

Universidad Autónoma de Zacatecas

“Francisco García Salinas”

Unidad Académica de Economía

**La nanotecnología y las baterías de iones de litio:
oportunidades y desafíos para México**

TESIS

Que para obtener el título de Licenciado en Economía

Presenta:

Abel Alemán Cuevas

Asesora:

Dra. Laura Liliana Villa Vázquez

Zacatecas, Zac., junio de 2024

Dra. Samanta Deciré Bernal Ayala
Coordinadora del Departamento Escolar Central
Universidad Autónoma de Zacatecas
Presente

Los que suscriben, revisores y asesora del trabajo de tesis del C. Abel Alemán Cuevas, titulado "La nanotecnología y las baterías de iones de litio: oportunidades y desafíos para México", hacemos de su conocimiento que se han atendido las sugerencias y recomendaciones que el Comité de Revisión le ha formulado a su trabajo de investigación, por lo que se autoriza su impresión para que en la fecha que se disponga, sea presentada ante el jurado nombrado para tal efecto.

Sin otro particular, le reiteramos las seguridades de nuestra mayor consideración.

ATENTAMENTE
Zacatecas, Zac., a 07 de junio del 2024.



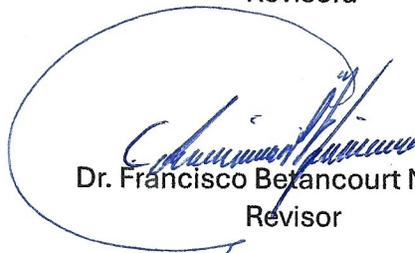
Dra. Claudia Esther del Rosario Aguilar Torres
Revisora



Dra. Ruth Robles Berumen
Revisora



Mtra. Mireya Araceli Torres Ramírez
Revisora



Dr. Francisco Betancourt Núñez
Revisor



Dra. Laura Liliana Villa Vázquez
Asesora

Agradecimientos

A Dios

Por su guía y por haberme brindado una vida llena de aprendizajes y experiencias.

A mis padres,

Cuyo enorme sacrificio, esfuerzo, amor y apoyo han sido la base de mi motivación para seguir adelante y alcanzar mis metas.

A mis hermanas y hermanos,

Por su apoyo en muchos aspectos de mi vida y por motivarme a seguir con mis metas.

A mi asesora, Laura Liliana Villa Vázquez,

Por su invaluable guía y apoyo durante todo el proceso.

A todos ellos, infinitas gracias.

Un agradecimiento particular al **Proyecto Conacyt-Ciencia de Frontera 2019 No. 304320** apoyado por el Fondo FORDECYT-PRONACES, denominado **“Una revisión crítica del desarrollo de las nanotecnologías en México”**, por las facilidades otorgadas para la realización de esta investigación. Su apoyo ha sido fundamental para la culminación del presente trabajo.

Índice General

Introducción.....	10
Pregunta de Investigación.....	12
Objetivo General	12
Objetivos Específicos.....	12
Hipótesis	13
Diseño de Investigación	13
Capítulo 1. Fundamentos Teórico-Interpretativos sobre Minería, Desarrollo Económico y Regional.....	15
1.1 Sobre la Teoría de la Renta.....	15
1.2 Ventajas Comparativas vs Ventajas Competitivas.....	18
1.3 Teorías del Desarrollo a Nivel Macro.....	21
1.3.1 Teoría de la Modernización	22
1.3.2 Teoría del Estructuralismo Latinoamericano	23
1.3.3 Teoría de la Dependencia	24
1.3.4 Teoría de la Globalización	25
1.3.5 Teoría del Desarrollo Sustentable	26
1.4 Teorías de Desarrollo Regional	27
1.4.1 Teorías de Predominancia Exógena	28
1.4.2 Teorías de Predominancia Endógena	31
1.5 Consideraciones Finales	33
Capítulo 2. La Minería en México: una Visión Histórica	34
2.1 La Minería en el Ciclo Colonial.....	34
2.1.1 Principales Centros Mineros	36

2.1.2	Métodos de Obtención y Beneficio de Minerales	38
2.2	El Período Porfirista	40
2.3	El Período Nacional Revolucionario	42
2.4	La Megaminería en el Período Neoliberal	45
2.5	Consideraciones Finales	48
Capítulo 3.	Panorama del Litio en América Latina	49
3.1	El Litio como Recurso Base en la Nueva Transición Energética	49
3.2	Principales Reservas de Litio a Nivel Global	52
3.3	Marco Normativo del Litio en Argentina.....	55
3.4	Régimen de Gobernanza en el Estado Plurinacional de Bolivia	56
3.5	Política Pública del Litio en Chile	58
3.6	Cadena de Valor de las Baterías de Iones de Litio.....	61
3.6.1	Primer Eslabón: extracción de materia prima.....	65
3.6.2	Preparación de Precursores.....	66
3.6.3	Elaboración de Cátodos	67
3.6.4	Fabricación de Celdas	69
3.6.5	Montaje de Paquetes de Baterías	71
3.7	El litio en México	72
3.8	Consideraciones Finales	75
Capítulo 4.	Perspectiva de las Nanotecnologías y el Litio en México	77
4.1	Algunas Cuestiones Básicas sobre las Nanotecnologías.....	77
4.2	Importancia de las Nanotecnologías en la Industria 4.0	79
4.3	Patentes de Nanotecnología: una Mirada a Nivel Internacional.....	82
4.4	El Panorama de las Nanotecnologías en México	87
4.4.1	Avances en la Política Pública de las Nanotecnologías en México..	88

4.4.2 La Regulación de las Nanotecnologías en México.....	89
4.5 Importancia de las Nanotecnologías en las Baterías de Iones de Litio ..	93
Conclusiones	101
Referencias	105

