%. En todo el país, el mercado de vehículos eléctricos ha crecido a ritmos diferentes en los distintos estados (ICCT, 2024).

También, esta cuota de ventas se debe a las iniciativas gubernamentales de la actual administración que buscan promover el uso de VE en las próximas décadas. Entre ellas, se encuentra la Ley de Reducción de la Inflación (IRA), la Ley de Inversión en Infraestructuras y Empleo, y la Ley CHIPS y de Ciencia tienen la finalidad de reforzar las industrias estadounidenses de baterías y semiconductores. De igual manera, se publicó el Plan Nacional para las Baterías de litio, que traza el futuro de la industria de 2021 a 2030, en el que destaca el abastecimiento de materias primas, el procesamiento nacional de litio y el reciclaje de baterías (Savannah St, 2023).

En específico, la IRA incluye subvenciones, préstamos, disposiciones fiscales y otros incentivos para acelerar el despliegue de energías limpias, vehículos eléctricos, edificios limpios y una fabricación limpia. Por lo tanto, las inversiones bajo la IRA buscan desplegar energías limpias, ampliar la red eléctrica, desarrollar la fabricación nacional de tecnologías limpias, incentivar la adopción de vehículos eléctricos, reducir las emisiones de metano, aumentar la eficiencia de los edificios, mejorar la resiliencia climática de las comunidades, entre otros objetivos.

En total, la IRA tiene planeado invertir 370,000 millones de dólares para mejorar la seguridad energética y acelerar las transiciones hacia energías limpias (IEA, 2023). Para 2023, ya se habían invertido más de 110,000 millones de dólares en energías limpias, y más de 70,000 millones en la cadena de suministro de baterías de Estados Unidos, en particular a proyectos de celdas descendentes (gigafábricas) (CGEP, 2023). Por ello, la IRA tiene un impacto directo en la economía de las baterías estadounidenses a través de créditos destinados a estimular la

actividad de la oferta y el comportamiento de la demanda (CGEP, 2023). Específicamente para VE, la IRA amplió el crédito de 7.500 dólares en el impuesto sobre la renta de los consumidores para la compra de VE nuevos y añadió un crédito de 4.000 dólares por la compra de un VE usado (Garduño, 2022).

En México, se espera que la IRA de Estados Unidos impulse el desarrollo de las cadenas de suministro de VE, sobre todo por el acceso a las subvenciones de la nueva ley (IEA, 2024b). Se debe considerar, que, dada su proximidad a Estados Unidos, la industria automotriz mexicana ya está integrada en el mercado norteamericano, y se beneficia de ventajosos acuerdos comerciales, de la gran capacidad de fabricación existente y de la posibilidad de acogerse a las subvenciones de la IRA (IEA, 2024b). También, la industria de baterías de litio en México está siendo impulsada por el T-MEC, que establece que al menos 75% del material para los vehículos eléctricos ensamblados en Norteamérica debe venir de la región. Esto ha llevado a los fabricantes a desarrollar una cadena de suministro en la región con inversiones significativas. A medida que la oferta de VE aumenta, se espera que la producción también lo haga para poder reducir los costos de producción y hacer que la tecnología sea más accesible.

En México las matriculaciones de VE aumentaron un 80% interanual, esto quiere decir que se vendieron hasta 15,000 unidades (IEA, 2024b). Como resultado, las cadenas de suministro locales de VE se están desarrollando rápidamente, con expectativas de que esto se extienda a los mercados nacionales. Asimismo, empresas como Tesla, Ford, Stellantis, BMW, GM, Volkswagen (VW) y Audi han empezado a fabricar o han anunciado planes para fabricar vehículos eléctricos en México (IEA, 2024b).

Debido a estos factores, la industria automotriz mexicana ya está integrada con sus socios norteamericanos. Según el mapa interactivo de New Energy Nexus, México participa en la cadena de valor de baterías de litio de Norteamérica en los siguientes eslabones: materias para baterías (Baja California Sur vende óxido de cobalto y Sonora vende carbonato de litio); manufactura de electrodos y celdas (San Luis Potosí y Puebla); manufactura de módulos y paquetes de baterías (Nuevo León, Sonora, Baja California y Querétaro); y manufactura de vehículos eléctricos (Estado de México, San Luis Potosí y Nuevo León) (New Energy Nexus, 2024).

En este sentido, México tiene la oportunidad de seguir creciendo como un socio estratégico para la cadena de valor de litio para baterías eléctricas de Norteamérica. La posibilidad de que México pueda exportar más litio al mercado norteamericano lo vuelve una pieza clave para los planes de desarrollo de esta industria de Estados Unidos, lo que asegura su lugar en el mercado. Sin embargo, también existe la posibilidad de que México se enfrente a Canadá como su rival más fuerte, debido a que este país está desarrollando toda la cadena de valor de litio y cuenta con ventajas regulatorias, tecnológicas y financieras.

Cabe señalar, que las condiciones políticas en México son actualmente favorables para el desarrollo de esta cadena de valor. El gobierno actual, bajo un contexto de gobierno unificado, cuenta con la mayoría legislativa necesaria para aprobar leyes y asignar recursos suficientes para impulsar el desarrollo de la industria del litio a través de LitoMx. Esta alineación política

ofrece una ventana de oportunidad única para establecer las bases legales, regulatorias y financieras que garantizarán el éxito de la cadena de valor del litio en México.

Por su parte, la presidenta Dra. Claudia Sheinbaum ha externado interés en promover la transición energética y aprovechar la relocalización de inversiones (nearshoring) (Sheinbaum, 2024). Esta coyuntura económica podría ayudar a sustituir importaciones provenientes principalmente de Asia con producción regional y con un alto contenido nacional. En este sentido, su administración le dará prioridad a proyectos de inversión que cumplan con condiciones mínimas de sostenibilidad y de beneficio a la población (Sheinbaum, 2024).

Asimismo, existe la oportunidad para la administración de Sheinbaum de crear políticas industriales que impulsen el desarrollo tecnológico y de producción de partes de baterías de iones de litio. Según Birlain-Escalante (2023), la política industrial surge a partir de la intervención del Estado en la industria, con la finalidad de organizar y modificar la estructura y los esquemas de producción. Esta nueva estructura considera la diversidad y la complementariedad entre las actividades de producción y sus efectos sobre el crecimiento económico, así como la productividad y el desarrollo; la política industrial puede estar dirigida al sector secundario de la economía, pero también al desarrollo de servicios y las actividades primarias (Birlain-Escalante, 2023).

En este sentido, se recomienda que se desarrollen políticas para el cambio estructural que crean nuevas ventajas comparativas para el impulso de la cadena de valor para las baterías de litio en México, con la finalidad de modificar y desafiar ventajas comparativas en el mercado. Esto quiere decir, que se deben impulsar instrumentos de política industrial que combinen políticas horizontales pasivas⁷, activas⁸ y políticas para el cambio estructural sin desafiar ventajas comparativas⁹, con instrumentos de intervención directa del Estado en materia de financiamiento, estímulos fiscales, inversión y compras públicas, entre otras. Estas políticas incluyen políticas de competitividad; comerciales y de atracción de Inversión Extranjera Directa (IED); que fomenten el desarrollo científico, tecnológico y la innovación; la formación de recursos humanos y capacitación empresarial; el apoyo a las PyMEs; el apoyo en materia de crédito; corregir problemas derivados de información imperfecta; y la protección de propiedad intelectual (Birlain Escalante, 2023). Finalmente, se deben impulsar políticas

7 Se refiere a políticas de competitividad, que incluye los siguientes instrumentos: macroeconomía estable, garantías para el cumplimiento de contratos, facilidad para la apertura de nuevos negocios y la protección de inversiones y construcción de infraestructura. También, se refiere a políticas comerciales y de atracción de IED a través de acciones de apertura unilateral generalizada, la suscripción de acuerdos bilaterales o multilaterales que no distinguen o protegen sectores específicos, y la apertura al capital extranjero.

8 Son políticas que buscan impulsar el desarrollo científico, tecnológico y la innovación a través de apoyos directos para las actividades privadas de I+D, así como la promoción de proyectos conjuntos de I+D que permitan internalizar externalidades. También, incluye políticas a la formación de recursos humanos y la capacitación empresarial a través del financiamiento para la formación y los programas públicos para la actualización de las competencias. Finalmente, incluye políticas de apoyo a las PyMEs y microempresas; de apoyo en materia de acceso al crédito; políticas para corregir problemas derivados de información imperfecta; y protección de propiedad intelectual.

9 Estas políticas buscan impulsar estrategias de desarrollo basadas en ventajas comparativas ya existentes.

para el cambio estructural que crean nuevas ventajas comparativas. Los instrumentos de política para este fin combinan todos los instrumentos mencionados anteriores, al igual que medidas de intervención directa del Estado en materia de financiamiento, estímulos fiscales, inversión y compras públicas, entre otros.

Además, según el Grupo de Trabajo para la electrificación del transporte México-Estados Unidos se requieren de medidas específicas para que la industria automotriz en México participe en la transición energética. Para esto, se necesitan políticas específicas que impulsen la innovación, el capital humano, el desarrollo de proveedores e infraestructura, así como un esquema de gobernanza en el que todos los actores involucrados participen en la transformación del sector (SRE & Universidad de California, Alianza MX, 2022).

En particular, para desarrollar una cadena de valor de baterías de litio en México, es fundamental diseñar políticas industriales que aborden las tres etapas principales de la cadena: upstream (extracción y suministro de materias primas), midstream (fabricación y ensamblaje de componentes) y downstream (distribución, reciclaje y reutilización). Estas políticas deben considerar la creación de un ecosistema que abarque desde la extracción de materiales, hasta la producción de baterías y su reciclaje final, garantizando sostenibilidad y eficiencia económica en cada etapa (Moisés & Tresa, 2023). Como primer análisis, a continuación, se exponen algunas políticas industriales que pueden impulsar la cadena de valor de baterías de litio en México, que están basadas en buenas prácticas de otros países.

a) Políticas para la etapa Upstream

- **Establecer incentivos para la exploración y extracción sostenibles:** México debe desarrollar políticas para incentivar la inversión en la exploración y extracción de litio, enfocándose en prácticas mineras sostenibles que minimicen el impacto ambiental y social. Esto puede incluir incentivos fiscales, acceso a financiamiento preferencial para proyectos de minería verde, y el desarrollo de regulaciones que promuevan tecnologías de extracción con menor huella ambiental.
 - **Ejemplo:** En Ecuador, se actualizó la Política Pública Minera en 2019 con miras a 2030. Esta actualización está basada en ejes y objetivos estratégicos, que priorizan el desarrollo sostenible del sector minero. Dentro del eje de sostenibilidad ambiental y social, se encuentra el objetivo de “promover la adopción de buenas prácticas ambientales y de seguridad ocupacional en la industria minera que garantice un aprovechamiento integral y responsable de los recursos minerales” (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, Ecuador, 2019). A continuación, se citan los lineamientos de política pública de este objetivo:
 - “a) Articular y fortalecer el trabajo intersectorial para mejorar el seguimiento y control ambiental en las diferentes fases de las actividades mineras.
 - b) Incluir externalidades y costos ambientales, hídricos y sociales en los proyectos mineros y sus planes de operaciones.
 - c) Definir de manera coordinada zonas idóneas para el desarrollo de las actividades mineras con base en criterios sociales, ambientales, hídricos en lo que respecta a fuentes de agua declaradas de interés público y zonas de importancia hídrica, productivos, económicos, técnicos, de seguridad y de

- riesgos. Y respetar las zonas de exclusión conforme a la Constitución y normativa vigente.
- d) Garantizar el financiamiento para la operatividad de las entidades de regulación y control, así como la remediación ambiental principalmente de afectaciones ocasionadas por las actividades mineras ilegales.
 - e) Incorporar la gestión integral de riesgos, incluyendo los de seguridad ocupacional, dentro de los procesos de otorgamiento de derechos, desarrollo, control, seguimiento y monitoreo de las actividades mineras, con la participación de la población en casos de afectación”.
- **Desarrollar infraestructura de soporte para la minería de litio:** Mejorar la infraestructura de transporte y logística es crucial para facilitar el traslado eficiente de materiales desde las minas a las plantas de procesamiento. Las políticas deben incluir la construcción de carreteras, puertos y ferrocarriles que conecten las zonas mineras con los centros de procesamiento y manufactura. Esto también debe considerar el posible impacto, ya sea positivo o negativo, para las comunidades.
 - **Ejemplo:** Pilbara es el corazón minero de Australia, y quizá del mundo, debido a que domina la producción nacional y mundial de varios minerales. Un sector así de grande requiere una infraestructura igualmente considerable. En el caso de Pilbara, Australia, se construyeron varias líneas de ferrocarril específicamente para transportar mineral de hierro de la mina al puerto. Las cuatro principales líneas ferroviarias del estado (propiedad de empresas como BHP y Río Tinto) suman más de 3.800 km de vías. Conectan las minas de Pilbara con los puertos de Dampier y Port Hedland, y llevan el mineral de hierro de Pilbara a todo el mundo (Casey, 2023).
 - **Fomentar asociaciones público-privadas (APP) y cooperación internacional:** Crear alianzas estratégicas con empresas extranjeras y actores globales especializados en la extracción y procesamiento de minerales críticos, para transferir tecnología y conocimientos, así como para garantizar el acceso a mercados globales de materias primas. Adicionalmente, estas alianzas deben asegurar la debida diligencia en sus operaciones.
 - **Ejemplo:** En Chile, aunque el Estado sea propietario del litio que se encuentra en su territorio, el sector privado tiene el potencial de aportar en la explotación y agregación de valor, “contribuyendo con mayor conocimiento productivo, tecnológico y comercial, y con inversiones de capital” (Gobierno de Chile, 2023). De esta manera, la Empresa Nacional de litio busca desarrollar algunas de estas capacidades en el Estado, aprovechando la capacidad instalada en el sector privado mediante el desarrollo de asociaciones público-privadas. Estas APP maximizarán la rentabilidad económica y social de la extracción del mineral, combinando los objetivos de los actores privados y el Estado (Gobierno de Chile, 2023).

b) Políticas para la etapa Midstream

- **Incentivos para la fabricación local de componentes:** Implementar incentivos fiscales y financieros para atraer inversiones en la producción local de celdas y módulos de baterías de litio. Esto podría incluir exenciones fiscales, subvenciones y apoyo a la infraestructura para establecer plantas de

fabricación, considerando que actualmente los requerimientos de Valor de Contenido Regional (VCR) para vehículos ligeros, además de cumplir un VCR de 75% de manera general, cada una de las autopartes esenciales también debe cumplir individualmente con un VCR de 75% para ser considerada originaria (T-MEC, 2020).