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Determinantes de la Ventaja Competitiva Nacional</i>	20
Figura 2 <i>Centros Mineros y Vías Férreas de México (1880-1910)</i>	42
Figura 3 <i>Evolución del Precio del Carbonato de Litio a Nivel Mundial 2010-2023</i> <i>(en dólares por tonelada métrica)</i>	51
Figura 4 <i>Distribución de los Recursos de Litio Según Depósito (%)</i>	52
Figura 5 <i>Participación Mundial en Recursos de Litio 2021 (%)</i>	53
Figura 6 <i>Cadena de Valor de Baterías de Iones de Litio</i>	63
Figura 7 <i>Desglose de la Capacidad de Gigafactories Global (izquierda) vs ex –</i> <i>China (derecha) Proyectada a 2026 (en GWh y porcentajes)</i>	65
Figura 8 <i>Participación de Mercado de Precursores 2019 vs 2025 (en toneladas)</i>	67
Figura 9 <i>Participación de Mercado de Producción de Cátodos de China Frente al</i> <i>Resto del Mundo, 2025 (En toneladas)</i>	68
Figura 10 <i>Desglose de la Capacidad Global de las Gigafactories (izquierda) y</i> <i>Desglose Fuera de China (derecha), 2020 (En GWh y porcentajes)</i>	69
Figura 11 <i>Participación de Mercado Chino de Gigafactories en 2020, Agrupada</i> <i>por Empresa (En porcentajes)</i>	70
Figura 12 <i>Desglose de la Capacidad de Gigafactories Global (izquierda) y ex-</i> <i>China (derecha) Proyectada a 2026 (En GWh y porcentajes)</i>	71
Figura 13 <i>Estados de México con Manifestaciones de Litio, 2021</i>	74
Figura 14 <i>Tecnologías que Conforman la Industria 4.0</i>	81
Figura 15 <i>Patentes Por País, OMPI (2004-2014)</i>	84
Figura 16 <i>Patentes Otorgadas en NT's (2000-2013)</i>	85

Figura 17 <i>Patentes Otorgadas en Nano (2013)</i>	86
Figura 18 <i>Partes de una Batería</i>	93
Figura 19 <i>Localización de las Principales Actividades en la Cadena de Valor de BIL</i>	96
Figura 20 <i>Participación de Mercado de BIL 2019 (%)</i>	98
Figura 21 <i>Capacidad de Producción de Baterías (GW) 2021/2027</i>	99

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Producción de Oro y Plata en la Nueva España 1521-1700 (Kg.)</i>	36
Tabla 2 <i>Principales Reformas Institucionales del Litio Para el Período 1970-1983</i>	59
Tabla 3 <i>Nanomateriales Utilizados en Baterías de Iones de Litio</i>	95
Tabla 4 <i>Capacidad Productiva de Celdas para BiL por Aplicación, 2018</i>	97

Introducción

Actualmente, a nivel global se experimenta una crisis multidimensional (económica, social, ambiental, sanitaria, etc.) a nivel civilizatorio (Bartra, 2013). Dentro de este contexto, la crisis ecológica y el fenómeno del cambio climático se presentan como una de las manifestaciones más graves y notorias. Ante desafíos como la contaminación y el calentamiento global, se están explorando alternativas para abordar estas problemáticas de manera efectiva. Ante tal situación, se apuesta por un cambio de paradigma energético en el que se abandone de manera gradual los combustibles fósiles y pasar a una matriz energética sustentada en la electromovilidad (Kazimierski, 2019).

Dentro de este panorama, el litio adquiere el papel de recurso estratégico al ser un insumo clave en la producción de baterías de iones de litio, que son fundamentales para el almacenamiento de energía, principalmente en vehículos eléctricos (Barberón, 2023). Las baterías de iones de litio aun enfrentan retos tecnológicos, ya que se destaca la necesidad de incrementar los ciclos de carga y a su vez aumentar la velocidad de carga. También se requiere una mayor densidad energética en baterías de iones de litio para autos eléctricos. Frente a estos retos, las nanotecnologías juegan un papel preponderante, ya que, mediante aplicaciones de estas tecnologías en terminales de baterías de iones de litio, se superó en gran medida la problemática de la alta inflamabilidad del litio (Del Barco Gamarra & Foladori, 2011).

Zícari (2015), menciona que los cambios recientes en el mercado tecnológico han ido posicionando al litio como un recurso estratégico, nombrado por algunos especialistas como el “petróleo del siglo XXI”. Jalife Rhame (2022), califica al litio como un “mineral geopolítico” por su gran importancia para países como Estados Unidos y China, potencias que actualmente se encuentran en disputa por la hegemonía mundial.

Al considerarse al litio como un mineral clave en el cambio de paradigma energético, éste ha cobrado relevancia, tanto para el sector privado como para gobiernos de los países que cuentan con reservas de dicho recurso, principalmente en América Latina, donde destacan Argentina, Bolivia y Chile, países que conforman el denominado “triángulo del litio”. México, al igual que otros países de América Latina, cuenta con

importantes reservas a nivel global, ya que el Servicio Geológico de Estados Unidos indica que México cuenta con 1.7 millones de toneladas de litio (Roncal Vattuone & Villegas Moreno, 2023). En este sentido, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2019, p. 31) menciona que “existen crecientes esfuerzos e interés de muchos países de mapear y asegurar el monto de las reservas de litio, como resultado del papel estratégico que este mineral está tomando en la generación de baterías”. Asimismo, la Comisión Europea informa que el litio será estratégico para las industrias de gran consumo de energía, la aeroespacial y de defensa y la electrónica y tendrá un uso fundamental para los escenarios de neutralidad climática (Muñiz Toledo, 2021).

A la par del papel estratégico del litio, se destaca la importancia de las nanotecnologías, las cuales han adquirido un lugar preponderante en el desarrollo y la innovación tecnológica, siendo así tecnologías revolucionarias. Estas tecnologías son de carácter multidisciplinario, lo cual implica el entendimiento de la física, la química, la electrónica, la dinámica de fluidos y muchas otras ingenierías (Záyago Lau & Foladori, 2010), ya que los nanomateriales operan a nivel atómico y molecular, presentando propiedades novedosas que no se muestran a una escala macro. Por ello, las nanotecnologías tienen aplicaciones en prácticamente todas las ramas de la industria.

El tema fue seleccionado debido a que en años recientes ha surgido un boom del litio, siendo este un *commodity* base en la nueva transición energética que se fundamenta en la electromovilidad que tiene como corazón a las baterías de iones de litio. Dentro de este rubro se destaca la potencialidad de las nanotecnologías y los nanomateriales para mejorar la eficiencia de las baterías de iones de litio. Entre las innovaciones se encuentran una mayor densidad energética, una mayor cantidad de ciclos de carga y descarga, así como una mayor velocidad en los procesos de carga, entre otros aspectos a analizar.

Dentro de este panorama México sobresale ya que cuenta con importantes reservas litíferas a nivel mundial, lo cual representa una ventana de oportunidad para generar escalamientos en las cadenas globales de valor del litio y pasar de un modelo primario exportador hacia la elaboración de productos de valor agregado como las baterías y, además, implementar políticas públicas en fomento al desarrollo de las regiones que cuentan con reservas de litio.

En cuanto al panorama de las nanotecnologías en América Latina, México y Brasil producen el 90% de las patentes registradas en esta materia (Anselmi Baumgarner & Martínez, 2023). Esto sugiere un futuro promisorio para México, ya que las nanotecnologías han experimentado un crecimiento vertiginoso en años recientes y se posicionan como una de las tecnologías fundamentales de la industria 4.0, o cuarta revolución industrial.

Por las razones anteriormente mencionadas, se considera que la presente investigación resulta relevante puesto que se aportarán conocimientos sobre las perspectivas de la explotación y agregación de valor al litio en México, destacándose el papel de las nanotecnologías y los nanomateriales en la producción y mejora de las baterías de iones de litio.

Pregunta de Investigación

¿Cuáles son las oportunidades y los desafíos que enfrenta México para la elaboración de baterías de iones de litio mediante la implementación de nanotecnologías en fomento al desarrollo regional?

Objetivo General

Analizar las oportunidades y los desafíos que enfrenta México para la elaboración de baterías de iones de litio mediante la implementación de nanotecnologías en fomento del desarrollo regional.

Objetivos Específicos

1. Describir los elementos teórico interpretativos clave de la minería y el desarrollo económico local y regional.
2. Interpretar el desarrollo histórico de la minería en México
3. Indagar sobre el panorama actual del litio a nivel global y nacional, haciendo énfasis en las reservas litíferas, aspectos normativos de países con reservas y cadenas de valor.

4. Analizar el escenario de las nanotecnologías en México, enfocándose en la regulación y las políticas públicas, así como en el papel de estas tecnologías en la fabricación de baterías de iones de litio.

Hipótesis

Si México implementa estrategias efectivas para desarrollar sus recursos económicos, tecnológicos y de conocimientos técnicos, puede escalar productivamente en la cadena de valor del litio. Esto incluye optimizar la explotación de sus reservas de litio arcilloso, fortalecer el marco normativo y la gestión estatal a través de entidades como LitoMx, y fomentar la investigación y el desarrollo de nanotecnologías. Al hacerlo, México puede promover el desarrollo regional y posicionarse competitivamente en la industria global de baterías de iones de litio. Sin embargo, enfrentar desafíos como la falta de inversión, la alta especialización tecnológica requerida, la competencia internacional y la escasez de materias primas críticas. Dichos aspectos resultan cruciales para lograr tal objetivo.

Diseño de Investigación

La presente investigación es del tipo no experimental, transversal-descriptivo, pues no se manipulan variables, sino que se observan y analizan determinados fenómenos como los principales participantes en la cadena global de valor de las baterías de iones de litio, las leyes y regulaciones que inciden en la extracción del litio en México y la implementación de nanotecnologías en el país. El área de estudio es el territorio de los Estados Unidos Mexicanos. En cuanto a la definición y medición de variables, se han definido el nivel de reservas de litio, marcos normativos, políticas públicas y aspectos regulatorios de las nanotecnologías en México. Respecto a la información sobre el litio y nanotecnologías en México, se consultarán fuentes especializadas. Asimismo, se consultará información de organismos gubernamentales tanto a nivel nacional como internacional.

Respecto al esquema expositivo del presente trabajo, el primer capítulo está integrado por elementos teórico-interpretativos que ayudan a contextualizar la investigación. Dichos elementos están integrados en el marco teórico y son explicados

de manera resumida. Se describen elementos que resultan importantes en el contexto de la minería y el desarrollo económico a nivel macro y regional.

En el segundo capítulo, se abordan los antecedentes relativos a la minería en México. Se parte desde el período colonial y se culmina en el período actual.

En el tercer capítulo se indaga sobre el panorama global del litio, destacando el papel de dicho mineral como *commodity* base en la nueva transición energética. Asimismo, se analizan los marcos normativos de Argentina Bolivia y Chile, se analiza la cadena global de valor de las baterías de iones de litio y finalmente se analiza el panorama de México en torno al litio.

Finalmente, el cuarto capítulo aborda el panorama de las nanotecnologías en México; se destacan los aspectos regulatorios y de política pública, así como el papel de dichas tecnologías en la elaboración de baterías de iones de litio.

Capítulo 1

Fundamentos Teórico-Interpretativos sobre Minería, Desarrollo Económico y Regional

El presente capítulo tiene como objetivo principal exponer los fundamentos teóricos para describir y explicar conceptos clave en la minería y el desarrollo económico tanto local como regional. Primeramente, se describe el concepto de renta, que resulta relevante puesto que el Estado obtiene ingresos por medio de regalías o impuestos a partir de la actividad minera. Posteriormente, se abordan los principales postulados de las ventajas comparativas y competitivas. En tercer lugar se describen los principales enfoques del desarrollo económico, a saber, la teoría de la modernización; el enfoque de la dependencia; la globalización, así como la teoría del desarrollo sustentable. Finalmente se describen de manera sintética algunos de los principales enfoques de desarrollo regional.

1.1 Sobre la Teoría de la Renta

El concepto de renta resulta ser de gran importancia en el ámbito de la minería, dado que la actividad minera implica la extracción de recursos naturales agotables, como son los minerales y metales preciosos, que son propiedad del Estado o del país en el que dichos recursos se encuentran. En el desarrollo de la teoría de la renta se destacan las aportaciones de economistas como Ricardo (1817) y Marx (1894). Ricardo presentó a principios del siglo XIX un tratamiento de la renta que en la actualidad constituye el fundamento de la mayor parte de la teoría (Todaro, 1978). Posteriormente Marx expande y profundiza en el análisis de la renta de la tierra.