- **Ejemplo:** Estados Unidos, el subsidio Inflation Act subsidio que además de promover la compra de vehículos eléctricos, requiere que al menos el 40% de las materias primas de las baterías de los vehículos se extraigan y procesen en Estados Unidos o en países con los que tenga un Tratado de Libre Comercio (Popova, 2022) incentivando la demanda de vehículos eléctricos producidos en esta región.
- **Fomento a la investigación y desarrollo (I+D):** Crear programas de apoyo a la innovación y desarrollo tecnológico en la fabricación de baterías, promoviendo la colaboración entre el sector público, privado y académico para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de las baterías producidas localmente.
 - **Ejemplo:** Chile, en los últimos casi 10 años, ha buscado impulsar el desarrollo tecnológico y productivo en el sector minero a través del lanzamiento del Programa Nacional de Minería Alta Ley en 2015. Este programa fue el resultado de diversos esfuerzos de diagnóstico y elaboración de propuestas en el marco de una iniciativa público-privada impulsada por CORFO y el Ministerio de Minería. A partir de este ejercicio se definió una hoja de ruta tecnológica hasta el año 2035, que identifica ocho prioridades tecnológicas, entre ellas: la minería subterránea/minería profunda a gran escala; la mejora de la competitividad de fundiciones y refineras; la identificación y minimización de impactos de relaves; las mejoras de productividad; el desarrollo de proveedores intensivos en conocimiento; potenciar la actividad de exploración; la minería inteligente; y el desarrollo del capital humano (López et al., 2019). Posteriormente, en 2023 se creó la Estrategia Nacional del Litio, que es un conjunto de medidas que buscan incorporar capital, tecnología, sostenibilidad y agregación de valor al sector productivo en armonía con las comunidades (Gobierno de Chile, 2023).
- **Estandarización de diseños de baterías:** Promover la armonización de los estándares de diseño de baterías para facilitar su reparación, reciclaje y reutilización. Esto podría incluir la implementación de estándares que permitan la interoperabilidad de componentes y que faciliten la creación de una red de proveedores calificados para el diagnóstico, reparación y certificación de baterías usadas.
 - **Ejemplo:** La Comisión Europea propuso requisitos obligatorios para todas las baterías que se comercializan en la Unión Europea, ya sean baterías industriales, de automoción, de vehículos eléctricos y portátiles. En este sentido, la Comisión estableció requisitos como el uso de materiales de origen responsable con uso restringido de sustancias peligrosas, el contenido mínimo de materiales reciclados, la huella de carbono, el rendimiento, la durabilidad y el etiquetado, así como el cumplimiento de los objetivos de recogida y reciclado (Centro de Documentación Europea, 2020).

c) Políticas para la etapa Downstream

- **Implementación de un sistema de responsabilidad extendida del productor (REP):** Establecer un marco de REP que obligue a los fabricantes de baterías y vehículos eléctricos a asumir la responsabilidad de la recolección, reciclaje y disposición final de las baterías al final de su vida útil. Este sistema debe incluir objetivos específicos de tasas de recolección y reciclaje de baterías para fomentar cadenas de suministro circulares más eficientes.
 - **Ejemplo:** Nueva Jersey es el primer estado de Estados Unidos que responsabiliza a los productores de baterías para vehículos eléctricos y otras baterías de propulsión similares de su reciclaje. La Ley de Gestión de Baterías de Vehículos Eléctricos e Híbridos de Nueva Jersey exige a los productores de determinadas baterías de propulsión de vehículos eléctricos e híbridos, incluidas las baterías de iones de litio y las baterías híbridas de níquel-metal, que se registren en el Departamento de Protección Medioambiental de Nueva Jersey (NJ DEP) antes del 8 de enero de 2025. La ley define como productores a: los fabricantes, refabricantes e importadores de baterías de propulsión; a las personas que reutilizan baterías de propulsión; y a los fabricantes, licenciarios de marcas comerciales e importadores de vehículos de motor con baterías de propulsión (More, 2024). De igual manera, las políticas de China y las que se aplicarán próximamente en la UE incluyen la responsabilidad ampliada del productor, que responsabiliza a los fabricantes de la recogida de baterías al final de su vida útil (Tankou et al., 2023).
- **Creación de infraestructuras de reciclaje de baterías:** Desarrollar instalaciones de reciclaje de baterías con requerimientos robustos de sostenibilidad para generar la capacidad suficiente para manejar los volúmenes proyectados de baterías al final de su vida útil, considerando la protección de los trabajadores y el ambiente. Invertir en tecnología de reciclaje avanzada, como hidrometalurgia o pirometalurgia, que permita recuperar materiales valiosos como el cobalto, el litio, el níquel y el manganeso.
 - **Ejemplo:** El Gobierno federal de Canadá anunció una inversión de 10 millones de dólares en dos empresas de reciclaje de baterías de VE de Ontario para acelerar el desarrollo de tecnologías de recuperación de minerales esenciales necesarios para una cadena de suministro de VE en rápida expansión. Canadá apuesta por que Ontario se convierta en un centro mundial de metales para baterías de vehículos eléctricos y otros mercados de almacenamiento de energía, ya que alberga el mayor complejo industrial minero integrado del mundo y el segundo mayor yacimiento de níquel. Por ello, este país está invirtiendo en el reciclaje de baterías.
- **Digitalización de la trazabilidad y reciclaje:** Adoptar un “pasaporte de baterías” que incluya identificaciones digitales únicas para cada batería, con datos sobre la composición del material, huellas ambientales y sociales, origen, salud y cadena de custodia de la batería. Este sistema digital puede facilitar la trazabilidad y mejorar la eficiencia de las cadenas de suministro de reciclaje.
 - **Ejemplo:** La Alianza Mundial de Baterías (GBA por sus siglas en inglés) lanzó una primera prueba de concepto de pasaporte de baterías en enero de 2023 en tres proyectos piloto diferentes (uno dirigido por Tesla y dos por Audi). En estos ejercicios, los miembros de la GBA desarrollaron normas para establecer indicadores de rendimiento de sostenibilidad para la

huella de carbono de las baterías, así como indicadores de la debida diligencia sobre trabajo infantil y derechos humanos. Asimismo, otra iniciativa destacada es el proyecto Battery Pass, puesto en marcha en 2022 por un consorcio liderado por la industria. Financiado por el Ministerio Federal de Economía y Acción por el Clima de Alemania, el Battery Pass tiene como objetivo avanzar en la aplicación del pasaporte de baterías de la UE, en consonancia con las disposiciones del nuevo Reglamento sobre baterías. El consorcio Battery Pass está formado por socios de la industria y la investigación, y en él participan agentes de toda la cadena de valor de las baterías (Rizos & Urban, 2024).

d) Políticas de apoyo complementarias

- **Incentivos para la reutilización y repotenciación de baterías:** Establecer objetivos regulatorios y apoyar la creación de mercados secundarios para baterías usadas, fomentando la reutilización y repotenciación antes de su reciclaje. Esto puede incluir la promoción de nuevas aplicaciones para baterías de segunda vida en almacenamiento de energía estacionaria, respaldo de energía, y gestión de redes. Aunado a esta política, se debe considerar un enfoque estandarizado para comunicar datos precisos sobre el estatus de las baterías; esto ayudaría a identificar la mejor idoneidad para una aplicación de segunda vida.
 - **Ejemplo:** En España, se aprobó la *Especificación UNE 0075:2023 Requisitos para la reutilización de baterías de movilidad en usos estacionarios*. La Especificación UNE 0075 establece los requisitos para la reutilización de celdas, módulos, paquetes de baterías y sistemas de baterías, como las de los vehículos. Este estándar especifica el procedimiento para evaluar su funcionamiento y su seguridad; se dirige principalmente a productos de litio, pero también aplica para otro tipo de productos. Además, para facilitar la reutilización de baterías, la propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a las baterías y sus residuos, establece que se debe proporcionar acceso al sistema de gestión de la batería para obtener los datos necesarios para determinar su estado de salud y la vida útil prevista.
- **Facilitación del comercio internacional de baterías y materiales reciclados:** Simplificar las regulaciones aduaneras y de transporte para las baterías usadas y los materiales reciclados, incluyendo la armonización de normas y procedimientos para la clasificación, manejo y transporte de estos productos entre fronteras.
 - **Ejemplo:** Aunque no se encontró un ejemplo específico sobre esta política, se toman como referencia las Reglas de Origen del sector automotriz bajo el T-MEC. En el caso de los automóviles ligeros, éstos deben cumplir un Valor de Contenido Regional (VCR), de 75%, al igual que cada una de las Autopartes Esenciales, para ser considerada originaria (IMCO, 2021). Esto permite, que los productos que cumplan con estas características estén exentos de los aranceles generales, lo que incentiva el intercambio comercial. Una negociación parecida se podría llevar a cabo en Norteamérica respecto al reciclaje de baterías de VE.

No obstante, al ser un primer análisis, es necesario discutir la viabilidad de implementación de estas políticas industriales en México y los retos que implicarían para su cumplimiento y efectividad.

Adicionalmente, es necesario sumar a estas recomendaciones, la creación e implementación de políticas públicas que estén enfocadas en impulsar la electromovilidad en el país. Esto es clave para la cadena de valor de baterías de litio, debido a que, entre más demanda exista, más rápido se desarrollará la industria y por ende cada eslabón de producción. Las baterías de litio son fundamentales para la producción de VE, por lo que, si hay una alta demanda de estos vehículos, los productores preferirán que la producción se realice nacionalmente para dejar de depender de las exportaciones de este producto. Por esta razón, se deben complementar los esfuerzos industriales y comerciales para impulsar la cadena de valor de baterías de litio, con la implementación de políticas del producto final: los vehículos eléctricos.

En este sentido, Iniciativa Climática de México (ICM) elaboró una Ruta de Implementación de la NDC de la Sociedad Civil, en la que se propone una medida para impulsar vehículos eléctricos de baterías, con el objetivo de aumentar la presencia de estos vehículos en la flota nacional. Esta medida busca que el 100% de los nuevos registros de vehículos en 2045 sean VE de baterías. Como resultado, habría una mitigación significativa de las emisiones, debido a que estos vehículos no requieren combustibles fósiles para su funcionamiento y pueden reducir el consumo de energía hasta en un 73% en comparación con los vehículos de combustión interna. Para esta medida, se debe contemplar el desarrollo de la infraestructura eléctrica necesaria para cubrir la demanda generada por los VE, así como la disponibilidad de electrolinerías en las principales ciudades del país.

También, la Ruta de Implementación de ICM da recomendaciones para el incremento de VE en el país, a través de mejoras en las regulaciones para la electromovilidad; el compromiso político y los instrumentos de planeación; la rendición de cuentas y la vigilancia de cumplimiento; el acceso a la información; los incentivos; las capacidades para cumplir con la medida; y el financiamiento.

En el marco regulatorio nacional se debe clarificar la participación de todos los actores involucrados en la electromovilidad e incluir normativas específicas para la infraestructura. En la Ruta de Implementación se identificaron los actores más relevantes para impulsar la electromovilidad en México y sus respectivas responsabilidades; esto se muestra a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8. Mapeo de actores con responsabilidades según la Ruta de Implementación de ICM para la medida para impulsar vehículos eléctricos de baterías.

Actores	Atribuciones y Responsabilidades
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> ○ Formular una política pública ambiental integral a fin de implementar acciones públicas para conservar los recursos naturales. ○ Inducir una gestión ambiental que promueva en los gobiernos estatales y municipales el diseño de estrategias en materia de electromovilidad. ○ Apoyar el desarrollo de las capacidades institucionales de los gobiernos estatales y locales.
Secretarías de Movilidad o Medio Ambiente municipales, según corresponda	<ul style="list-style-type: none"> ○ Gestionar a nivel local la venta de vehículos eléctricos y su infraestructura.
Secretaría de Comunicaciones y Transportes Subsecretaría de Transporte Fabricantes, como: Nissan, Audi, Tesla, Chevrolet, Toyota, Renault, Ford, Kia, Volkswagen, BMW, JAC	Promover sistemas de transporte seguros, eficientes y competitivos, mediante el fortalecimiento del marco jurídico, la definición de políticas públicas y el diseño de estrategias. <ul style="list-style-type: none"> ○ Ofrecer tecnología para los vehículos eléctricos. ○ Brindar servicios especializados para los vehículos eléctricos.
Asociación Mexicana de Impulso al Vehículo Eléctrico (AMIVE)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Alianza estratégica dedicada a abordar los desafíos y oportunidades en el ecosistema emergente de la movilidad eléctrica en México. ○ Promover regulaciones y políticas específicas dirigidas al desarrollo de la electromovilidad en los tres niveles de gobierno. ○ Compartir conocimientos, experiencias y oportunidades de negocio que impulsen la adopción de los vehículos eléctricos.
Asociación Nacional de Vehículos Eléctricos y Sustentables A.C. (ANVES)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Articular y promover el desarrollo de vehículos y tecnologías de movilidad sustentable en México, ofertando servicios de calidad a sus asociados e interesados en todo el territorio nacional. ○ Fomentar una economía circular, colaborativa, eficiente y sustentable.
Asociación de Usuarios de Vehículos Eléctricos (AUVE)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Compuesto por personas usuarias o interesadas en los vehículos eléctricos. ○ Impulsar la movilidad eléctrica a través de la infraestructura de recarga pública y de los incentivos de las administraciones públicas. ○ Proteger y defender los derechos e intereses de las personas usuarias de vehículos eléctricos.
Asociación Mexicana de Transporte y Movilidad (AMTM)	Representación del sector del transporte público y la movilidad en la formulación de la política pública.
Banca nacional	Financiamiento

Actores	Atribuciones y Responsabilidades
Banca privada	Financiamiento

Fuente: Elaboración propia con información de la Ruta de Implementación de la NDC de la sociedad civil, ICM 2023.

También, se resalta la necesidad de contar con procesos de certificación y estandarización para la interoperabilidad y compatibilidad entre los distintos sistemas de los vehículos eléctricos, considerando el ciclo de vida. Por otro lado, para fomentar la adopción de vehículos eléctricos, se sugiere ampliar la vigencia del decreto que modifica la Tarifa de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación para incluir vehículos eléctricos y de celdas de combustible de hidrógeno sin arancel, ya que actualmente su vigencia concluye el 30 de septiembre de 2024.

Asimismo, la publicación e implementación efectiva de la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica (ENME) es clave para impulsar la adopción de vehículos eléctricos en el país, promoviendo una movilidad más sostenible y amigable con el medio ambiente. Sin embargo, hasta el momento su cumplimiento ha generado incertidumbre, ya que alcanzar metas nacionales como que el 50% de las ventas de vehículos sean cero emisiones y que en 2050 se alcance el 100%, son muy difíciles de lograr sin subsidios ni estímulos, como se entregan en los EUA de 7,500 dólares por auto. Aunado a la falta de infraestructura de recarga adecuada para VE y al rezago en la generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables de energía.

En este mismo sentido, para acelerar efectivamente la implementación de la ENME y promover la adopción de vehículos eléctricos de baterías en México, se requiere brindar apoyos y estímulos públicos para que la banca comercial otorgue créditos que fomenten la compra de autos eléctricos. Realizar inversiones en las áreas de transmisión y generación de energía renovable. Así como fortalecer el capital humano en áreas clave, para lo cual es necesario que el sector de automotriz y el sector académico y de investigación incorporen esta tecnología en sus temarios y planes de estudio. Esto garantizará una formación adecuada y actualizada del personal que participe en la industria de vehículos eléctricos. Asimismo, se debe fortalecer el marco normativo e institucional para la implementación de la ENME. Esto implica una clara identificación de las tareas y responsabilidades de cada actor involucrado en la implementación de la estrategia, asegurando una coordinación efectiva y una distribución adecuada de las responsabilidades.

Aunado a esto, se deben establecer sistemas claros de seguimiento y monitoreo para evaluar el progreso tanto de la cadena de valor del litio como de la implementación de vehículos eléctricos de baterías en México. Por ello, es fundamental contar con mecanismos de cumplimiento que promuevan el avance y la adopción de vehículos eléctricos en el país. Esto implica establecer incentivos, regulaciones y políticas que fomenten la transición hacia una movilidad más sostenible.

Respecto al acceso a información, es importante desarrollar formatos de datos estandarizados, accesibles y centralizados con información del rendimiento vehicular, la disponibilidad de la infraestructura de carga de baterías (estaciones de servicio) y la eficiencia en el consumo de energía. Así como, implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para el desempeño e incidentes que garanticen la interoperabilidad de los sistemas de vehículos eléctricos.

Además, se debe brindar incentivos para las compañías productoras y los usuarios finales, con el objetivo de fortalecer toda la cadena de valor de la electromovilidad. Por ejemplo, los incentivos podrían incluir exenciones de impuestos, facilidades para trámites como la verificación vehicular, esquemas de financiamiento y tarifas preferenciales para recarga.

Finalmente, para acelerar la implementación de esta medida, sería conveniente contar con una mayor promoción y difusión de los programas de financiamiento y más alianzas entre instituciones financieras y fabricantes para ofrecer opciones atractivas a los consumidores interesados en adquirir VE (sin considerar vehículos híbridos). Con estas acciones, se fortalecerá la cadena de valor de la electromovilidad y se fomentará una mayor adopción de estos vehículos en el país.

En conclusión, el desarrollo de una cadena de valor interna completa en México, que abarque desde la extracción de litio hasta la producción de baterías y su integración en productos finales como vehículos eléctricos, es crucial para reducir la dependencia del país de importaciones extranjeras. Una cadena de valor bien desarrollada no solo aumentaría la autosuficiencia energética del país, sino que también podría convertir a México en un exportador neto de tecnología de baterías, contribuyendo significativamente a su crecimiento económico, su posicionamiento en el mercado global de tecnologías limpias, y la distribución más justa de los beneficios que esta cadena puede conllevar.

Por último, es importante mencionar que las propuestas de política pública antes mencionadas, fueron ampliadas, en línea con la información generada durante el desarrollo de 2 mesas de trabajo desarrolladas entre los meses de octubre y noviembre por IDEA en colaboración con NREGI, denominadas *Diálogos para el desarrollo sostenible de una cadena de valor de baterías de litio en México*, cuyos principales hallazgos se presentan en el capítulo siguiente.

6- Hallazgos sobre oportunidades, retos y recomendaciones para el desarrollo de una cadena de valor de baterías de litio en México

Como parte de los objetivos planteados para el desarrollo del proyecto, se estableció la elaboración de un análisis detallado sobre los potenciales beneficios sociales, económicos y ambientales que pueden generarse con el desarrollo de una cadena de valor de baterías de litio en México. El cual sirvió como base para que partes interesadas de los sectores público, privado, academia y sociedad civil pudieran compartir y debatir, a través de mesas de diálogo, sus perspectivas, experiencias y preocupaciones sobre las cadenas de suministro responsables, las oportunidades y barreras para promover la cadena de valor del litio y el impacto en la electromovilidad nacional.

En este sentido, IDEA en colaboración con NRG1 desarrollaron entre los meses de octubre y noviembre dos mesas de diálogo denominadas *Diálogos para el desarrollo sostenible de una cadena de valor de baterías de litio en México*. Estas mesas formaron parte de un proyecto integral que busca analizar las oportunidades para el desarrollo de la cadena de valor del litio en México. Y surgen de la necesidad de convocar a las partes interesadas de los sectores público, privado y sociedad civil para que colaboren en la identificación de oportunidades y aborden los retos que plantea el desarrollo de una cadena de valor del litio nacional. Durante el desarrollo de las mesas pudimos contar con la participación de diversos actores de los sectores público, académico, industria y organizaciones no gubernamentales; quienes tuvieron la oportunidad de dialogar sobre las diversas perspectivas de la situación actual y futura de la cadena de valor del litio en México (ver lista de participante en el Anexo II). Donde dichos diálogos se enfocaron en un posible desarrollo de una cadena de valor de baterías de litio nacional, el impulso a la electromovilidad y su adopción a través del desarrollo e implementación de proyectos de electromovilidad a nivel subnacional. Tomando como temas principales: marco regulatorio nacional, sostenibilidad, desarrollo de capacidades, inversión y aseguramiento de la cadena de valor, marco regulatorio subnacional afín al desarrollo económico sostenible; el financiamiento para el impulso de la electromovilidad y e infraestructura de carga (los principales insumos generados durante las mesas de diálogo se pueden observar en el Anexo III).

En línea con lo anterior, de acuerdo con el análisis desarrollado, y presentado en este documento, y con los insumos generados durante las mesas de diálogo, *Diálogos para el desarrollo sostenible de una cadena de valor de baterías de litio en México*, en el presente capítulo se muestran los principales hallazgos sobre las oportunidades y retos identificados para el desarrollo de una cadena de valor de baterías de litio en México; y a partir de los cuales se proponen diversas recomendaciones de políticas públicas que pueden impulsar el desarrollo de una cadena de valor del litio en México.

6.1- Sobre los retos y oportunidades para el desarrollo de una cadena de valor de baterías basadas en litio en México

Así mismo, en orden de poder atender los retos y fomentar las oportunidades, se plantearon anteriormente, se presentan a continuación algunas políticas y actores que pueden impulsar la cadena de valor de baterías de litio en México (Tabla 9).

Tabla 9. Posibles políticas públicas y actores para impulsar la cadena de valor de baterías de litio en México.

Actores	Política pública
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Secretaría de Economía	<ul style="list-style-type: none"> ○ Establecer incentivos para la exploración y extracción sostenibles. ○ Establecer normatividad específica para la exploración y extracción sostenibles.
Secretaría de Economía Secretaría de Comunicaciones y Transporte BANOBRAS NAFIN	<ul style="list-style-type: none"> ○ Desarrollar infraestructura de soporte para la minería de litio.
Secretaría de Economía	<ul style="list-style-type: none"> ○ Fomentar asociaciones público-privadas (APP) y cooperación internacional. ○ Brindar incentivos para la fabricación local de componentes.
Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Secretaría de Economía	<ul style="list-style-type: none"> ○ Establecimiento de Normas para el diseño y la fabricación de baterías.
Secretaría de Economía Secretaría de Hacienda Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación Academia Industria Privada	<ul style="list-style-type: none"> ○ Fomento a la investigación y desarrollo (I+D). ○ Promoción de la Capacitación y la Certificación de Competencias. ○ Incentivos para la Creación de Empleos de Calidad. ○ Vinculación de la Industria con el Desarrollo Local
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Secretaría de Economía Industria Privada	<ul style="list-style-type: none"> ○ Implementación de un sistema de responsabilidad extendida del productor (REP). ○ Establecer normatividad específica para la gestión adecuada de residuos de la fabricación de baterías de litio ○ Establecer normatividad específica para la recolección, reciclaje y reutilización de baterías. ○ Desarrollo de infraestructura adecuada para la recolección y reciclaje de baterías. ○ Diseño de un sistema de digitalización y trazabilidad para el reciclaje de baterías.

Actores	Política pública
	<ul style="list-style-type: none"> ○ Incentivos para la reutilización y repotenciación de baterías. ○ Facilitación del comercio internacional de baterías y materiales reciclados.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, es necesario sumar a estas políticas, la creación e implementación de políticas públicas que estén enfocadas en impulsar la electromovilidad en el país. Esto es clave para la cadena de valor de baterías de litio, debido a que, entre más demanda exista, más rápido se desarrollará la industria y por ende cada eslabón de producción. En este sentido se identificaron los actores más relevantes para impulsar la electromovilidad en México y sus respectivas responsabilidades, los cuales se muestran a continuación (Tabla 10):

Tabla 10. Posibles políticas públicas y actores para impulsar la electromovilidad a nivel subnacional en México.

Actores	Atribuciones y Responsabilidades
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental Gobiernos Locales	<ul style="list-style-type: none"> ○ Formular una política pública ambiental integral a fin de implementar acciones públicas para conservar los recursos naturales. ○ Adaptación de Legislación Estatal y Municipal que promueva en los gobiernos estatales y municipales el diseño de estrategias en materia de electromovilidad. ○ Apoyar el desarrollo de las capacidades institucionales de los gobiernos estatales y locales.
Secretarías de Movilidad o Medio Ambiente municipales, según corresponda	<ul style="list-style-type: none"> ○ Gestionar a nivel local la venta de vehículos eléctricos y su infraestructura.
Secretaría de Comunicaciones y Transportes Subsecretaría de Transporte Gobiernos Locales	<ul style="list-style-type: none"> ○ Promover sistemas de transporte seguros, eficientes y competitivos, mediante el fortalecimiento del marco jurídico, la definición de políticas públicas y el diseño de estrategias.
Secretaria de Hacienda	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ampliar la vigencia del decreto que modifica la Tarifa de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación para incluir vehículos eléctricos y de celdas de combustible de hidrógeno sin arancel, ya que actualmente su vigencia concluye el 30 de septiembre de 2024.
Autoridad Normalizadora Gubernamental	<ul style="list-style-type: none"> ○ Establecer procesos de certificación y estandarización para la interoperabilidad y compatibilidad entre los distintos sistemas de los vehículos eléctricos, considerando el ciclo de vida.

Actores	Atribuciones y Responsabilidades
<p>Secretaría de Energía Comisión Federal de Electricidad Comisión Reguladora de Energía Secretaría de Economía</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Establecer un plan de inversiones para ampliar y mejorar las redes de transmisión. ○ Establecer un plan para implementar una mayor capacidad de energía renovable en país. ○ Establecer los criterios y requisitos idóneos para desarrollar infraestructura adecuada para la carga y recarga de vehículos eléctricos. ○ Implementación efectiva de la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica (ENME) es clave para impulsar la adopción de vehículos eléctricos en el país, promoviendo una movilidad más sostenible y amigable con el medio ambiente.
<p>Academia</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Incorporar planes de estudio enfocados en la electromovilidad y su cadena de valor a la oferta académica. Esto garantizará una formación adecuada y actualizada del personal que participe en la industria de los vehículos eléctricos.
<p>Fabricantes, como: Nissan, Audi, Tesla, Chevrolet, Toyota, Renault, Ford, Kia, Volkswagen, BMW, JAC</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ofrecer tecnología para los vehículos eléctricos. ○ Brindar servicios especializados para los vehículos eléctricos.
<p>Asociación Mexicana de Impulso al Vehículo Eléctrico (AMIVE)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Alianza estratégica dedicada a abordar los desafíos y oportunidades en el ecosistema emergente de la movilidad eléctrica en México. ○ Promover regulaciones y políticas específicas dirigidas al desarrollo de la electromovilidad en los tres niveles de gobierno. ○ Compartir conocimientos, experiencias y oportunidades de negocio que impulsen la adopción de los vehículos eléctricos.
<p>Asociación Nacional de Vehículos Eléctricos y Sustentables A.C. (ANVES)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Articular y promover el desarrollo de vehículos y tecnologías de movilidad sustentable en México, ofertando servicios de calidad a sus asociados e interesados en todo el territorio nacional. ○ Fomentar una economía circular, colaborativa, eficiente y sustentable.
<p>Asociación de Usuarios de Vehículos Eléctricos (AUVE)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Compuesto por personas usuarias o interesadas en los vehículos eléctricos. ○ Impulsar la movilidad eléctrica a través de la infraestructura de recarga pública y de los incentivos de las administraciones públicas. ○ Proteger y defender los derechos e intereses de las personas usuarias de vehículos eléctricos.
<p>Asociación Mexicana de Transporte y Movilidad (AMTM)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Representación del sector del transporte público y la movilidad en la formulación de la política pública.

Actores	Atribuciones y Responsabilidades
Secretaria de Hacienda Banca Nacional Banca Privada Gobiernos Locales	<ul style="list-style-type: none"> ○ Brindar estímulos fiscales para acelerar la adopción de vehículos eléctricos y fomentar inversiones en infraestructura relacionada. ○ Créditos preferenciales ○ Oportunidades en financiamiento regionalizado ○ Autofinanciamiento a través de esquemas tipo ESCO

Fuente: Elaboración propia.

6.2- Recomendaciones para el desarrollo de políticas públicas enfocadas en el desarrollo de una cadena de valor de baterías de litio en México.

En línea con los insumos generados tras la realización del diagnóstico inicial y los hallazgos encontrados durante las mesas de diálogo, a continuación, se presentan algunas recomendaciones para la elaboración de políticas públicas enfocadas en el desarrollo de una cadena de valor de baterías de litio en México, de acuerdo con los aspectos más relevantes.

a) Marco Regulatorio

Para fortalecer una estructura jurídica que fomente la estabilidad y el desarrollo sostenible de la cadena de valor del litio en México, es importante diseñar políticas públicas basadas en principios de gobernanza sólida, transparencia y visión de largo plazo. En este sentido se recomienda desarrollar políticas públicas enfocadas en lo siguiente:

3. **Ampliar la estructura de gobernanza de LitoMX en términos de sostenibilidad, transparencia y eficiencia económica:** Es necesario que, además de regular, supervisar y promover todas las actividades relacionadas con el litio en México, esta empresa estatal tenga como parte de sus objetivos y obligaciones, garantizar que las operaciones relacionadas con este recurso estratégico se desarrollen bajo principios de sostenibilidad, transparencia y eficiencia económica. Para lo cual es de suma importancia contar, dentro de estructura de gobernanza, con Órganos Técnicos especializados en minería, medio ambiente, economía y tecnologías de almacenamiento energético.
4. **Diseño de un marco jurídico y normativo específico:** Un marco jurídico bien definido es esencial para evitar interpretaciones ambiguas y discrecionalidad en la aplicación de las leyes. En este sentido, la legislación debe contener las responsabilidades específicas de LitoMX, los estados y municipios, evitando conflictos de competencias; se deben crear disposiciones que limiten cambios regulatorios abruptos y garanticen la continuidad de proyectos estratégicos, incluso con cambios de administración; debe otorgar seguridad jurídica a los inversionistas nacionales e internacionales sin comprometer la soberanía del Estado mexicano; así como incluir normativas estrictas que garanticen que

las operaciones relacionadas con el litio cumplan con estándares ambientales nacionales e internacionales.

1. **Creación e implementación de un Marco de Transparencia:** La creación de este Marco es fundamental para evitar riesgos de corrupción y/o discrecionalidad. Para esto, dicho Marco de Transparencia debe contemplar la rendición de cuentas, a través de publicar contratos y concesiones; informes de producción y regalías; inversiones en proyectos de desarrollo social y comunitario. Así como la presentación de informes anuales sobre el avance de los objetivos estratégicos y los recursos asignados.
2. **Adaptación de Legislación Estatal y Municipal para promover la electromovilidad:** Para facilitar la implementación de proyectos de electromovilidad en los niveles estatal y municipal, es crucial diseñar políticas públicas que adapten legislación y reglamentos locales para este fin. Para lo cual se deben:
 - Crear Leyes Estatales y Municipales enfocadas en la Electromovilidad, con el objetivo de definir los lineamientos y competencias para desarrollar proyectos de infraestructura y transporte eléctrico. Que sean flexibles, en orden de prever la evolución tecnológica y social para garantizar que los reglamentos puedan adaptarse a nuevas necesidades, como innovaciones en baterías o sistemas de carga.
 - Actualizar leyes de movilidad, desarrollo urbano y transporte público actuales para permitir la operación de vehículos eléctricos de transporte público y flotas cautivas. Así como para vincular los presupuestos a metas establecidas, reflejando explícitamente los objetivos de electromovilidad en los Programas Operativos Anuales (POA) y en las leyes de ingresos y egresos. Esto, en orden de garantizar la viabilidad financiera y administrativa de los proyectos; permitiendo que su implementación supere los periodos de las administraciones locales.
 - Armonizar las normativas subnacionales con la normativa Federal, en orden de garantizar que las leyes estatales y municipales estén alineadas con políticas nacionales.
 - Diseñar y establecer reglamentos locales para la infraestructura de recarga que incluyan la designación de zonas prioritarias para la instalación de estaciones de carga en espacios públicos y privados. Y que además regulen los requisitos técnicos para estaciones de recarga considerando normas de seguridad eléctrica y protección al usuario.
 - Simplificación de trámites mediante la implementación de ventanillas únicas digitales para permisos de instalación y operación de estaciones de recarga, reduciendo tiempos y costos administrativos.
3. **Establecimiento de mecanismos de coordinación:** A través del desarrollo de plataformas interinstitucionales para que los gobiernos estatales y municipales trabajen en conjunto con el sector privado y la sociedad civil. Los

estados pueden liderar iniciativas regionales que integren a municipios y actores privados para planificar y coordinar proyectos de movilidad eléctrica. Esto incluye esfuerzos conjuntos para gestionar recursos, diseñar políticas y evaluar avances.

4. **Implementación de un Marco Normativo que garantice empleos de calidad en la Industria de la Electromovilidad:** Estableciendo normas específicas para los empleos generados en la industria, garantizando:
 - Condiciones seguras y saludables en el entorno laboral.
 - Prohibir o limitar prácticas de outsourcing que reduzcan derechos laborales en sectores clave de la electromovilidad, como la fabricación de baterías o el ensamblaje de vehículos eléctricos.
 - Establecer programas públicos en conjunto con universidades, institutos tecnológicos y centros de formación técnica para diseñar planes de estudio para desarrollar habilidades específicas y capacitar a trabajadores en competencias clave y demandadas por la industria como ensamblaje de vehículos eléctricos, mantenimiento de infraestructura de recarga, gestión de sistemas eléctricos avanzados, reciclaje de baterías, etc.
 - Crear un sistema nacional de certificación para validar las habilidades de los trabajadores y aumentar su empleabilidad en la industria.
5. **Implementar programas de vinculación de la Industria con el Desarrollo Local:** Para permitir el desarrollo de cadenas de valor locales, priorizando el uso de proveedores y contratistas locales en la cadena de suministro de la electromovilidad, generando empleo en comunidades cercanas.
6. **Implementación de un sistema de monitoreo y evaluación:** Esto con el objetivo de establecer indicadores locales de desempeño que midan, entre otros, reducción de emisiones; uso de infraestructura de recarga; adopción de vehículos eléctricos en transporte público y privado; calidad laboral, niveles de satisfacción de trabajadores y comunidades.

b) Aseguramiento de la cadena de valor

Para el desarrollo de una cadena de valor sostenible de baterías de litio en México es esencial implementar políticas públicas industriales que aseguren un desarrollo equilibrado de la cadena de valor y que garanticen la sostenibilidad y competitividad. Por lo que dichas políticas deben fomentar un crecimiento económico ambientalmente sostenible y socialmente incluyente. En línea con lo anterior, se propone que el diseño de estas políticas considere lo siguiente:

7. **Fomento al incremento de contenido nacional:** El establecimiento de una cadena de valor sostenible para las baterías de litio en México debe fomentar la participación de las empresas mexicanas en cada eslabón del proceso, para lo cual se puede contemplar lo siguiente:

- Crear programas de apoyo técnico y financiero para pequeñas y medianas empresas (PYMES) mexicanas que puedan integrarse como proveedores de componentes, materiales o servicios dentro de la cadena de valor.
- Establecer incentivos para empresas extranjeras que incorporen un porcentaje mínimo de contenido local en la producción de baterías.
- Desarrollar clústeres especializados en regiones estratégicas del país que vinculen empresas, universidades y centros de investigación nacionales que se conviertan en proveedores de la cadena de valor.