Para Ricardo (1817/1973, p. 69), “la renta es aquella porción del producto de la tierra que se paga al propietario por el uso de la potencia original e indestructible del uso”. En este sentido, el autor subraya que la tierra representa un factor de producción, siendo equiparable con el agua o el aire. Sin embargo, la tierra es un recurso limitado, que además posee distintos niveles de fertilidad, siendo este el motivo por el cual surge la renta. Bajo esta lógica, de acuerdo con el citado autor, el aumento de la población trae

como consecuencia un incremento en la demanda de alimentos, por lo que se utilizan tierras de calidad inferior para satisfacer la creciente demanda; además, la diferencia del producto que se obtiene entre las tierras más fértiles y las de segunda calidad, será abonado a los dueños de las primeras.

Una condición para que exista la renta es la diferencia de calidad y propiedades en las tierras, ya que, si fueran ilimitados en cantidad y uniformes en calidad, no se pagaría renta a los propietarios de las tierras (Ricardo, 1817/1973). Ricardo menciona que, en las mejores tierras, la renta será mayor a medida que se disminuyan los rendimientos obtenidos por el trabajo y capital invertidos en las tierras de segundo orden o menor calidad. Por tanto, la renta de la tierra se origina a partir del incremento de la demanda social de alimentos a tal punto de que resulta imperativo el cultivo en tierras de segundo orden.

La teoría de la renta diferencial expuesta por Ricardo tenía como objetivo demostrar la existencia de una clase social, que eran los terratenientes, los cuales obtenían una retribución por el uso medio de la tierra. Además, pese a que la producción de ciertas mercancías supone el pago de una renta, el precio de éstas es regulado por la cantidad de trabajo necesario para reproducirlas. El estudio de la renta por parte de Ricardo trabajaba únicamente el concepto de renta diferencial, pues era el único tipo de renta aceptado por este autor, por lo que negaba el concepto de renta absoluta.

Posteriormente, Marx corrige y desarrolla la teoría de la renta desarrollada por Ricardo. Respecto a la tierra, Marx (1894/2009) aclara que “por tierra también se entiende el agua, etc., en la medida en que tenga un propietario, en que se presente como accesorio del suelo” (p.793). Asimismo, el citado autor menciona que la propiedad de la tierra presupone el monopolio de ciertos individuos sobre determinadas proporciones del planeta, sobre las cuales pueden disponer como esferas exclusivas de su arbitrio privado, con exclusión de todos los demás.

Marx (1894/2009) advierte tres errores que se deben evitar a la hora de analizar la renta: en primer lugar, se parte de que las diversas formas de renta corresponden con diferentes fases del desarrollo del proceso social de producción; en segundo lugar, “toda renta de tierra es plusvalor, producto de plustrabajo” (p. 816); Finalmente, menciona lo siguiente:

Precisamente en el caso de la valorización económica de la propiedad de la tierra, en el desarrollo de la renta del suelo, se manifiesta como cosa particularmente característica el hecho de que su monto no esté determinado en modo alguno por la intervención de su receptor, sino por el desarrollo del trabajo social, desenvolvimiento que no depende de lo que haga ese receptor y en el cual éste no participa en absoluto. (Marx, 1894/2009, p. 819)

En el caso de la renta diferencial, Marx (1894/2009) la divide en dos tipos: la renta diferencial tipo I, que se da a causa del resultado de la productividad diferente de inversiones iguales de capitales en mismas superficies de tierra, pero con fertilidad diferente. De manera que este tipo de renta resulta de la diferencia de los rendimientos de capital invertido en suelo peor que no devenga renta y del capital invertido en el suelo mejor. Respecto a la renta diferencial tipo II, el autor anteriormente citado menciona que el cultivo simultáneo coexiste de suelo de diferente fertilidad y ubicación, es decir, el empleo simultáneo, coexistente de diferentes partes componentes del capital agrícola global en sectores de terreno de calidad diferente. En este sentido, la renta diferencial tipo II se relaciona con mejoras en la productividad o en la demanda.

Además de las rentas de tipo I y tipo II, también existe la renta absoluta, que se refiere a las ganancias o beneficios económicos obtenidos debido al control exclusivo de un recurso natural escaso o de un factor de producción valioso. La renta absoluta, según Marx (1894/2009), es la renta que aparece como el excedente del valor agrícola respecto al precio de producción. Una característica de la renta absoluta es que ésta surge del remanente del valor sobre el precio de producción es simplemente una parte de la plusvalía agrícola, la transformación de esta plusvalía en renta, su absorción por el propietario de la tierra.

Respecto a la renta minera, Marx (1894/2009, p. 983) menciona que “dondequiera que exista la renta, la renta diferencial se presenta por doquier y obedece siempre las mismas leyes que la renta diferencial agrícola”. Por ende, al referirse a la cuestión de la renta minera, se habla de las mismas características que la renta de la tierra. Así pues, en palabras de este autor, “la renta minera propiamente dicha está determinada exactamente de la misma manera que la renta agrícola” (p. 185).

En este sentido, la teoría de la renta resulta de gran utilidad para entender cómo los recursos naturales de un determinado territorio o país pueden generar ingresos significativos. En el contexto de México, al ser un país con importantes reservas de litio,

la discusión de la teoría puede ayudar a maximizar los mecanismos de captación de renta, como lo son los marcos normativos. Por ende, resulta crucial formular políticas que no solo favorezcan la explotación eficiente del litio, sino que también promuevan un desarrollo económico regional equitativo.

1.2 Ventajas Comparativas vs Ventajas Competitivas

La teoría de las ventajas comparativas fue propuesta por David Ricardo en 1817 en su obra *Principios de Economía Política y Tributación*. Dicha teoría se centra en el comercio internacional y se refiere, principalmente, a la mayor eficiencia relativa en la producción de bienes y servicios. Ricardo (1817/1973) sostiene que por medio del desarrollo del comercio exterior se obtiene un beneficio mutuo entre los países que participan en el libre cambio de bienes y servicios. Afirma que algunos países son más eficientes que otros en la producción de ciertos bienes y servicios, lo cual les confiere una especialización y menores costos de producción. En este sentido, la teoría de las ventajas comparativas plantea que, si un país abre sus fronteras al comercio exterior, debe adoptar una estructura de producción especializada en bienes y servicios con mayor productividad de trabajo.