1. **Innovación y Transferencia de Tecnología:** La innovación tecnológica es un pilar fundamental para el desarrollo de una cadena de valor competitiva y sostenible. Por lo que la adopción de nuevas tecnologías y la inversión en investigación y desarrollo (I+D) son esenciales, así como el fomentar alianzas estratégicas entre instituciones académicas, centros de investigación y empresas. Lo cual permitirá generar conocimientos especializados, adaptados a las necesidades y capacidades del país. En relación con lo anterior, se propone que el desarrollo de políticas públicas en este aspecto considere lo siguiente:
 - Establecer un centro de investigación especializado en tecnologías de baterías que fomente la innovación en almacenamiento energético, reciclaje y extracción sostenible de litio.
 - Financiar proyectos de innovación que utilicen materiales alternativos para reducir la dependencia exclusiva del litio.
 - Facilitar la transferencia tecnológica mediante acuerdos internacionales, capacitación técnica y compra de licencias para tecnologías patentadas en manufactura y reciclaje.
 - Implementar programas de formación técnica en manufactura avanzada y reciclaje de baterías en colaboración con instituciones académicas y técnicas.
 - Establecer estándares nacionales de competencias laborales para las actividades relacionadas con la cadena de valor de baterías.
 - Ofrecer certificaciones reconocidas internacionalmente para mejorar la empleabilidad de los trabajadores mexicanos.
2. **Infraestructura estratégica:** La infraestructura es el cimiento para el desarrollo eficiente y competitivo de una cadena de valor donde cada etapa requiere una base logística sólida, acceso a energía renovable y facilidades para la conectividad entre regiones clave. En este sentido, se propone que las políticas públicas que fomenten el desarrollo de esta infraestructura contemplen lo siguiente:

- Designar ZEE dedicadas al desarrollo de la industria de baterías, con incentivos fiscales, tarifas preferenciales de electricidad renovable y facilidades logísticas.
 - Modernizar las vías de transporte entre las áreas de extracción, manufactura y distribución para optimizar costos y reducir emisiones.
 - Desarrollar corredores verdes que integren energías renovables para el transporte de materiales y productos.
 - Garantizar el suministro de electricidad renovable a bajo costo para las industrias asociadas a la manufactura de baterías de litio.
3. **Sustentabilidad y Economía Circular:** La sustentabilidad y la economía circular son principios clave para asegurar que la cadena de valor de las baterías de litio en México no solo sea competitiva, sino también respetuosa con el medio ambiente y socialmente responsable. La integración de estos enfoques permite maximizar la reutilización de materiales, reducir el impacto ambiental y promover la eficiencia en el uso de recursos a lo largo de toda la cadena de valor. Por lo que se propone que el diseño de políticas públicas enfocadas en lo anterior, contemplen lo siguiente:
- Establecer límites claros sobre el impacto ambiental permitido, priorizando tecnologías de bajo impacto hídrico y de carbono.
 - Requerir planes de restauración ambiental y de mitigación de emisiones como condición para desarrollar cualquier eslabón de la cadena.
 - Obligar a los fabricantes de baterías a implementar programas de recolección, reciclaje y disposición adecuada al final de la vida útil de los productos.
 - Crear un sistema de incentivos para las empresas que alcancen altas tasas de recuperación de materiales reciclables.
 - Promover una certificación voluntaria (con beneficios económicos) que garantice prácticas sostenibles en toda la cadena de valor.
 - Implementar incentivos para la creación de plantas de reciclaje de baterías que recuperen litio, cobalto y otros materiales críticos.
 - Promover la reutilización de materiales reciclados en la manufactura de nuevas baterías.
 - Fomentar la investigación en materiales alternativos que reduzcan la dependencia de minerales críticos como el litio y el cobalto.
 - Diseñar políticas que fomenten la adopción de principios de economía circular, maximizando la vida útil de los recursos en la cadena de valor.

c) Sostenibilidad

La sostenibilidad no solo implica considerar aspectos medioambientales, sino también factores sociales y económicos, además de contemplar los riesgos de gobernanza asociados al desarrollo del litio y mejorar la seguridad y resiliencia de las cadenas del suministro. Por lo cual se recomienda desarrollar políticas públicas enfocadas en lo siguiente

1. **Diseño e implementación de Regulación Ambiental:** En este sentido, se propone que la normatividad ambiental considere los siguientes aspectos:
 - Establecer parámetros ambientales obligatorios, como límites en el uso de agua, recuperación de ecosistemas y manejo adecuado de residuos.
 - Establecer una obligación de las empresas de baterías de implementar planes de reciclaje y disposición final.
 - Incentivar el diseño de baterías más fácilmente reciclables (por ejemplo, con componentes desmontables).
 - Incentivar la construcción de plantas de reciclaje en regiones con altos niveles de producción de baterías.
 - Exigir que las nuevas instalaciones sean carbono neutrales, usando fuentes de energía renovable.
 - Establecer metas obligatorias de reducción de emisiones para toda la cadena de valor, con incentivos para las empresas que logren certificaciones de carbono neutral.

2. **Diseño e implementación de Esquemas para el Desarrollo Social:** Para que el desarrollo de la cadena de valor este vinculado al desarrollo social, se debe considerar lo siguiente:
 - Priorizar la contratación de trabajadores locales y garantizar condiciones laborales justas.
 - Establecer programas de desarrollo comunitario enfocados en educación, salud y acceso a servicios básicos.
 - Diseñar un esquema de regalías que garantice que los ingresos se reinviertan en desarrollo social y ambiental en las regiones afectadas.
 - Diseñar procesos participativos para involucrar a las comunidades locales en la planificación y monitoreo de proyectos.
 - Crear programas educativos para formar técnicos especializados en manufactura, manejo de baterías y reciclaje, en colaboración con universidades y centros tecnológicos internacionales.
 - Ofrecer certificaciones específicas que validen habilidades en estos sectores.

- Desarrollar un sistema de certificación nacional que evalúe el impacto ambiental y social de los proyectos de inversión.
 - Establecer mesas de diálogo con comunidades locales para identificar necesidades específicas y asegurar beneficios tangibles como empleos, infraestructura y capacitación.
 - Implementar esquemas de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), para fomentar que las empresas financien programas de reciclaje y disposición final de baterías, asegurando una gestión responsable a lo largo de todo su ciclo de vida.
 - Incentivar la innovación en procesos de reutilización de materiales para minimizar desechos.
3. **Diseño e implementación de Esquemas para el Desarrollo Económico sostenible:** Para que el desarrollo de la cadena de valor fomente el desarrollo económico, se debe considerar lo siguiente:
- Reducción de impuestos o financiamiento accesible para proyectos que utilicen tecnologías limpias y cumplan con criterios de sostenibilidad.
 - Bonificaciones fiscales para las empresas que desarrollen infraestructura de reciclaje en México.
 - Financiar desarrollos en almacenamiento de energía con tecnologías más sostenibles y competitivas.
 - Establecer centros nacionales especializados en litio y baterías, distribuidos estratégicamente en regiones con potencial de desarrollo industrial.
 - Promover la fabricación local de componentes esenciales, como cátodos, ánodos y electrolitos, para reducir la dependencia de proveedores internacionales.
 - Mejorar la calidad de la manufactura nacional al facilitar acuerdos con líderes internacionales de la industria para traer tecnologías avanzadas al país. Y así establecer condiciones favorables para que las empresas compartan conocimientos con actores nacionales.
 - Diseño e implementación de acuerdos comerciales que prioricen cadenas de suministro limpias, para posicionar a México como un proveedor confiable de baterías.
 - Incentivar la electrificación de flotas públicas y privadas mediante el uso de baterías fabricadas en México.
 - Diseñar un sello de sostenibilidad para baterías que cumplan con los más altos estándares ambientales y sociales, facilitando su entrada a mercados internacionales.

d) Inversión y Financiamiento

Para incentivar la inversión tanto nacional como extranjera, así como para facilitar el financiamiento para el desarrollo de una cadena de valor de baterías en México, es esencial definir políticas públicas claras que especifiquen las condiciones y fases de inversión, estableciendo prioridades a corto, mediano y largo plazo para el desarrollo de las distintas etapas de la cadena de valor. Buscando que la inversión sea de carácter mixto, combinando capital público y privado. En este sentido, se propone que dichas políticas consideren lo siguiente:

1. **Desarrollo de un Marco Regulatorio que brinde estabilidad jurídica:** En línea con este punto, el diseño del marco regulatorio debe contemplar aspectos como los siguientes:
 - Garantizar que las leyes relacionadas con la manufactura de baterías y reciclaje sean claras, predecibles y alineadas con estándares internacionales.
 - Establecer un marco jurídico específico que asegure la protección a largo plazo de las inversiones en esta cadena de valor.
 - Incorporar cláusulas de protección a la inversión en tratados de libre comercio para atraer capital extranjero, asegurando condiciones justas y transparentes para los inversores.
 - Coordinar las legislaciones estatales y municipales con las leyes federales para reducir conflictos legales que puedan disuadir a los inversionistas.
 - Negociar cláusulas en tratados comerciales como el T-MEC o acuerdos con la Unión Europea para garantizar acceso preferencial a mercados y materiales.
 - Incorporar mecanismos de resolución de disputas para proteger a inversionistas internacionales en caso de conflictos con el gobierno.
2. **Establecimiento de incentivos fiscales y financieros:** México no ha implementado de manera efectiva de modelos de compensación que incentiven la inversión y faciliten la obtención de financiamiento. En este sentido se propone que las políticas públicas para el desarrollo contemplen lo siguiente:
 - Implementar exenciones en el impuesto sobre la renta (ISR) durante los primeros cinco años para empresas que inviertan en manufactura o reciclaje de baterías.
 - Reducir el IVA en la adquisición de insumos tecnológicos necesarios para la producción.
 - Ofrecer aranceles preferenciales para la importación de tecnología avanzada y componentes esenciales que no se produzcan localmente.

- Crear un fondo nacional de desarrollo de baterías financiado con aportaciones gubernamentales y del sector privado, destinado a proyectos de infraestructura, manufactura y reciclaje.
 - Proveer acceso a líneas de crédito a través de la banca de desarrollo con tasas preferenciales para proyectos que utilicen prácticas sostenibles.
 - Financiar hasta un 50% del costo de implementación de tecnologías limpias para empresas que migren a procesos más sostenibles.
 - Establecer bonos de sostenibilidad que premien a empresas con certificaciones ambientales avanzadas.
3. **Atracción de inversión extranjera:** Además de lo mencionado en los puntos anteriores, es de suma importancia que México se dé a conocer como un país atractivo para atraer inversiones asociadas a la cadena de valor de baterías. Por lo cual, el desarrollo de políticas públicas de promoción económica en el tema de cadenas de valor puede considerar lo siguiente:
- Organizar conferencias y exposiciones internacionales en las que se promoció a México como un destino competitivo para inversiones en baterías de litio.
 - Crear un portafolio de proyectos predefinidos que incluyan análisis de viabilidad, retorno esperado y beneficios fiscales, presentándolos a potenciales inversores.
 - Firmar acuerdos de cooperación tecnológica con países líderes en manufactura de baterías.
 - Establecer consorcios público-privados que unan a empresas mexicanas con multinacionales para compartir riesgos y beneficios.
 - Desarrollar clústeres regionales que incluyan universidades, centros de investigación, fabricantes y proveedores locales para impulsar la innovación en toda la cadena de valor.
 - Fomentar la especialización regional: por ejemplo, manufactura en el Bajío y reciclaje en el norte del país.
 - Destinar un porcentaje de los ingresos generados por regalías de litio al financiamiento de proyectos de investigación en nuevas tecnologías de almacenamiento y reciclaje.
 - Incentivar asociaciones entre instituciones académicas y empresas privadas para desarrollar tecnologías patentables.
4. **Desarrollo de esquema de autofinanciamiento tipo ESCO enfocados en el sector público:** Este esquema plantea que los ahorros generados por la implementación de proyectos que mitiguen emisiones y utilicen energías limpias se reinviertan en nuevos proyectos. Lo cual resulta especialmente útil para los gobiernos subnacionales con presupuestos limitados. Para el

desarrollo de políticas públicas que faciliten la implementación de este tipo de esquemas en el sector público, se puede considerar lo siguiente:

- Establecer disposiciones claras dentro de las leyes de adquisiciones públicas que permitan contratos de largo plazo con ESCOs, incluyendo esquemas de pago basados en ahorros energéticos.
- Reconocer los modelos ESCO como una figura válida dentro de los procedimientos de licitación pública.
- Definir normativas que obliguen a las entidades públicas a adoptar estándares mínimos de eficiencia energética, incentivando el uso de servicios ESCO para cumplirlos.
- Incorporar la certificación de proyectos ESCO en los procesos de verificación del cumplimiento normativo.
- Implementar y regular contratos de garantía de ahorro energético asegurando que los resultados se midan de forma transparente y estandarizada.
- Crear fondos de inversión específicos para financiar proyectos ESCO en el sector público, con tasas de interés preferenciales y plazos adecuados a los periodos de retorno.
- Promover alianzas público-privadas que garanticen recursos para proyectos tipo ESCO.
- Fomentar el uso de bonos verdes para financiar proyectos ESCO.
- Vincular proyectos ESCO con mecanismos de financiamiento climático internacionales.
- Implementar programas de capacitación para funcionarios públicos sobre el diseño, licitación y evaluación de contratos ESCO.
- Ofrecer guías prácticas para identificar oportunidades de ahorro energético y estructurar proyectos con ESCO en el sector público.
- Crear oficinas de apoyo técnico que asesoren a entidades públicas en la evaluación de propuestas ESCO, garantizando su viabilidad técnica y financiera.
- Desarrollar un programa nacional de certificación ESCO que garantice la calidad de los servicios y facilite la selección de proveedores confiables.
- Establecer premios o reconocimientos para entidades públicas que logren mayores avances en eficiencia energética mediante la implementación de proyectos tipo ESCO.
- Incluir los modelos ESCO en planes nacionales de energía y estrategias climáticas como herramientas clave para reducir el consumo energético en el sector público.

- Establecer una plataforma de coordinación entre diferentes niveles de gobierno para facilitar la adopción de proyectos ESCO en el ámbito municipal, estatal y federal.
- Crear protocolos estandarizados para la implementación de contratos ESCO, agilizando los procesos de aprobación y ejecución.
- Implementar sistemas de monitoreo continuo y auditorías independientes para validar los ahorros energéticos generados por los proyectos ESCO.
- Crear un registro público de resultados de proyectos para fomentar la transparencia y la confianza en el modelo.
- Asegurar que los proyectos ESCO consideren criterios de sostenibilidad ambiental y beneficios sociales, como la reducción de emisiones y la generación de empleo local.

7- Conclusiones

Debido a su relevancia estratégica para la industria tecnológica, la transición energética, la descarbonización del transporte y el almacenamiento de energía generada a partir de fuentes renovables, el litio se ha convertido en uno de los minerales más importantes a nivel global. En este estudio, se analizó la cadena de valor de litio, enfocado únicamente a la producción de baterías de vehículos eléctricos, considerando las características específicas de México.

Dentro de los hallazgos de este estudio, se identifica que la cadena de valor de litio para las baterías de vehículos eléctricos es una gran oportunidad para México, por las ventanas de oportunidad que presenta en comparación con otros países.

Los resultados del análisis de los beneficios muestran que el desarrollo de una cadena de valor de litio para baterías de vehículos eléctricos en México podría generar ventajas sociales, ambientales y económicos en un escenario NDC y NDC + EE. UU. En este estudio se tomaron como beneficios los empleos, la mitigación de emisiones y el valor económico agregado, respectivamente. A partir de estos resultados, se identificó que los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y Puebla cuentan con amplias capacidades para el desarrollo de una cadena de valor de baterías de litio.

Asimismo, dentro de estas oportunidades, se encuentra el desarrollo regional de estas baterías en Norteamérica, en el que México ya participa como un actor estratégico. La participación de México en la cadena regional ha sido impulsada por legislaciones como la IRA, y tratados comerciales como el T-MEC. Aunado a esto, México cuenta con una industria automotriz desarrollada, que sigue en crecimiento con empresas como, Ford, Stellantis, BMW, GM, Volkswagen (VW) y Audi, que han empezado a fabricar o han anunciado planes para fabricar vehículos eléctricos en el país.

No obstante, el país enfrenta actualmente una gran incertidumbre política y jurídica en torno a la extracción de litio y la participación de la nueva empresa minera estatal, litioMx. Principalmente debido a que las facultades y responsabilidades que tendrá la empresa dentro de la cadena de valor de baterías de iones de litio no son del todo claras. Por ello, es importante que México desarrolle políticas industriales que impulsen esta cadena de valor de forma sostenible, lo que significa adoptar un enfoque en el que se incluyan prácticas y tecnologías destinadas a minimizar los impactos ambientales y sociales de la producción, uso y eliminación de las baterías. Así como, impulsar la demanda y el desarrollo de la industria de vehículos eléctricos, a través de la innovación, el capital humano, el desarrollo de proveedores y la infraestructura; mejoras en las regulaciones para la electromovilidad; el compromiso político y los instrumentos de planeación; la rendición de cuentas y la vigilancia de cumplimiento; el acceso a la información; los incentivos; las capacidades para cumplir con la medida; y el financiamiento. De esta manera, se podría fortalecer la cadena de valor de la electromovilidad, al igual que la adopción de estos vehículos en el país.

Adicionalmente, para aumentar la penetración de vehículos eléctricos en el país, se deben desarrollar políticas que mejoren o creen regulaciones para impulsar la electromovilidad; establecer el compromiso político y los instrumentos de planeación; la rendición de cuentas y la vigilancia de cumplimiento; el acceso a la información; los incentivos; las capacidades para cumplir con la medida; y el financiamiento. De esta manera, se podría fortalecer la cadena de valor de la electromovilidad, al igual que la adopción de estos vehículos en el país.

Finalmente, es importante comprender que México aún no tiene claro el futuro asociado al desarrollo de una cadena de valor relacionada con la electromovilidad. Sin embargo, existe la disponibilidad y el deseo de las partes interesadas de llevar a cabo dicho desarrollo.

Una cadena de valor bien desarrollada no solo aumentaría la autosuficiencia energética del país, sino que también podría convertir a México en un exportador neto de tecnología de baterías, contribuyendo significativamente a su crecimiento económico, su posicionamiento en el mercado global de tecnologías limpias, y la distribución más justa de los beneficios que esta cadena puede conllevar.

Por lo que es relevante que México desarrolle políticas que impulsen esta cadena de valor de forma sostenible, lo que significa adoptar un enfoque en el que se incluyan prácticas y tecnologías destinadas a revertir y minimizar los impactos ambientales y sociales de la producción, uso y desecho de las baterías. Así como, impulsar la demanda y el desarrollo de la industria de vehículos eléctricos, a través de la innovación, el capital humano, el desarrollo de proveedores y la infraestructura.

8- Bibliografía

- Alatorre Campos, A. E., & Santillán Alcántara, Y. (2020). Yacimientos de Litio. Obtenido de <https://www.revistageomimet.mx/2020/12/yacimientos-de-litio/>
- Aleida Azamar, A., & Isidro Téllez, R. (2022). *Minería en México: Panorama social, ambiental y económico 2022*. SEMARNAT. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/708117/Mineria-en-Mexico-2022.pdf>
- AMIA. (2022). *Importancia de la Industria Automotriz*. https://www.amia.com.mx/publicaciones/industria_automotriz/
- AMIA. (2024a). *México en la Producción Mundial de Vehículos*. <https://www.amia.com.mx/about/vehiculos-mexico/>
- AMIA. (2024b). *Plantas de ensamble de vehículos, motores y transmisiones de empresas asociadas*. [Map]. https://www.amia.com.mx/about/plantas_ensamble/
- Azmar, A. (2022). "El litio en México: verdades y mentiras", Aleida Azamar e Isidro Téllez (coordinadores) *Minería en México: panorama social, ambiental y económico*, México, Semarnat, -UAM-X, Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/708117/Mineria-en-Mexico-2022.pdf>
- Australian Trade and Investment Commission, (ATIC). (2018). *The lithium-ion battery value chain: New economy opportunities for Australia* (Australia). <https://apo.org.au/node/210341>
- Ballesteros, F. (2022). *Perspectivas para el litio en México después de las reformas a la Ley Minera*. Natural Resource Governance Institute. https://resourcegovernance.org/sites/default/files/documents/litio_en_mexico_y_reforma_minera_0.pdf
- Birlain Escalante, M. O. (2023). *Análisis de la Cadena de Valor de la Industria Fotovoltaica en México* [UNAM]. <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000848997/3/0848997.pdf>
- BloombergNEF. (2023, noviembre 26). Lithium-Ion Battery Pack Prices Hit Record Low of \$139/kWh. *BloombergNEF*. <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-hit-record-low-of-139-kwh/>
- Casey, J. P. (2023, junio 12). On the rails: Around Western Australia's massive mining rail network. *Mining Technology*. <https://www.mining-technology.com/features/pilbara-mine-and-rail-network-in-australia/>
- Centro de Documentación Europea. (2020, diciembre 14). *Pacto Verde Europeo: Baterías sostenibles para una economía circular y climáticamente neutra*. Centro de Documentación Europea de la Universidad de Granada. <https://cde.ugr.es/index.php/union-europea/noticias-ue/1100-pacto-verde-europeo-baterias-sostenibles-para-una-economia-circular-y-climaticamente-neutra>
- CINVESTAV. (2023). El litio de México. *El litio de México» Avance y Perspectiva* (cinvestav.mx)
- CGEP, C. J. (2023, septiembre 20). *The IRA and the US Battery Supply Chain: One Year On*. Center on Global Energy Policy at Columbia University SIPA | CGEP. <https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/the-ira-and-the-us-battery-supply-chain-one-year-on/>
- CONUEE, & SENER. (2023). *Electromovilidad en México*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/857010/cuaderno_ELECTROMOVILIDAD_EN_MEXICO.pdf

- Crownhart, C. (2023).** *How sodium could change the game for batteries: Cheaper batteries might be on the horizon.* MIT Technology Review.
<https://www.technologyreview.com/2023/05/11/1072865/how-sodium-could-change-the-game-for-batteries/>
- Department of Industry, Science and Resources. (2023).** *Resources and Energy Quarterly December 2023* (Vol. 13, núm. 3; p. 159). Department of Industry, Science and Resources.
<https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2023-12/resources-and-energy-quarterly-december-2023.pdf>
- Department of Industry, Science and Resources. (2024).** *Resources and Energy Quarterly, June 2024* (Vol. 14, núm. 2; p. 171). Department of Industry, Science and Resources.
https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2024-06/resources_and_energy_quarterly_june_2024.pdf
- Directorio Automotriz. (2024).** Mapeo de Electromovilidad en México.
www.directorioautomotriz.com.mx
- Duran, P. (2024).** Lithium Extraction from Clays is a reality. Obtenido de <https://mexicobusiness.news/mining/news/lithium-extraction-clays-reality-perez-garibay>
- EDF (2023).** U.S. Electric Vehicle Manufacturing Investments and Jobs Characterizing the Impacts of the Inflation Reduction Act after 1 Year. EDF WSP EV report 8-16-23 FINAL FINAL.pdf
- ELEMENTS (2022).** The Key Minerals in an-EV Battery. Visualizing the Key Minerals in an-EV Battery (visualcapitalist.com)
- Ellerbeck, S. (2023, enero 10).** Lithium: Here's why Latin America is key to the global energy transition. World Economic Forum.
<https://www.weforum.org/agenda/2023/01/lithium-latin-america-energy-transition/>
- Fleck, A. (2024, abril 2).** *Infographic: China Is the World Leader in Battery Recycling.* Statista Daily Data.
<https://www.statista.com/chart/32016/existing-and-planned-lithium-ion-battery-recycling-capacity>
- Garduño, S. (2022, agosto 10).** *US Inflation Reduction Act to Benefit Mexican Automotive Industry.* Mexico Business.
<https://mexicobusiness.news/automotive/news/us-inflation-reduction-act-benefit-mexican-automotive-industry>
- Gobierno de Chile. (2023).** *Estrategia Nacional del Litio: Por Chile y su Gente.* CORFO e InvestChile.
https://s3.amazonaws.com/gobcl-prod/public_files/Campa%C3%B1as/Litio-por-Chile/Estrategia-Nacional-del-litio-ES_14062023_2003.pdf
- Grand View Research. (2024).** *Lithium-ion Battery Market Size, Share & Growth Report, 2030.*
<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/lithium-ion-battery-market>
- Hernández, E. (2022, abril 20).** *Bolivia es el aliado de México para explotar, producir y procesar el litio.* Forbes México.
<https://www.forbes.com.mx/bolivia-es-el-aliado-de-mexico-para-explotar-producir-y-procesar-el-litio>
- ICCT. (2024).** *Electric Vehicle Market and Policy Developments in U.S. States, 2023.*
https://theicct.org/wp-content/uploads/2024/05/ID-154-%E2%80%93-U.S.-EVs_final.pdf
- ICM. (2022).** *Anexo técnico de NDC-SC.*
- IEA. (2022).** Reducing the impact of extractive industries on groundwater resources.
<https://www.iea.org/commentaries/reducing-the-impact-of-extractive-industries-on-groundwater-resources>
- IEA. (2023).** *Inflation Reduction Act of 2022 – Policies.* IEA.
<https://www.iea.org/policies/16156-inflation-reduction-act-of-2022>

- IEA. (2024a). Global Critical Minerals Outlook 2024. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ee01701d-1d5c-4ba8-9df6-abeeac9de99a/GlobalCriticalMineralsOutlook2024.pdf>
- IEA. (2024b). *Global EV Outlook 2024: Trends in electric cars.* IEA. <https://www.iea.org/energy-system/transport/electric-vehicles>
- IMCO. (2021). *Anexo: ¿Cómo funcionan las Reglas de Origen del sector automotriz bajo el T-MEC?* Instituto Mexicano para la Competitividad. https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2021/07/20212907_Reglas-de-Origen-del-sector-automotriz-bajo-el-T-MEC_Anexo.pdf
- Incorrys. (2024). *Global Refined Lithium Production and Forecast. Data, Intelligence, and Forecasts for New Energy, Environment, and New Technology.* <https://incorrays.com/mining/lithium-mining/global-lithium-refine-production-and-forecast/>
- INEGI. (2024). *Registro administrativo de la industria automotriz de vehículos ligeros [Dataset].* https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavl/#fecha_de_publicacion
- Investigate Europe. (2023). 'Greenwashing' fears plague mining audit industry. ['Greenwashing' fears plague mining audit industry | Investigate Europe \(investigate-europe.eu\)](https://investigate-europe.eu)
- Jaganmohan, M. (2023). *Chile: Share in global lithium production 2023.* Statista. <https://www.statista.com/statistics/1094661/chile-lithium-production-global-share/>
- Jaskula, B. W. (2024). *Mineral Commodity Summaries (Lithium).* U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-lithium.pdf>
- Jones, B., Acuña, F., & Rodríguez, V. (2021). *Cadena de valor de litio: Análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos.* CEPAL y GIZ. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/6e8ad3fd-1026-40bb-98d7-74f14a1a429c/content>
- López, A., Obaya, M., Pascuini, P., & Ramos, A. (2019). *Litio en la Argentina: Oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor | Publicaciones.* Banco Interamericano de Desarrollo (BID). https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Litio_en_la_Argentina_Oportunidades_y_desaf%C3%ADos_para_el_desarrollo_de_la_cadena_de_valor_es_es.pdf
- López Hernández, V., Hilbert, I., Gascón Castillero, L., Manhart, A., García, D., Nkongdem, B., Dumitrescu, R., Sucre, C. G., & Ferreira Herrera, C. (2024). *Reciclaje y Reúso de Baterías de Litio en América Latina y el Caribe: Revisión analítica de prácticas globales y regionales.* Banco Interamericano de Desarrollo (BID). <https://residuoselectronicosal.org/wp-content/uploads/2024/03/Reciclaje-y-reuso-de-baterias-de-litio-en-America-Latina-y-el-Caribe-revision-analitica-de-practicas-globales-y-regionales.pdf>
- López-Calva, L. F. (2022). *Litio en América Latina: ¿Una nueva búsqueda de "El Dorado"?* UNDP. <https://www.undp.org/es/latin-america/blog/graph-for-thought/lithium-latin-america-new-quest-el-dorado>
- Maldonado, Yandry. (2021). *Espodumena.* <https://geologiaweb.com/minerales/espodumena/>
- McKinsey & Company. (2023). *The race to decarbonize electric-vehicle batteries.* <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-race-to-decarbonize-electric-vehicle-batteries>

- Mining México. (2023).** *SGM solicita 36.8 mdp para la exploración de litio en México.* <https://miningmexico.com/sgm-solicita-36-8-mdp-para-la-exploracion-de-litio-en-mexico/>
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, Ecuador. (2019).** *Actualización de la Política Pública Minera (2019-05-15).* <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/06/2019-05-15-Politica-Publica-Minera-Actualizada.pdf>
- Moisé, E., & Tresa, E. (2023).** *Trade policies to promote the circular economy: A case study of the plastics value chain.* OECD. https://www.oecd.org/en/publications/2023/12/trade-policies-to-promote-the-circular-economy-a-case-study-of-the-plastics-value-chain_6f25cfc8.html
- Morales, A. (2022).** *Exploran México y Chile vías de cooperación para investigación sobre el Litio.* El Universal. <https://www.eluniversal.com.mx/nacion/exploran-mexico-y-chile-vias-de-cooperacion-para-investigacion-sobre-el-litio/>
- Morales, R. (2024).** *México se perfila para liderar envíos de autos eléctricos a EU.* El Economista. <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Mexico-se-perfila-para-liderar-envios-de-autos-electricos-a-EU-20240826-0140.html>
- Morlands Escalante, J. (2018).** *Clasificación y Recursos y Reservas.* Obtenido de <https://www.nubeminera.cl>
- Mordor Intelligence. (2024).** *North America Lithium Battery Manufacturers & Companies.* Mordor Intelligence. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/north-america-lithium-ion-battery-market>
- More, M. G., Joshua R. (2024, febrero 29).** *New Jersey Enacts Extended Producer Responsibility Law For Electric Vehicle Batteries.* ArentFox Schiff. <https://www.afslaw.com/perspectives/environmental-law-advisor/new-jersey-enacts-extended-producer-responsibility-law>
- Moreno, R. (2023).** *Impacto de la ley de Reducción de la Inflación en la industria automotriz mexicana.* LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/impacto-de-la-ley-reducci%C3%B3n-inflaci%C3%B3n-en-industria-mexicana-moreno/>
- New Energy Nexus. (2024).** *Lithium-map.* New Energy Nexus. <https://www.newenergynew.com/lithium-map/>
- NRGI (2023).** *Estudio de valor de las cadenas de Litio en México.* Documento no publicado.
- Obaya, M., & Céspedes, M. (2021).** *Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio.* CEPAL y GIZ. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/f1c5559d-8592-4ffb-aff5-3d7cd5c5e266/content>
- Orangi, S., Manjong, N. B., Clos, D. P., Usai, L., Stokke Burheim, O., & Strømman, A. H. (2023).** *Trajectories for Lithium-Ion Battery Cost Production: Can Metal Prices Hamper the Deployment of Lithium-Ion Batteries?* *Batteries & Supercaps*, 6(12), e202300346. <https://doi.org/10.1002/batt.202300346>
- Oxfam Australia. (s.f.).** *Impacts of Mining.* <https://www.oxfam.org.au/what-we-do/economic-inequality/mining/>
- Popova, A. (2022).** *EV Battery Regulations around the World: What you need to know.* <https://www.minespider.com/blog/ev-battery-regulations-around-the-world-what-you-need-to-know>
- Porter, M. E. (1985).** *The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance* (1a ed.). Free Press.