Por tales motivos, Ricardo (1817/1973) promueve el libre comercio, puesto que, desde esta perspectiva, el libre cambio de mercancías entre naciones trae consigo una mayor eficiencia en asignación de recursos, lo cual incrementa el valor real de la producción y consumo nacionales e incrementa el bienestar económico. En síntesis, una ventaja comparativa se basa en la idea de que un país o nación puede producir ciertos bienes o servicios a un costo más bajo que otro país, por ello debe especializarse en producir dicho bien o servicio y comerciar con otros países bienes y servicios en los que no se puede especializar o es menos eficiente. Bajo esta lógica, las naciones implicadas en el intercambio comercial se verán beneficiadas.

Con el paso del tiempo, la teoría de las ventajas comparativas desarrollada por David Ricardo comenzó a parecer inadecuada para el nuevo contexto de la economía global. Actualmente, el discurso de competitividad ha sido adoptado en todo el mundo, puesto que la apertura económica ha significado nuevas oportunidades de crecimiento, así como una mayor competencia (Buendía Rice, 2013). Es por ello que comenzaron a

desarrollarse nuevas teorías con la intención de explicar las condiciones de la competencia en un contexto actual.

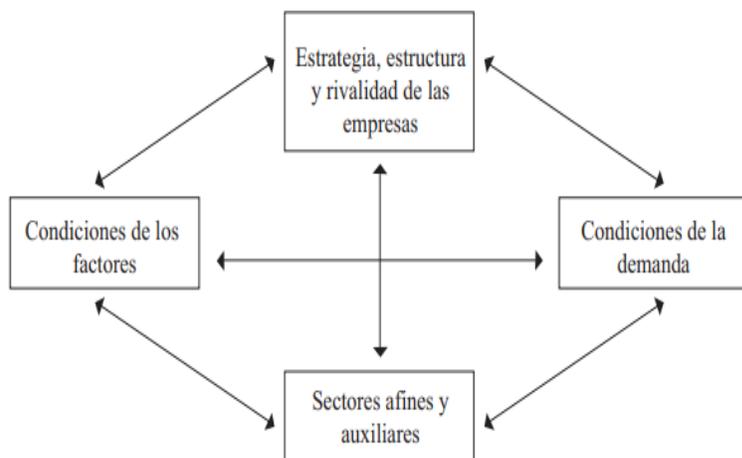
En este contexto, se dio pie al desarrollo de la teoría de las ventajas competitivas en la década de 1980 por varios economistas, siendo Michael E. Porter uno de los autores más destacados en el ámbito. Porter desarrolló una teoría de competitividad nacional basada en las causas de la productividad, porque sólo es en esta la única variable que puede explicar la competitividad de una nación (Buendía Rice, 2013). Dentro del análisis de Porter, se destaca la importancia de la calidad o fortaleza de ciertos elementos para el desarrollo exitoso de las empresas en un contexto de competencia (Martínez Piva, 1998). Al aprovechar las ventajas competitivas, los países y las empresas pueden mejorar su competitividad en la industria en general y maximizar los beneficios económicos a largo plazo.

La ventaja competitiva en palabras de Porter (1987/1994, p. 29) “resulta principalmente del valor que una empresa es capaz de crear para sus compradores”. Al respecto el citado autor añade:

...hay dos tipos básicos de ventajas competitivas que puede poseer una empresa: costos bajos o diferenciación. La importancia de cualquier fortaleza o debilidad que posee una empresa es en su esencia una función de su impacto sobre el costo relativo o la diferenciación. (p. 29)

Dichas ventajas deben ser creadas por las empresas a través de actos de innovación (Porter 1994 como se citó en Buendía Rice, 2013). En este sentido, Buendía Rice menciona que, al lograrse una ventaja competitiva, la empresa puede mantenerla mediante un proceso de mejora constante, ya que, si no lo hace, los competidores sobrepasarán a la empresa.

En palabras de Sobrino (2002, p. 320) “las ventajas competitivas adoptan un modelo de diamante de cuatro aristas que incluye elementos microeconómicos derivados de las estrategias competitivas y macroeconómicos que se establecen por el comportamiento del mercado internacional.

Figura 1*Determinantes de la Ventaja Competitiva Nacional*

De “El papel de la ventaja competitiva en el desarrollo económico de los países” por E. A. Buendía Rice, *Análisis Económico*, 18(69), p. 65. (<https://www.redalyc.org/pdf/413/41331033004.pdf>).

El primer determinante para la generación de ventajas competitivas son las condiciones de los factores, que se refieren a la posición del país en factores de producción, como mano de obra calificada o infraestructura necesarios para competir en una industria específica (Sung Cho & Chang Moon, 2002). Porter (1990) menciona que los factores juegan un papel fundamental en la generación de una ventaja competitiva de una nación y, considera que el stock de factores en un momento dado es menos importante que la tasa en la que éstos se crean.

En segundo lugar, están las condiciones de la demanda interna, que puede ayudar a la creación de ventajas competitivas (Buendía Rice, 2013). Porter (1990) destaca tres atributos amplios de la demanda interna: su composición (o naturaleza de las necesidades del comprador), su tamaño y patrón de crecimiento, y los mecanismos por los cuales las preferencias domésticas de una nación se transmiten a los mercados extranjeros.

En tercer lugar, los sectores afines y auxiliares “tratan sobre la disponibilidad de proveedores nacionales competitivos internacionalmente que facilitan el intercambio de información y promueven un intercambio continuo de ideas e innovaciones” (Buendía Rice, 2013, p. 62). En este aspecto, Porter (1990) menciona que, a través del acceso

eficiente, temprano, rápido y a veces preferencial a los insumos más rentables influye en la generación de una ventaja competitiva.

Por último, el cuarto determinante, la estrategia, estructura y rivalidad de las empresas permite mejorar su competencia interna de tal manera que se estimula la creación y la mejora de la ventaja competitiva por medio de la innovación (Buendía Rice, 2013).

Bajo este enfoque, el desarrollo se concibe como endógeno, ya que se puede inducir, provocar y reforzar (Martínez Piva, 1998). El Estado también juega un rol importante para la creación de ventajas competitivas a través de la implementación de la política industrial o económica.

Al pasar de las ventajas comparativas hacia las ventajas competitivas cabe preguntarse si México tendría las condiciones para la generación de ventajas competitivas para un mejor aprovechamiento del litio destacando la posibilidad de elaborar productos de valor agregado, como es el caso de las baterías de iones de litio. Para alcanzar tal objetivo se plantean diversas opciones como, por ejemplo, destinar una mayor inversión al sector de ciencia y tecnología, destacando el área de las nanotecnologías, las cuales resultan ser de gran importancia para el desarrollo de las baterías de iones de litio de tal manera que el país pueda escalar en la cadena de valor de las baterías.

1.3 Teorías del Desarrollo a Nivel Macro

Durante el periodo de la posguerra, fueron surgiendo diferentes teorías del desarrollo, cada una con enfoques y perspectivas distintas, pero con un mismo objetivo. Las teorías del desarrollo surgieron como especialidad de la ciencia económica para dar respuesta a interrogantes sobre las condiciones de desigualdad económica y social entre las naciones, especialmente en los países más atrasados o de menor renta per cápita (Gutiérrez Garza, 2010). Asimismo, la citada autora menciona que dichas teorías establecieron que su ámbito de estudio sería el análisis de los cambios en las estructuras económicas de las sociedades a mediano y largo plazo, así como de las barreras que obstaculizan dichos cambios en los países subdesarrollados. En este sentido, las teorías

del desarrollo son una herramienta fundamental para analizar y explicar los desafíos del atraso y subdesarrollo.

1.3.1 Teoría de la Modernización

La teoría de la modernización es una teoría sociológica que postula que todas las sociedades pasan por diferentes etapas de desarrollo, donde se parte de una sociedad tradicional hacia una sociedad moderna. Rostow (1961), divide el crecimiento en cinco fases o etapas; en primer lugar, está la sociedad tradicional, que el autor define como “aquella estructura que se desarrolla dentro de una serie limitada de funciones de producción, basadas en la ciencia, la técnica y una actitud *prenewtoniana* en relación con el mundo físico” (p. 16). Un rasgo característico de esta sociedad es el tope de niveles de producción, ya que el citado autor menciona que existían limitaciones e inaccesibilidad de la ciencia, así como inexistencia de aplicaciones y marco intelectual.

La segunda etapa, denominada como etapa de *condiciones previas para el despegue*, se caracteriza por un proceso de transición en el cual se da una transformación en la sociedad tradicional de tal manera que se pueden explotar los frutos de la ciencia moderna y la obtención de mayores rendimientos y beneficios (Rostow, 1961). Posteriormente, la tercera etapa denominada *impulso inicial*, es, en palabras del autor “la gran línea divisoria en la vida de las sociedades modernas” (p. 20). A partir de dicha etapa, se eliminan los obstáculos que impiden el crecimiento permanente. Dicho intervalo se caracteriza, principalmente, por la expansión de nuevas industrias, incremento en producción de productos manufacturados, expansión urbana y un incremento en el ahorro. Asimismo, se producen importantes cambios en la productividad agrícola, siendo este un factor importante para dar un impulso inicial.

La cuarta etapa, denominada *camino o la marcha hacia la madurez* implica un periodo de progreso sostenido, aunque con fluctuaciones a causa de una mayor implementación de la tecnología en la producción económica (Rostow, 1961). Se incrementan nuevas industrias, se experimenta un crecimiento demográfico, se reinvierte un 10 o un 20 por ciento del ingreso nacional en la producción para sobrepasarse. Además, la economía nacional encuentra su lugar dentro de la economía internacional; se crean nuevas necesidades de importación de mercancías y nuevas mercancías para

exportación. Asimismo, el citado autor argumenta que, aproximadamente sesenta años posteriores al impulso inicial, se logra la madurez. En esta etapa, el autor señala que la economía muestra la capacidad de sustituir las industrias que impulsaron su desarrollo inicial y de aplicar los avances tecnológicos más modernos a un amplio conjunto de sus recursos.

La quinta fase es la *era del alto consumo en masa*, en la cual, a su debido tiempo, los sectores principales se mueven hacia los bienes y servicios duraderos de consumo. A medida que algunas sociedades alcanzaron la madurez, la población obtuvo altos niveles de consumo real per cápita, lo cual les permitió tener un nivel de consumo superior que sobrepasó a los productos básicos (Rostow, 1961).

La teoría de la modernización o de las etapas de crecimiento ha sido objeto de varias críticas, ya que se considera al desarrollo de manera unidireccional, de modo tal que se impone a los países en vías de desarrollo la senda americana y/o eurocéntrica para alcanzar el desarrollo económico. En este sentido, diversos autores consideran que el desarrollo no se produce de manera unidireccional, sino que existen líneas alternativas de desarrollo.

1.3.2 Teoría del Estructuralismo Latinoamericano

La teoría del estructuralismo latinoamericano surge en la década de 1950 como una respuesta a las condiciones específicas de la región, combinando diversas influencias intelectuales para analizar y abordar los problemas socioeconómicos y políticos que enfrentaba América Latina en el siglo XX. Uno de los principales exponentes del estructuralismo latinoamericano fue el economista argentino Raúl Prébisch, secretario ejecutivo en la recién creada Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Prébisch reunió un grupo de importantes investigadores latinoamericanos, que tendría una enorme importancia en el pensamiento económico y en el diseño de políticas en dicha institución y en los países latinoamericanos (López, 2020). Asimismo, las investigaciones de dicho economista en la CEPAL son consideradas como pioneras en el desarrollo de la teoría de la dependencia (Reyes, 2009).

Así pues, el enfoque estructuralista de la CEPAL responde a un método histórico-estructural, al definir su objeto de estudio en función del tipo de inserción de la región en

la economía mundial, en particular de la industrialización emergente de posguerra (Sztulwark, 2005). Respecto a los aportes del pensamiento estructuralista cepalino, Bustelo (1998, p. 197) menciona lo siguiente:

Sus planteamientos más importantes fueron la elaboración del modelo centro-periferia (1949-1950), la interpretación del proceso industrializador latinoamericano (1949-1955), la elaboración de recomendaciones de políticas de desarrollo (1955-1960), el análisis de los obstáculos a los que se enfrentó la industrialización (1960-1963), la teoría estructuralista de la inflación (1953-1964) y las tesis del deterioro tendencial de la relación real de intercambio para los países exportadores de productos primarios. (1949-1959)

De este modo, el punto de partida de Prébisch fue una crítica a la teoría clásica del comercio internacional, desarrollando un modelo del funcionamiento del mercado basado en la relación centro-periferia (Bernal Meza, 2016).