- Rizos, V., & Urban, P. (2024). *Implementing the EU Digital Battery Passport: Opportunities and challenges for battery circularity*. CEPS. https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/2024-03/1qp5rxiz-CEPS-InDepthAnalysis-2024-05_Implementing-the-EU-digital-battery-passport.pdf
- Rodríguez, J.C. (2024). *Alertan que "narcomineros" afectan sector industrial*. Eje Central. <https://www.ejecentral.com.mx/category/nuestro-eje/alertan-que-narcomineros-afectan-sector-industrial>
- Roldán Xopa, J. (2023). *Litio para México: Estudio sobre la empresa pública y la regulación del litio en México*. Natural Resource Governance Institute. <https://resourcegovernance.org/sites/default/files/2023-07/litio-para-mexico.pdf>
- Sánchez Mancera, R. A., & Pérez Garibay, R. (2023). *El litio en México*. <https://avanceyperspectiva.cinvestav.mx/el-litio-de-mexico/>
- Savannah St, J. (2023, marzo 14). *Can the US Produce Lithium-Ion Batteries Domestically? Li-Bridge Outlines a Plan*. Resilinc. <https://www.resilinc.com/blog/li-bridge-domestic-lithium-batteries/>
- SEMARNAT. (2022a). *Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, ENME*.
- SEMARNAT. (2022b). *Litio en América Latina. Demanda global contra daño socioambiental*. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2018/CD007830.pdf>
- SEMARNAT. (2022c). *Litio en América Latina, retos y oportunidades*. <https://www.gob.mx/semarnat%7Ceducacionambiental/videos/litio-en-america-latina-retos-y-oportunidades>
- SENER. (s.f.). *Litiomx | Gobierno | gob.mx*. <https://www.gob.mx/litiomx>
- Servicio Geológico Mexicano. (2017). *Yacimientos minerales. Conceptos básicos*. https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Yacimientos-minerales.html
- Sheinbaum, C. (2024). *100 pasos para la transformación*. Morena, PT y Verde. <https://claudiasheinbaumpardo.mx/wp-content/uploads/2024/03/CSP100.pdfshi>
- SRE. (2022). *México anuncia nuevos compromisos contra el cambio climático en el marco de la COP27*. <https://www.gob.mx/sre/prensa/mexico-anuncia-compromisos-contra-el-cambio-climatico-en-el-marco-de-la-cop27>
- SRE, & Universidad de California, Alianza MX. (2022). *Grupo de Trabajo para la Electrificación del Transporte: Diagnóstico y Recomendaciones para la Transición de la industria Automotriz en México*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/798195/Electrificacion_n_del_Transporte.pdf
- Statista. (2023). *China: Lithium mine production 2023*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/1280478/china-lithium-mine-production-volume/>
- Straughan, D., & Mitchner, R. (2024). *EV Statistics 2024*. MarketWatch - Guides. <https://www.marketwatch.com/guides/insurance-services/electric-vehicle-statistics-2024/>
- Swiss Info, S. W. I. (2022, mayo 25). *Argentina y Mexico exploran su cooperación en la cadena de valor del litio*. SWI swissinfo.ch. <https://www.swissinfo.ch/spa/argentina-y-mexico-exploran-su-cooperacion-en-la-cadena-de-valor-del-litio/47623470>
- Tankou, A., Bieker, G., & Hall, D. (2023). *Scaling up reuse and recycling of electric vehicle batteries: Assessing challenges and policy approaches*. ICCT. <https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/02/recycling-electric-vehicle-batteries-feb-23.pdf>

T&E. (2024). Mining waste: time for the EU to clean up. [Mining waste: time for the EU to clean up | Transport & Environment \(transportenvironment.org\)](https://transportenvironment.org)

Umicore. (2023). Umicore confirms expansion of its EV battery materials production footprint with CAM and pCAM plant in Ontario, Canada. [Umicore builds EV battery material plant in Canada | Umicore](https://www.UMICORE.com)

UNAM. (2024, febrero 12). En México, la extracción de litio debería realizarse con tecnología propia y competitiva. Obtenido de *Divulgación científica*: <https://quimica.unam.mx/en-mexico-la-extraccion-de-litio-deberia-realizarse-con-tecnologia-propia-y-competitiva/>

USGS. (2024). Mineral Commodity Summary. National Minerals Information Center. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-lithium.pdf>

Weimer, L., Braun, T., & Hemdt, A. vom. (2019). Design of a systematic value chain for lithium-ion batteries from the raw material perspective. *Resources Policy*, 64, 101473. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101473>

World Economic Forum (2022, diciembre). 3 retos para que las baterías de los vehículos eléctricos impulsen la economía circular. Obtenido de: <https://es.weforum.org/agenda/2022/12/3-retos-para-que-las-baterias-de-los-vehiculos-electricos-impulsen-la-economia-circular/>

9- Anexo I. Metodología

Beneficios económicos y sociales

La cuantificación del impacto económico y social en términos del valor agregado y generación de empleos se realiza a través de un modelo Input-Output, el cual es una técnica estándar y ampliamente utilizada para cuantificar el impacto económico de actividades económicas e inversiones en infraestructuras. En el presente análisis se emplea la última matriz simétrica insumo-producto de coeficientes técnicos directos e indirectos, distribuida en 262 filas y 262 columnas por rama del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SIAN), elaborada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2018). Con dicha matriz, se genera una matriz de requerimientos totales (L) a partir de la cual se pueden determinar los efectos exógenos de una nueva inversión (IC) sobre el valor agregado (ΔVA) y el empleo (ΔE) en cada una de las ramas antes mencionadas, mediante la obtención de los multiplicadores de valor agregado (MVA) y del empleo (ME).

La cuantificación de los beneficios socioeconómicos inicia suponiendo que la economía consta de 262 ramas sectores, donde la rama l distribuye el valor de su producción x_l de un periodo, entre las ventas a otros sectores productivos (z_{lj}) y la demanda final (y_l):

$$x_l = \sum_{j=1}^{262} z_{lj} + y_l \quad (1)$$

Un supuesto fundamental del enfoque insumo-producto, es que el flujo de bienes y servicios del sector l que demanda el sector j (z_{lj}) en un periodo dado, depende exclusivamente de la producción total de j (x_j), expresando esta relación de la siguiente manera:

$$a_{lj} = \frac{z_{lj}}{x_j} \quad (2)$$

donde a_{lj} es un coeficiente que captura, para el sector j , una relación fija entre el nivel de producción de j y el insumo l utilizado para obtener dicha producción. A estos coeficientes se les denomina coeficientes técnicos fijos. Cabe destacar que los coeficientes técnicos fijos implican que todos los sectores productivos tienen funciones de producción tipo Leontief y, por tanto, el presente artículo considera que los sectores productivos poseen rendimientos constantes a escala. Una vez que se adopta el supuesto de una función de producción con coeficientes fijos y considerando la relación establecida en la ecuación (1), esta puede reescribirse como sigue:

$$x_l = \sum_{j=1}^{262} a_{lj} * x_j + y_l \quad (3)$$

Reacomodando y agrupando x_i en la ecuación (3), se tiene que:

$$\sum_{j=1}^{262} (1 - a_{lj})x_j = y_l \quad (4)$$

Si definimos a:

- 1** como la matriz identidad 262 x 262 (I).
- a_{lj}** como la matriz de coeficientes fijos 262 x 262 (A).
- x_j** como el vector de producción bruta 262 x 1 (**X**).
- y_l** como el vector de demandas finales n x 1 (**Y**).

Entonces (4) puede expresarse como:

$$(I - A) * X = Y \quad (5)$$

Finalmente, despejando para x tenemos que:

$$X = (I - A)^{-1} * Y = L * Y \quad (6)$$

donde L es conocida como la matriz inversa de Leontief o matriz de requerimientos totales. La importancia de esta matriz radica en que permite identificar el efecto de impactos exógenos sobre la producción bruta a través de los llamados efectos multiplicadores. Estos efectos multiplicadores se clasifican en directo (que es el efecto sobre el sector económico que recibe el impacto exógeno), e indirecto (el efecto que el sector impactado ejerce sobre el resto de los sectores de la economía con los que interactúa); mientras que a su suma se le conoce como multiplicador total. La intuición detrás de estos multiplicadores es que cuando un sector experimenta un impacto exógeno positivo, se genera una mayor actividad productiva en ese mismo sector (efecto directo), lo cual ocasiona, a su vez, que este demande más compras de insumos intermedios a otros sectores de la economía involucrados en el proceso productivo (efecto indirecto), y así sucesivamente. Una vez determinado el multiplicador total, se procede a determinar los multiplicadores de empleo y valor agregado.

La derivación de los multiplicadores para el Valor Agregado (VA) y el Empleo (E) ante un choque exógeno en una rama j implica que:

$$\Delta X = (I - A)^{-1} * \Delta Y_j = L * \Delta Y_j \quad (7)$$

Note que el choque exógeno en la rama j (ΔY_j) tiene un efecto todos los sectores de la economía (X), y por ello la expresión anterior hace referencia al cambio en la producción bruta de la economía en su conjunto (ΔX) y no al observado en una rama específica j de esta (ΔX_j). Esta consideración igualmente aplica para el valor agregado (VA), así como para el empleo (E). Considerando lo anterior, ante un choque exógeno en la demanda final de una rama j, se tienen las siguientes definiciones:

1. **Multiplicador del valor agregado:** Este multiplicador captura los efectos sobre valor agregado en los l sectores de la economía ante un choque exógeno en un sector j (es decir, ante un ΔY_j). Se obtiene de sumar los elementos de la columna j de la matriz A de VA (MVA), la cual se define, a su vez, como:

$$MVA = v_j * (I - A)^{-1} = v_j * L \quad (8)$$

donde L es la matriz inversa de Leontief y v_j es una matriz que contiene en su diagonal principal el cociente de valor agregado a producción bruta para cada rama j , como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$v_j = I * \left(\frac{VA_j}{X_j} \right) = \begin{pmatrix} v_{1j} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & v_{262j} \end{pmatrix} \quad (8.1)$$

$$L = \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \gamma_{262l} \end{pmatrix} \quad (8.2)$$

$$MVA = \begin{pmatrix} mva_{11} & \dots & mva_{1\ 262} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ mva_{262\ 1} & \dots & mva_{262\ 262} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{1j} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & v_{262j} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \gamma_{262\ 262} \end{pmatrix} \quad (8.3)$$

Por lo que el multiplicador de valor agregado (MVA) está dado por:

$$MVA = \sum_l^{262} mva_{lj} \quad (9)$$

2. **Multiplicador del empleo:** El multiplicador del empleo (ME) captura el incremento en el empleo en las j ramas de la economía que resulta ante un choque exógeno en la rama j (ΔY_j). El efecto se obtiene de sumar los elementos de la columna j de la matriz A de E (ME), definida como:

$$ME = e_j * (I - A)^{-1} = e_j * L \quad (10)$$

donde L es la matriz inversa de Leontief y e_j es una matriz que contiene en su diagonal principal el número de personas ocupadas en la rama j divididos por la producción bruta de dicho sector:

$$e_j = I * \left(\frac{E_j}{X_j} \right) = \begin{pmatrix} e_{1j} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & e_{262j} \end{pmatrix} \quad (10.1)$$

$$L = \begin{pmatrix} \gamma_{1l} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \gamma_{262l} \end{pmatrix} \quad (10.2)$$

$$ME = \begin{pmatrix} me_{11} & \dots & me_{1\ 262} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ me_{262\ 1} & \dots & me_{262\ 262} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{1j} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & e_{262j} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \gamma_{262\ 262} \end{pmatrix} \quad (10.3)$$

De esta manera, el multiplicador de empleo (ME) está dado por:

$$ME = \sum_l^{262} me_{lj} \quad (11)$$

De lo anterior se puede entender que el efecto multiplicador sobre la producción bruta (capturado por L), se pondera por la participación del valor agregado y del empleo en la producción bruta de cada rama j. Es decir, ante incrementos en la producción bruta de la rama j, se incrementa la demanda de bienes en las diferentes ramas l, lo que causa que el valor agregado y el número de empleos se distribuya entre las distintas ramas a los que se les compran insumos.

Finalmente, la cuantificación de los beneficios relacionados con el valor agregado y el empleo vienen dados por:

$$VA_{total} = \sum \Delta VA_{ij} = MVA_j * \sum_1^p IC_i \quad (23)$$

$$E_{total} = \sum \Delta E_{ij} = ME_j * \sum_1^p IC_i \quad (24)$$

Obteniéndose finalmente los multiplicadores tanto de valor como de empleo para las industrias consideradas como esenciales por tener una relación directa con la cadena de valor de baterías basadas en litio. Dichas industrias y sus respectivos multiplicadores se muestran en la siguiente Tabla A 1:

Tabla A 1. Multiplicadores de Valor Agregado y Empleo para las industrias consideradas como esenciales para la cadena de valor de baterías de litio.

Industria	Multiplicador de Empleo	Multiplicador de Valor Agregado
2122 - Minería de minerales metálicos	9.12993E-06	0.978394625
3259 - Fabricación de otros productos químicos	2.17041E-05	0.516171505
3261 - Fabricación de productos de plástico	4.15067E-05	0.758811837
3313 - Industria básica del aluminio	6.74468E-06	0.353778027
3344 - Fabricación de componentes electrónicos	1.22767E-05	0.229441796
3359 - Fabricación de otros equipos y accesorios eléctricos	1.50728E-05	0.393941432
3361 - Fabricación de automóviles y camiones	1.37068E-06	0.250724735
3363 - Fabricación de partes para vehículos automotores	3.32355E-05	0.65657044

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para la distribución de los beneficios entre los estados subnacionales considerados como clave para el desarrollo de una cadena de valor de baterías de litio, se estimó un promedio ponderado, con base en la participación que tiene la industria automotriz local en el producto interno bruto (PIB) de cada uno de estos estados. Los resultados de esta estimación se muestran en la siguiente Tabla A 2:

Tabla A 2. Promedio ponderado de participación de la industria automotriz local en el PIB estatal.

Estado	Participación		PIB estatal (miles de pesos)	PIB industria automotriz (miles de pesos)	Ponderado
	PIB Nacional	Industria automotriz en PIB estatal			
Aguascalientes	1%	47%	206,714.9	152,737.8	27%
Guanajuato	4%	28%	682,552.4	193,844.9	35%
Puebla	3%	24%	542,718.7	204,751.1	37%
Querétaro	3%	2%	388,480.9	7,618.0	1%

Fuente: Elaboración propia.

Beneficios ambientales

Para la estimación de los beneficios ambientales en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂e – emisión de bióxido de carbono equivalente) por la sustitución de vehículos ligeros de combustión interna por vehículos eléctricos, se consideraron dos escenarios, los cuales tienen las siguientes características:

- **Escenario NDC:** Este escenario considera las ventas internas de vehículos eléctricos ligeros necesarias para que el sector transporte en México alcance los compromisos establecidos en sus Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC) hacia 2030.
- **Escenario NDC+EUA:** Este escenario considera, además de lo planteado en el Escenario NDC, la cantidad de vehículos eléctricos ligeros, de producción nacional, que son demandados por el mercado de los Estados Unidos.

La flota de automotores modelados para la sustitución anual de los vehículos de combustión interna por eléctricos durante el periodo de 2025 a 2030 se muestra en la Tabla A 3 para ambos escenarios.

Tabla A 3. Cantidad de autos ligeros de combustión sustituidos por eléctricos en cada escenario.

Año	Escenario NDC	Escenario NDC + EUA
2025	62,090	230,954
2026	83,108	332,317
2027	106,744	474,528
2028	135,230	678,005
2029	168,298	969,325
2030	204,713	1,386,426
2025-2030	760,183	4,071,555

Fuente: Elaboración propia.

La estimación de la emisión promedio de gases de efecto invernadero (GEI: CO₂, CH₄ y N₂O) para vehículos ligeros que utilizan gasolina como combustible se realizó siguiendo la metodología propuesta en las Directrices del IPCC 2006¹⁰, Capítulo 3. Combustión Móvil para transporte terrestre. La Tabla A 4 muestra la información utilizada para la estimación de las emisiones.

¹⁰ IPCC 2006. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf

Tabla A 4. Información utilizada para la estimación del factor de emisión de CO₂e para autos ligeros a gasolina.

Parámetro	Valor	
Distancia anual recorrida (km) (A)	15,000	
Eficiencia energética (km/l) (B)	13.4	
Capacidad calórica de la gasolina (MJ/lb) (C)	5,613	
Upstream emissions (D)	0.25	
Factor de emisión (E)	CO ₂ (kg/TJ)	69,300
	CH ₄ (kg/TJ)	25
	N ₂ O (kg/TJ)	8

NA_No aplica.

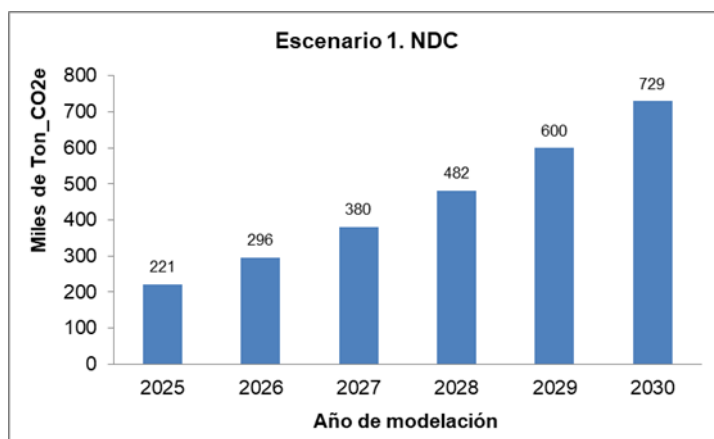
Notas:

- A) La distancia anual recorrida por vehículo es reportada en la Página Web de Eco-Vehículos del INECC, la cual se estima en 15 mil kilómetros por años con fines de inventarios de emisiones.
- B) La eficiencia energética fue obtenida para la flota de vehículos ligeros (considera vehículos subcompactos, compactos, lujo y deportivos) de México se consideró de 13.4 km/l de acuerdo con información de SENER, 2018¹¹.
- C) SENER-CONUEE. Lista de combustibles y sus poderes caloríficos 2023.
- D) La metodología de la Fuel Economy Guide 2024 considera que la emisión de CO₂ Upstream (exploración, extracción, procesamiento y transporte del combustible) corresponde al 0.25 de la emisión de escape.
- E) Los factores de emisión para CO₂, CH₄ y N₂O fueron obtenidos de la metodología las guías del IPCC, 2006 para vehículos con catalizador de oxidación. El potencial de calentamiento global utilizado para obtener el CO₂e fue de 1 para CO₂, 28 para CH₄ y 265 para N₂O.