El enfoque del estructuralismo latinoamericano incentivó a varios países de América Latina a iniciar procesos de industrialización; sin embargo, tales procesos se lograron de manera parcial. Dicho enfoque se vio desacreditado con el quiebre del modelo keynesiano, por lo cual se dio pie a la implementación del modelo neoliberal, que abogaba por la apertura comercial y la privatización. En el caso de México, a partir de inicios de la década de los ochenta del siglo pasado se comenzaron a privatizar una gran cantidad de empresas paraestatales con el discurso de que el Estado era un administrador ineficiente. Así pues, se dejó atrás la idea de la industrialización y siguió el discurso neoliberal de competitividad, centrándose principalmente en las exportaciones.

1.3.3 Teoría de la Dependencia

La teoría de la dependencia surge en respuesta a la preocupación por la persistencia de la pobreza y la desigualdad en América Latina y otros países subdesarrollados a pesar de los intentos de seguir los modelos de desarrollo promovidos por los países centrales o industrializados. Dicha teoría tiene sus orígenes en la década de 1950 como resultado de las investigaciones de la CEPAL. Los teóricos de la dependencia argumentaban que estos modelos de desarrollo estaban diseñados para beneficiar a los países industrializados y que, en lugar de promover el desarrollo económico, perpetuaban la dependencia y la explotación de los países en vías de desarrollo.

Marini (1985, p. 18), define a la dependencia como “una relación de subordinación entre naciones formalmente independientes, en cuyo marco las relaciones de producción

de las naciones subordinadas son modificadas o recreadas para asegurar la reproducción ampliada de la dependencia". Para este autor, la dependencia es un fenómeno estructural que se origina en la división internacional del trabajo, relación que es impuesta por los centros capitalistas que ejercen dominio sobre los países periféricos, los cuales no pueden salir del atraso y subdesarrollo.

Por su parte, Gunder Frank (1967, p.15), menciona que "el desarrollo y el subdesarrollo económico son las caras opuestas de la misma moneda". Por lo cual se afirma que el subdesarrollo al ser un fenómeno estructural resulta ser una consecuencia y no una fase. Cardoso y Faletto (1977), sostienen que la situación de subdesarrollo se produjo históricamente con la expansión del capitalismo comercial, y luego del capitalismo industrial, que vinculó a un mismo mercado economías que presentaban diferenciación en el sistema productivo, que por consiguiente pasaron a ocupar posiciones diferentes en la estructura global del sistema capitalista. Asimismo, Gunder Frank, afirma que la metrópoli o centro capitalista se apropia del excedente económico de sus satélites para su propio desarrollo económico. Los satélites se mantienen como subdesarrollados por falta de acceso a sus excedentes por lo que se mantiene su estructura de satélite.

La teoría de la dependencia ha sido objeto de debate y críticas a lo largo del tiempo. Algunos argumentan que su enfoque puede ser demasiado simplista y no tener en cuenta las dinámicas y diversidades dentro de los propios países en desarrollo. Sin embargo, ha contribuido a generar una conciencia crítica sobre las desigualdades y los desafíos del desarrollo económico en los países en vías de desarrollo, y ha influido en los debates sobre las relaciones internacionales y la economía política global.

1.3.4 Teoría de la Globalización

La teoría de la globalización es un enfoque que busca comprender y explicar los cambios económicos, sociales, políticos y culturales que han ocurrido a nivel mundial en las últimas décadas. Esta teoría se caracteriza por abordar la apertura comercial y financiera de los países y el uso de tecnologías de información y comunicación. La globalización cuenta con varias definiciones. Giddens (2000), la define como un proceso complejo de múltiples interrelaciones, dependencias e interdependencias entre unidades geográficas,

políticas, económicas y culturales; es decir, continentes, países, regiones, ciudades, localidades, comunidades y personas.

Reyes (2001), menciona que la globalización es una teoría entre cuyos fines se encuentra la interpretación de los eventos que tienen lugar en los campos del desarrollo, la economía mundial, los escenarios sociales y las influencias culturales y políticas. Asimismo, este autor indica que las propuestas teóricas de la globalización subrayan principalmente los sistemas de comunicación mundial y las condiciones económicas, especialmente aquellas relacionadas con la movilidad de los recursos financieros y comerciales.

Reyes (2001), menciona que uno de los principales postulados de la globalización como teoría del desarrollo es que un mayor nivel de integración está teniendo lugar entre las diferentes regiones del mundo, y que ese nivel de integración está afectando las condiciones sociales y económicas de los países. La integración se refiere a la realización de acciones conjuntas de dos o más países.

Cabe destacar que la teoría de la globalización, al igual que muchas otras teorías, ha sido objeto de debate. En este sentido, Martín Cabello (2014) argumenta que dicha teoría se constituye en una poderosa justificación de la acción económica, política o social y crea debate entre aquellos que apoyan o rechazan el avance de la globalización. Asimismo, se debate si realmente la globalización beneficia a todos los países por igual o si realmente se resultan beneficiados los países hegemónicos.

1.3.5 Teoría del Desarrollo Sustentable

El enfoque del desarrollo sostenible o sustentable postula que el crecimiento económico debe ir de la mano con la administración responsable de los recursos naturales para que así las generaciones futuras puedan disponer de dichos bienes. No fue hasta la década de los noventa que surge esta propuesta de análisis para enfrentar los retos del desarrollo desde una perspectiva diferente. Con la publicación del informe titulado “*Nuestro futuro común*” o informe de Brundtland, se sentaron las bases del desarrollo sustentable. El informe presenta el término de “desarrollo sostenible” que se define como el desarrollo que “satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad

de las futuras generaciones para satisfacer las propias” (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1987, p. 23).

El desarrollo sustentable no solo aborda cuestiones económicas, sino que también se integran diversas cuestiones. El desarrollo sustentable emerge como una propuesta conceptual holística que articula al menos cinco dimensiones: la económica, la ecológica, la social, la política y la cultural (Gutiérrez Garza, 2010).