Los resultados del beneficio ambiental asociado al uso de autos eléctricos en lugar de autos convencionales de combustión interna para cada uno de los dos escenarios se muestran en las Figura A 1 y Figura A 2.

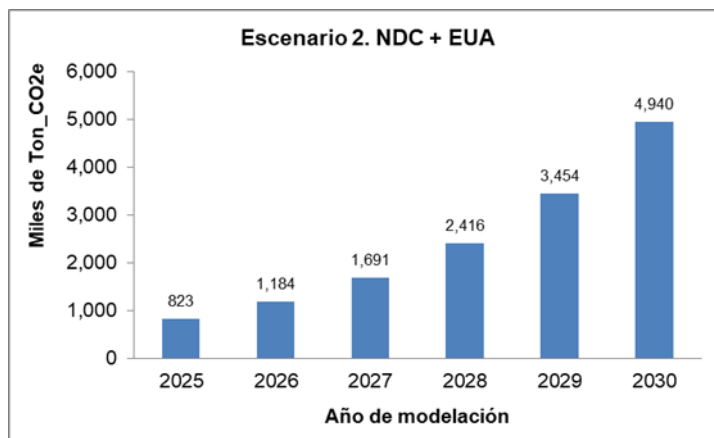
¹¹ SENER, 2018. Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2018 - 2032. Tabla 3.10. Rendimiento promedio del parque vehicular a gasolina por categoría, 2018 - 2032.

Figura A 1. Reducción de emisiones anuales por la sustitución de autos ligeros de combustión por eléctricos para el cumplimiento del Escenario 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura A 2. Reducción de emisiones anuales por la sustitución de autos ligeros de combustión por eléctricos para el cumplimiento del Escenario 2.



Fuente: Elaboración propia.

Proceso de validación de resultados.

Con la finalidad de contrastar los resultados de emisión de CO₂e bajo la metodología propuesta por el IPCC para vehículos ligeros a gasolina, se realizaron estimaciones adicionales bajo otros métodos de estimación.

La revisión se centró en el Escenario 1, el cual considera las ventas internas de vehículos eléctricos ligeros necesarias para que el sector transporte en México alcance los compromisos establecidos en sus Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC) hacia

2030. Este escenario plantea que hacia 2030 las ventas internas de vehículos eléctricos ligeros deberán alcanzar las 204,713 unidades (ICM, 2022).

Bajo la consideración de la sustitución de 204,713 unidades de vehículos ligeros a combustión interna, es decir, que utilizan gasolina como combustible, por la misma cantidad de vehículos ligeros eléctricos, se estimó el beneficio por la reducción de la emisión de contaminantes de gases de efecto invernadero bajo los siguientes métodos:

3. Portal de EcoVehículos del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)¹². Donde se reportan datos de eficiencia energética para la flota de vehículos comercializados en el país, datos de actividad vehicular (KRV_kilómetros recorridos por año), consumo anual de combustible y estimación de la emisión de CO₂.
4. Fuel Economy Guide 2004¹³. Portal publicado por el Departamento de Energía y la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos, donde se describe la metodología para la estimación de la eficiencia energética, así como la estimación de la emisión de CO₂e para los modelos de vehículos automotores comercializados en ese país.
5. MOVES-México¹⁴. Modelo de emisiones vehiculares utilizado en México para estimar los inventarios de emisiones de contaminantes provenientes de los vehículos automotores que circulan por carretera. Estima la emisión de contaminantes criterio, tóxicos y gases de efecto invernadero como el CO₂, CH₄ y N₂O.

En la Tabla A 5 se describe la información y supuestos utilizado en cada una de las metodologías descritas.

Tabla A 5. Información utilizada para la estimación de gases efecto invernadero para vehículos ligeros.

Parámetro	Método de estimación		
	Eco-Vehículos-INECC	Fuel Economy Guide 2024	MOVES-México
Distancia anual recorrida (km) (A)	15,000	24,140	15,000
Eficiencia energética (km/l) (B)	13.4	28 mi/gal (11.9 km/l)	NA
Consumo anual de combustible (l)	1,448	2,028	NA
Factor de emisión (C) CO ₂ (kg/l)	2.32	2.35	248 (g/km)

12 INECC, 2024. Portal de EcoVehículos. <https://ecovehiculos.inecc.gob.mx/>

13 Fuel Economy Guide 2024. <https://www.fueleconomy.gov/feg/pdfs/guides/FEG2024.pdf>

14 Modelo MOVES-México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/427685/INFORME_FINAL_MOVES-IE2016f.pdf

Parámetro	Método de estimación		
	Eco-Vehículos- INECC	Fuel Economy Guide 2024	MOVES-México
CH ₄ (kg/TJ)	25	NA	0.023
N ₂ O (kg/TJ)	8	NA	0.012
Upstream emissions (D)	0.25	0.25	0.25
Cantidad de vehículos a combustión interna (ICM).	204,713	204,713	204,713

NA_No aplica.

Notas:

- A) La distancia anual recorrida por vehículo es reportada en la Página Web de Eco-Vehículos del INECC, la cual se estima en 15 mil kilómetros por años con fines de inventarios de emisiones. Se consideró esta misma distancia para la estimación con los métodos de IPCC 2006 y MOVES-México. Para el caso de los vehículos de Estados Unidos de América, la Fuel Economy Guide 2024 considera un recorrido anual para vehículos de uso particular de 15 mil millas, las cuales son equivalentes a 24,140 kilómetros.
- B) La eficiencia energética fue obtenida para la flota de vehículos ligeros (considera vehículos subcompactos, compactos, lujo y deportivos) de México se consideró de 13.4 km/l de acuerdo con información de SENER, 2018¹⁵. Para el caso de la flota de los Estados Unidos, el promedio de eficiencia energética de su flota fue obtenido de la Fuel Economy Guide 2024.
- C) El factor de emisión de CO₂ para consumo de gasolina se obtuvo, para el caso de México, de INECC-IMP, 2004¹⁶. Los valores de CH₄ y N₂O la metodología EcoVehículos del INECC y del IPCC fueron obtenidos de las guías del IPCC, 2006.
- D) La metodología de la Fuel Economy Guide 2024 considera que la emisión de CO₂ Upstream (exploración, extracción, procesamiento y transporte del combustible) corresponde al 0.25 de la emisión de escape.

En la Figura A 3 se observan los resultados de la emisión de CO₂ equivalente para cada una de las metodologías utilizadas para la estimación de emisiones de GEI provenientes de vehículos ligeros a gasolina. Los valores de CO₂e para las metodologías del Portal de EcoVehículos del INECC, IPCC, MOVES y Fuel Economy Guide incluyen las emisiones de escape, así como las de Upstream.

15 SENER, 2018. Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2018 - 2032. Tabla 3.10. Rendimiento promedio del parque vehicular a gasolina por categoría, 2018 - 2032.

16 INECC-IMP, 2014. "Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México", Tabla 1. Factores de emisión e incertidumbre para gasolina. Convenio INECC/A1-008/2014.

Figura A 3. Estimación de emisiones de CO₂e por metodología.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura A 3, los resultados de emisión equivalente de CO₂e para las metodologías utilizadas con información del portal de Ecovehículos del INECC, IPCC y el modelo MOVES muestran consistencia. Sin embargo, respecto a la estimación de CO₂e realizada bajo la metodología e información de la Fuel Economy Guide de los Estados Unidos se observan diferencias, debido a que, en promedio, las distancias anuales recorridas por vehículo en los EUA son un 60% mayores que en México, así como una eficiencia energética promedio menor de la flota vehicular de los EUA, debido al uso de vehículos de mayor tamaño y peso.

10- Anexo II

Lista de invitados a la primera mesa de diálogos, Diálogos para el desarrollo sostenible de una cadena de valor de baterías de litio en México

Nombre	Adscripción	Cargo	Modalidad
Jesús Ramos	LitioMx	-----	Virtual
Dr. José Manuel Juárez	Agencia de Energía del Estado de Querétaro	Director	Virtual
Diana Ávalos	AMIVE	Directora	Virtual
Marco Antonio Hernández Nochebuena	IMT	Investigador	Virtual
Dr. Guadalupe Ramos	UAM - Iztapalapa	Investigador	Virtual
Erika Ma. Ruiz Sotelo	AMDA	Coordinadora de Enlace Gubernamental	Virtual
Felipe Gallego	MegaFlux	Co Fundador y COO	Virtual
Mónica Santillán	CIDE	Secretaria de Vinculación del CIDE	Virtual
Pablo Camacho	CAMEXA	Asesor en Desarrollo Sostenible	Virtual
Julieta Leo	Centro Mario Molina	Líder de proyecto	Virtual
Mtro. Roberto Aguñiga	Agencia Estatal de Energías Renovables de Nuevo León	Jefe de Programas en Seguridad Energética	Virtual
Blanca Mariana Galicia Ramos	UNAM	Profesora Titular en la Facultad de Economía	Virtual
Karen García Mata Alanis	NAFIN	Ejecutiva de Vinculación y Cooperación Internacional	Virtual
Oscar Esparza	ANPACT	Asuntos gubernamentales	Virtual
Leticia Pineda	ICCT	Líder Regional para México y Canadá	Virtual
Roberto Talavera	LDR Solutions	Director de Electromovilidad y Nuevas Energías	Virtual
Andree Robles	Foton México	Gerente Técnico Comercial de Vehículos eléctricos y nuevas energías	Virtual
Ignacio González	UAM - Iztapalapa	Investigador	Virtual

Lista de invitados a la segunda mesa de diálogos, Diálogos para el desarrollo sostenible de una cadena de valor de baterías de litio en México

Nombre	Adscripción	Cargo	Modalidad
Erik Germán Flores Hernández	Público (GTO)	-----	Presencial
Carla Neudert Cordova	Público (SON)	Directora general de la agencia municipal de energía y cambio climático de Hermosillo	Presencial
Roberto Aguñiga Ramírez	Público (NL)	Jefatura de Programas	Presencial
Fabiola Torres Martínez	Público (PUE)	Directora de Gestión y Seguimiento de Proyectos	Presencial
Saúl Covarrubias Ortiz	Público (JALISCO)	Agencia de Energía Jalisco	Virtual
Luis Muñozcano	Público (CHIHUAHUA)	Director de Mediación Energética	Presencial
Paola Mayra Contreras	Público (EDOMEX)	Jefa de Departamento de Mitigación de Cambio Climático	Virtual
Blanca Mariana Galicia Ramos	Academia (UNAM)	Investigadora	Presencial
Ignacio González	Academia (UAM)	Investigador	Presencial
Pablo Camacho	Privado (CAMEXA)	Asesor en Desarrollo Sostenible	Virtual
Isabel Studer	SC (Sostenibilidad Global)	Directora	Presencial
Diana Ávalos	Privado (AMIVE)	Directora	Presencial
Erika Ruiz Sotelo	ANPACT	Asuntos gubernamentales	Virtual
Julieta Leo	ICCT	Líder Regional para México y Canadá	Virtual
Leticia Piñeda	LDR Solutions	Director de Electromovilidad y Nuevas Energías	Virtual
Rubén Suárez Hernández	Foton México	Gerente Técnico Comercial de Vehículos eléctricos y nuevas energías	Virtual
Julio Galván	UAM - Iztapalapa	Investigador	Virtual
Santa Centeno	Privado (AMDA)	Coordinadora de Enlace Gubernamental	
Juan Luis Dammert	Privado (CMM)	Líder de Proyecto	Virtual
Diego Humberto Ortiz Porcayo	SC (ICCT)	-----	Virtual

Nombre	Adscripción	Cargo	Modalidad
Ramon Olivas Gastelum	Academia (Conahcyt)	Investigador por México	Presencial
José María Sanjuan Orozco	Privado (INA)	Gerente de Estudios Económicos	Presencial
León Becker	Cooperación Intl. (CEPAL)	Unidad de Energía y Recursos Naturales	Presencial
Guillermo Pereira	Cooperación Intl. (CEPAL)	Unidad de Energía y Recursos Naturales	Presencial
Andrés Aguilar	SC IDEA	Responsable de Proyectos	Presencial
Mariana López	Privado (periodista)	-----	Presencial
Mónica Santillan Vera	Público (CIDE)	Secretaria de Vinculación del CIDE	Virtual
Matthias Suhren	Privado (CAMEXA)	-----	Virtual

11- Anexo III

Resumen

Primera mesa: Diálogos para el desarrollo sostenible de una cadena de valor de baterías de litio en México

El pasado 24 de octubre de 2024 se llevó a cabo el primer taller "**Diálogos para el desarrollo sostenible de una cadena de valor de baterías de litio en México**".

Este taller forma parte de un proyecto integral que busca analizar las oportunidades para el desarrollo de la cadena de valor del litio en México. Y surge a partir de la necesidad de convocar a las partes interesadas de los sectores público, privado y sociedad civil para que colaboren en la identificación de oportunidades y aborden los retos que plantea el desarrollo de una cadena de valor del litio nacional.

Durante el desarrollo del taller pudimos contar con la participación de diversos actores de los sectores público, académico, industria y organizaciones no gubernamentales; quienes tuvieron la oportunidad de dialogar sobre las diversas perspectivas de la situación actual y futura de la cadena de valor del litio en México y un posible desarrollo de una cadena de valor de baterías de litio nacional. Donde dicho diálogo se enfocó en temas como marco regulatorio, sostenibilidad, desarrollo de capacidades, inversión y aseguramiento de la cadena de valor.

A partir de este diálogo y de los temas planteados, destacaron los puntos que se citan a continuación:

1. Marco Regulatorio

- **Debilidad del marco jurídico y la importancia de la transparencia:** Con relación a este punto, se destacó el ejemplo de Chile, y su reciente situación respecto a la industria nacional de litio, donde la estrategia actual para el desarrollo del litio en Chile está basada en decisiones administrativas con una estructura jurídica vulnerable a cambios gubernamentales e interpretaciones de leyes. Esta debilidad institucional afecta la transparencia y dificulta la implementación efectiva de políticas a largo plazo, algo que ya se ha observado en el contexto chileno, y que debe evitarse en México.
- **Regulación y empleo de calidad:** Se planteó la necesidad de desarrollar regulaciones que aseguren que los empleos generados en esta nueva industria sean de calidad, diferenciándose de las condiciones actuales en sectores como la minería y la manufactura. Estas regulaciones deben integrarse en una política pública más amplia que abarque la industria automotriz en su conjunto.
- **Política industrial holística:** Los participantes insistieron en que México necesita una política industrial integral que aborde no solo la regulación de la cadena de valor del litio, sino también todos los aspectos de la movilidad,

incluyendo la infraestructura para asegurar una recarga eficiente y la sostenibilidad.

2. Sostenibilidad

- **Sostenibilidad como eje central:** Se insistió en la importancia de integrar la sostenibilidad en el desarrollo de la cadena de valor del litio. La sostenibilidad no solo implica considerar aspectos medioambientales, sino también factores sociales y económicos, además de contemplar los riesgos de gobernanza asociados al desarrollo del litio y mejorar la seguridad y resiliencia de las cadenas del suministro. Aunque el camino hacia un desarrollo sostenible es complejo, se subrayó que los beneficios a largo plazo justificarán el esfuerzo y que es crucial comenzar a desarrollar una visión compartida y acciones concretas desde ahora.

3. Desarrollo de capacidades

- **Desarrollo independiente de la producción de litio:** Las industrias de manufactura de vehículos eléctricos en México ya están operando, a pesar de la falta de producción local de litio. Empresas como Ford y BMW han adaptado y expandido sus plantas para la producción de vehículos eléctricos e híbridos, utilizando litio disponible a nivel global, lo que demuestra que la producción no necesita esperar a la extracción local del mineral.
- **Diferencias estructurales y contextuales:** Se reconocieron las diferencias entre el mercado mexicano y el norteamericano, particularmente en el ritmo de crecimiento de la demanda de vehículos eléctricos. Estas diferencias se deben, en parte, a iniciativas como la Ley de Reducción de la Inflación de Estados Unidos, que incluye incentivos significativos para la investigación y desarrollo en baterías, recursos que no se encuentran disponibles en la misma magnitud en México y otros países de América Latina.
- **Diversificación tecnológica y visión a largo plazo:** Los participantes señalaron que México debe considerar no solo el desarrollo de la industria del litio, sino también explorar otras tecnologías y minerales para la producción de baterías enfocadas el sector automotriz, ya que la producción de litio en el país podría no ser viable a corto plazo. Según perspectivas oficiales previas, se estima que la explotación del litio en México no se consolidará hasta dentro de diez años. Por ello, se enfatizó la importancia de tener una visión clara y diversificada para la industria automotriz, que incluya el aprovechamiento de otros materiales, como el sodio, y el desarrollo de capacidades tecnológicas para la fabricación de baterías con mayor contenido nacional.
- **Desarrollo de una política pública basada en la cadena de valor:** La propuesta central del taller fue diseñar una política pública que utilice la metodología de cadena de valor para identificar las etapas (eslabones) en las que México puede insertarse o fortalecer su participación. Esta estrategia no debe limitarse a corto plazo, sino que debe enfocarse en beneficios a largo

plazo que permitan el crecimiento económico, el desarrollo social del país y la distribución justa de los beneficios. La cadena de valor ofrece una visión integral para que actores locales, como empresas regionales, mejoren sus capacidades y participen activamente en esta industria.

- **Desarrollo específico de capacidades por eslabón:** Se enfatizó que la sostenibilidad y el desarrollo de capacidades no deben abordarse de manera general para toda la cadena de valor. Cada eslabón, desde la extracción hasta la fabricación de baterías, presenta necesidades y problemas específicos que requieren normativas y capacidades distintas que deben ser abordadas de manera independiente, en orden de ser implementadas de manera eficaz.
- **Éxito en el desarrollo de capacidades nacionales:** Se presentó el ejemplo del sector aeroespacial en Querétaro como un caso de éxito en el desarrollo de capacidades locales. La creación de la Universidad Aeronáutica en Querétaro, en colaboración con el gobierno, empresas y academia, fue fundamental para capacitar a la mano de obra en el sector. Esto permitió a México destacar frente a países con más experiencia y convertirse en un referente, demostrando que un enfoque colaborativo y dirigido puede replicarse en la industria de baterías para desarrollar capacidades tecnológicas y productivas.
- **Competitividad internacional en la fabricación de vehículos eléctricos:** La necesidad de asegurar que los vehículos eléctricos producidos en México cumplan con estándares internacionales fue subrayada. El país debe enfocarse en desarrollar tecnologías que garanticen que sus productos no solo sean competitivos a nivel local, sino también en el mercado global, asegurando así una posición sólida en la cadena de valor automotriz. Fomentando alianzas estratégicas con grandes empresas y otros países productores, como Chile y Argentina, para fortalecer la posición de México en el mercado global.
- **Transformación de la industria ante la demanda internacional:** La política pública en mercados como Estados Unidos y Canadá establece objetivos claros para incrementar la cuota de vehículos eléctricos e híbridos conectables para 2030. Dado que México provee la mayoría de su producción vehicular a estos mercados, es crucial alinearse con esta tendencia mediante la transformación de líneas de producción e incentivos que atraigan fabricantes de baterías. Esto garantizará que México siga siendo un proveedor clave en la transición hacia la electromovilidad.
- **Eficiencia en la infraestructura y logística:** Se identificó la infraestructura logística como un punto crítico que requiere mejoras urgentes. La eficiencia de los puertos de entrada y salida es fundamental para mantener la operatividad de la cadena de suministro, que se ha visto afectada por problemas recurrentes como fallos técnicos, políticas restrictivas, congestión y fenómenos climáticos. La falta de infraestructura eficiente ha causado "mini rupturas" en la cadena de suministro, afectando tanto la entrada de componentes para la manufactura como la salida de vehículos terminados hacia los mercados de exportación.

4. Inversión

- **Implementación de compensaciones:** Se destacó que México ha fallado en la implementación efectiva de modelos de compensación, los cuales podrían ser clave para fomentar la inversión extranjera directa y la transferencia de tecnología. La implementación adecuada de estos modelos permitiría a la iniciativa privada invertir en la industria del litio, desarrollando la capacidad productiva local, incluyendo la refinación y fabricación de baterías, en lugar de limitarse únicamente a la extracción del mineral.
- **Aprovechamiento de ventajas geográficas y de manufactura:** México cuenta con ventajas clave, como su cercanía al mercado norteamericano, una industria manufacturera sólida y experiencia en la producción de vehículos eléctricos. Estas fortalezas deberían servir para atraer inversiones relacionadas con la manufactura de componentes de baterías y de vehículos eléctricos.
- **Política pública integral para inversión:** Se enfatizó la importancia de definir políticas públicas claras que incentiven tanto la inversión extranjera como la nacional. Estas políticas deben especificar las condiciones y fases de inversión, estableciendo prioridades a corto, mediano y largo plazo para el desarrollo de las distintas etapas de la cadena de valor. Buscando que la inversión sea de carácter mixto, combinando capital público y privado.
- **Impacto de la importación de vehículos usados (vehículos chocolate):** Se señaló que el mercado de vehículos eléctricos en México enfrenta la competencia de la importación masiva de vehículos usados de Estados Unidos, que son vendidos a precios muy bajos tras ser modificados ilegalmente. Estos vehículos, considerados chatarra en su país de origen, complican los esfuerzos de promover la electromovilidad, ya que representan una competencia desleal, incumpliendo con estándares de eficiencia y seguridad, y siendo un riesgo ambiental para México. Esta situación podría extenderse hasta 2026, afectando el crecimiento del mercado de vehículos eléctricos.
- **Incentivos para la producción nacional:** Se sugirió la adopción de políticas de incentivo similares a las implementadas en India, que incluyeron paquetes de estímulos gubernamentales para promover la producción nacional de vehículos y componentes eléctricos. En India, se establecieron requisitos de contenido nacional que fomentaron la fabricación local y evitaron la dependencia de productos extranjeros. Para México, se planteó la idea de aplicar incentivos no solo fiscales, sino también exenciones arancelarias, apoyo gubernamental directo y facilidades para atraer inversiones en cada componente y proceso de la cadena de valor. La existencia de exenciones arancelarias para vehículos eléctricos completos, pero no para sus componentes, fue criticada por su incoherencia con el objetivo de fortalecer la producción nacional.

5. Aseguramiento de la cadena de valor

- **Viabilidad en la producción de litio grado batería:** Se cuestionó la viabilidad de que México logre producir litio de grado batería en la próxima década, dado

el dominio de China en este eslabón de la cadena de valor, y considerando que, a pesar de ser una tecnología madura, aún no está desarrollada ni probada en el país. Sin embargo, se subrayó que México cuenta con experiencia en la producción de vehículos eléctricos, lo que es un punto de partida para atraer inversiones en la cadena de valor de baterías.

- **Enfoque en la industria de baterías:** La discusión sugirió que la estrategia nacional debería centrarse en el desarrollo de la industria de baterías para vehículos eléctricos ligeros, en lugar de apostar exclusivamente por la producción de litio. Dado que solo unas pocas empresas dominan el mercado global de baterías de alta calidad. En este sentido, México debería desarrollar políticas que incentiven la atracción de estas empresas a través de inversiones estratégicas.
- **Colaboración regional y lecciones de otros países:** Se sugirió la idea de fomentar modelos de cooperación regional similares a los que están desarrollando algunos países africanos, donde se busca dejar atrás el extractivismo y avanzar hacia la producción de productos terminados mediante alianzas internacionales. Asimismo, se mencionó el ejemplo de India, que ha promovido la producción nacional de componentes a través de reglas de origen para incentivar la fabricación local en la cadena de valor de baterías y vehículos eléctricos.
- **Concentración del mercado y necesidad de incentivos:** Se resaltó que el mercado global de baterías para vehículos está dominado por un oligopolio de pocas empresas asiáticas, similar al sector de semiconductores. Para atraer inversiones de estos actores, México debe implementar políticas de compensación que incluyan incentivos gubernamentales y acuerdos de compras públicas consolidadas que garanticen una demanda estable de vehículos a largo plazo. Un ejemplo sería asegurar la compra de autobuses eléctricos a cambio del establecimiento de plantas de producción o reciclaje de baterías en el país, creando así un ecosistema industrial robusto.
- **Condiciones del TMEC y riesgos de contenido regional:** Se subrayó la importancia de cumplir con los requisitos de contenido regional establecidos por el TMEC para asegurar acceso a mercados clave como Estados Unidos y Canadá. La falta de cumplimiento en este aspecto podría llevar a México a repetir errores de otras industrias, como la de pantallas planas, donde a pesar de ser el segundo productor mundial, el contenido nacional es muy bajo. La clave está en lograr que los componentes críticos para vehículos eléctricos, como trenes motrices, se produzcan localmente.

Resumen

Segunda mesa: Diálogos para el desarrollo sostenible de una cadena de valor de baterías de litio en México

El pasado 27 de noviembre de 2024 se llevó a cabo la segunda mesa de diálogo "**Diálogos para el desarrollo sostenible de una cadena de valor de baterías de litio en México**".

Al igual que la primera mesa, esta segunda mesa forma parte de un proyecto integral que busca analizar las oportunidades para el desarrollo de la cadena de valor del litio en México. Y surge a partir de la necesidad de convocar a las partes interesadas de los sectores público, privado y sociedad civil para que colaboren en la identificación de oportunidades y aborden los retos que plantea el desarrollo de una cadena de valor del litio nacional.

Durante el desarrollo de la mesa de diálogo pudimos contar con la participación de diversos actores de los sectores público, académico, industria y organizaciones no gubernamentales; quienes tuvieron la oportunidad de dialogar sobre las diversas perspectivas de la situación actual y futura de la electromovilidad en México. Donde dicho diálogo se enfocó en el impulso a la electromovilidad y su adopción, a través del desarrollo e implementación de proyectos de electromovilidad a nivel subnacional, tomando como temas principales: el marco regulatorio subnacional afín al desarrollo económico sostenible; el financiamiento para el impulso de la electromovilidad y el desarrollo de infraestructura de carga.

A partir de este diálogo y de los temas planteados, destacaron los puntos que se citan a continuación:

1. Marco Regulatorio

- **Adaptación de legislaciones actuales:** La adaptación de reglamentos estatales y municipales es fundamental para que las dependencias gubernamentales puedan implementar proyectos de electromovilidad con seguridad jurídica y operativa. Para lo cual es necesario que el marco regulatorio establezca claramente las atribuciones de las dependencias para desarrollar y gestionar proyectos relacionados con la electromovilidad, incluyendo:
 - La capacidad para recibir y administrar recursos financieros provenientes de fuentes estatales, federales e internacionales.
 - La potestad para ejecutar proyectos de infraestructura, como estaciones de carga o sistemas de transporte eléctrico.
- **Alineación con normatividad federal:** Los marcos regulatorios estatales y municipales deben armonizarse con las leyes generales y las disposiciones federales relacionadas con la movilidad eléctrica y la transición energética. Esto incluye la incorporación de objetivos nacionales en los programas estatales y locales.

- **Flexibilidad normativa:** Es esencial prever la evolución tecnológica y social para garantizar que los reglamentos puedan adaptarse a nuevas necesidades, como innovaciones en baterías o sistemas de carga.
- **Presupuestos vinculados a metas:** Los presupuestos estatales y municipales deben reflejar explícitamente los objetivos de electromovilidad en los Programas Operativos Anuales (POA) y en las leyes de ingresos y egresos. Esto garantizará la viabilidad financiera y administrativa de los proyectos.
- **Reglamentación específica:** Cada programa relacionado con electromovilidad debe contar con normativas claras que incluyan procesos de aprobación en cabildos municipales, consejos consultivos y juntas de gobierno. Esto reduce riesgos legales y asegura el cumplimiento normativo.
- **Regulación de organismos ejecutores:** Las dependencias responsables de proyectos deben crearse o adaptarse con atribuciones legales específicas para recibir y ejercer recursos financieros destinados a proyectos de electromovilidad.
- **Participación subnacional:** Los gobiernos estatales tienen un papel crucial en la regulación y promoción de la electromovilidad. Sus acciones pueden tener un impacto directo en la sostenibilidad del transporte y en la calidad del aire. Las estrategias sugeridas son:
 - *Regulación de transporte público:* A través de fomentar la transición de flotillas de transporte público hacia vehículos eléctricos mediante programas de financiamiento y subsidios. Y de regular el acceso a zonas urbanas mediante restricciones para vehículos de combustión interna, incentivando la adopción de tecnologías limpias.
 - *Control sobre la movilidad de carga:* Al establecer normativas que promuevan el uso de vehículos eléctricos en la última milla de transporte, especialmente en centros urbanos. Y facilitando la instalación de estaciones de carga estratégicamente ubicadas en carreteras y corredores logísticos.
- **Promoción de políticas subnacionales:** Los estados pueden liderar iniciativas regionales que integren a municipios y actores privados para planificar y coordinar proyectos de movilidad eléctrica. Esto incluye esfuerzos conjuntos para gestionar recursos, diseñar políticas y evaluar avances.
- **Supervisión ambiental:** Implementar controles sobre la calidad del aire para medir el impacto de la transición hacia la electromovilidad, con el fin de ajustar estrategias y priorizar áreas críticas.
- **Limitaciones presupuestarias y duración de periodos de gobierno:** Muchos estados y municipios enfrentan techos presupuestales estrictos que dificultan la implementación de proyectos de gran escala. Además de que los tiempos para las administraciones municipales son cortos (3 años), lo que vuelve difícil la implementación de proyectos de electromovilidad, donde la generación de beneficios ocurre generalmente después de este tiempo.

- **Falta de claridad normativa:** La ausencia de normativas claras para la operación de transporte público eléctrico y la gestión de concesiones representa un obstáculo crítico.

2. Financiamiento

- **Incentivos económicos:** Los estímulos fiscales son herramientas cruciales para acelerar la adopción de vehículos eléctricos y fomentar inversiones en infraestructura relacionada, contemplando las siguientes acciones:
 - *Deducciones fiscales:* Implementar deducciones o exenciones en impuestos locales, como el predial o el pago de derechos vehiculares, para propietarios de vehículos eléctricos o negocios que inviertan en estaciones de carga.
 - *Incentivos por inversión en infraestructura:* Proveer beneficios fiscales a empresas privadas y desarrolladores inmobiliarios que incluyan estaciones de carga en sus proyectos. Esto puede incluir descuentos en licencias de construcción o facilidades administrativas.
 - *Subsidios directos:* Considerar apoyos económicos para la compra de vehículos eléctricos o la instalación de infraestructura de carga residencial, especialmente en sectores de menor poder adquisitivo.
 - *Inclusión en bases generales hacendarias:* Incorporar estas medidas en los lineamientos de recaudación estatal y municipal para garantizar que sean operativas y estén alineadas con los objetivos presupuestales.
- **Reducción de costos operativos:** Establecer programas que ofrezcan beneficios fiscales, como descuentos en el pago de impuestos vehiculares, casetas de peaje o tarifas eléctricas en horarios valle, para fomentar la adquisición de vehículos eléctricos.
- **Créditos preferenciales:** Se propuso replicar modelos internacionales, como el británico "Salary Sacrifice", donde los empleados pueden adquirir vehículos eléctricos a través de un esquema de deducción salarial, beneficiándose de tasas preferenciales y reducciones impositivas. Así como modelos de financiamiento que integren el costo del vehículo en la factura de servicios eléctricos, permitiendo pagos escalonados a través de ahorros energéticos.
- **Autofinanciamiento a través de esquemas tipo ESCO:** Este esquema plantea que los ahorros generados por el uso de energías limpias se reinviertan en nuevos proyectos. Esto resulta especialmente útil para los gobiernos subnacionales con presupuestos limitados.
- **Oportunidades en financiamiento regionalizado:** Se enfatizó que el diseño de estrategias de financiamiento debe reflejar las particularidades regionales de México, tomando en cuenta factores como:
 - *Infraestructura existente y capacidad del sistema eléctrico regional.*
 - *Necesidades específicas de transporte (última milla, transporte público).*
 - *Recursos disponibles en cada entidad federativa para establecer alianzas con el sector privado y la academia.*


3. Infraestructura de carga

- **Infraestructura adaptada:** Se destacó la importancia de que los nuevos desarrollos inmobiliarios incluyan infraestructura para carga de vehículos eléctricos como parte de sus requisitos básicos.
- **Regulación de proporcionalidad:** Establecer normativas que obliguen a los desarrolladores a incluir un número mínimo de puntos de carga según el número de estacionamientos en cada proyecto. Por ejemplo:
 - *Edificios residenciales:* un punto de carga por cada 10 espacios.
 - *Centros comerciales y parques industriales:* un porcentaje fijo del total de estacionamientos, con disponibilidad para vehículos de carga y transporte público eléctrico.
- **Beneficios fiscales:** Proveer beneficios fiscales o subsidios a proyectos que incorporen infraestructura de carga desde su diseño inicial.
- **Supervisión y monitoreo:** Crear mecanismos de inspección para asegurar el cumplimiento de las normativas, lo que incluye la revisión de planes arquitectónicos y la verificación de la instalación adecuada de los puntos de carga.



**Desarrollo de una cadena de valor
de baterías de litio en México**
REPORTE FINAL

 info@ideathinktank.org.mx

 www.ideathinktank.org.mx