Si bien, la teoría del desarrollo sostenible ha sido ampliamente aceptada y promovida, también ha recibido críticas por parte de diversos sectores. Algunas de las críticas más comunes incluyen una falta de definición clara y consensuada y que a menudo es utilizada por las grandes empresas para hacer *greenwashing*, o lavado de imagen para ocultar prácticas insostenibles. A pesar de ello, la teoría del desarrollo sostenible sigue siendo un marco valioso para promover un equilibrio entre el desarrollo económico, la justicia social y la protección del medio ambiente, pero su aplicación práctica puede requerir enfoques más integrales y transformadores.

1.4 Teorías de Desarrollo Regional

Las teorías del desarrollo regional comenzaron a adquirir relevancia a partir de la década de 1950, bajo la fuerte expansión económica de Europa, como un intento por dar respuesta a la existencia de disparidades regionales y crecimiento económico desigual (Ingaramo et al., 2009). De acuerdo con Salguero Cubides (2006), las teorías del desarrollo regional se basan en los mismos fundamentos que las teorías de desarrollo nacional, puesto que ambas intentan explicar las mejoras a largo plazo en el bienestar de un pueblo ubicado en determinada área. Sin embargo, Hilhorst (1974) advierte que, a pesar de estar basadas en los mismos fundamentos, las teorías de desarrollo regional y local muestran diferencias, ya que una nación posee un cierto grado de soberanía mayor a las regiones. Además, el citado autor menciona que los mercados regionales están sujetos a otras leyes económicas en comparación con los mercados nacionales.

En palabras de Hilhorst (1974, p. 3) “por desarrollo regional se entiende que hay un aumento en el bienestar de la región expresado por indicadores tales como ingreso per cápita, disponibilidad de servicios sociales y la adecuación de sus sistemas legales y administrativos”. Al respecto Boisier (2001) menciona que:

El desarrollo regional consiste en un proceso de cambio estructural localizado (en un ámbito denominado “región”) que se asocia a un permanente proceso de progreso de la propia región, de la comunidad o sociedad que habita en ella y de cada individuo miembro de talo [SIC] comunidad y habitante de tal territorio. (p. 7)

Asimismo, Boisier (2001, p. 7) define a la región como “un territorio organizado que contiene, en términos reales o en términos potenciales, los factores de su propio desarrollo, con total independencia de la escala”. Mientras que las teorías de desarrollo regional, se entienden como “un sistema de relaciones consistentes, con el fin de explicar más altos valores para uno o más de estos indicadores [ingreso per cápita, disponibilidad de servicios y sistemas legales y administrativos adecuados], dadas una o más fuerzas motivadoras en la conducta humana racional” (Hilhorst, 1974, p. 3).

Los enfoques de las diferentes teorías plantean de manera muy variada la problemática de las causas y los mecanismos de creación de polarización espacial, que al final provocan las desigualdades regionales (Rózga Luter, 1994). Así pues, las teorías del desarrollo regional estudian ciertos factores que influyen en el desarrollo de las distintas regiones. Las teorías del desarrollo regional consideran el crecimiento regional desde dos puntos de vista: a) de manera exógena, y b) de maneara endógena (Hilhorst, 1974). Como bien mención Gutiérrez Casas (2006, p. 186):

Las distintas teorías [...] aportan cada una de ellas un ingrediente distinto a nuestra comprensión del proceso de crecimiento y sus orígenes, y enfatizan el papel de una o más variables o factores como determinantes básicos del crecimiento. Asimismo, éstas nos permiten valorar las condiciones que conllevan un crecimiento duradero y estable o el retraso persistente de las regiones, y prever la política regional más adecuada para la consecución de los fines del desarrollo.

En este sentido, se podría decir que, a partir de los distintos enfoques de las diversas teorías del desarrollo, se ofrecen diferentes puntos de vista en los cuales destacan ciertas variables o factores como impulsores del crecimiento y desarrollo.

1.4.1 Teorías de Predominancia Exógena

En las teorías exógenas predomina el enfoque interregional, y además se estudian las determinantes y los mecanismos de la transmisión del desarrollo económico de una región a otros sistemas (Salguero Cubides, 2006). Bajo esta línea, se argumenta que el desarrollo de una región en general se origina a partir de factores externos.

Teoría de los Procesos de Desarrollo Socioeconómico. Hermansen explica el concepto de espacio polarizado caracterizado por las interdependencias de las unidades económicas y sostiene que las aglomeraciones de actividades humanas se caracterizan por: a) la localización relativa, tamaño y composición funcional; b) la red de servicios para movimientos de productos, personas, gente e información que conectan tales aglomeraciones; c) la distribución, luego sostiene que la organización espacial es mejor cuanto mayor sea el grado de integración (Hermansen, 1974).

La teoría de los procesos de desarrollo económico explica el desarrollo regional a partir de tres procesos. En primer lugar, se destacan los procesos de desarrollo cultural, que se refieren a los cambios del sistema de valores, las creencias y las normas (Hermansen, 1974). En segundo lugar, el citado autor destaca los procesos de desarrollo social, los cuales se desarrollan y abarcan diversos aspectos distributivos del desarrollo económico y la expansión de seguridad social. Finalmente, se encuentran los procesos político-administrativos de desarrollo, que remiten a cambios en las posiciones de influencia y de poder emanados de la aparición de nuevos grupos sociales y nuevas formas de intereses (Hermansen, 1974).

Teoría del Crecimiento Desequilibrado. Hirschman fue el pionero en la elaboración de una teoría de incidencia más geográfica del desarrollo aplicando los mecanismos de transmisión geográfica de impulsos de desarrollo (Salguero Cubides, 2006). De acuerdo con el citado autor, la teoría del crecimiento desequilibrado sostiene que el desarrollo económico de un país puede ser analizado por el estudio de cada uno de los casos de las regiones, con el fin de explotar sus mejores condiciones.

Hirschman atribuye el desequilibrio espacial del desarrollo a dos factores principales: las ventajas de aglomeración y la “atmósfera industrial” que predomina en los lugares que logran una gran receptividad a la innovación y el emprendimiento (Mesiel Roca, 2008). Estas ventajas, como bien menciona el autor anteriormente citado, actúan por medio de los efectos de goteo y polarización. Respecto a los efectos por goteo, Hilhorst (1974, p. 6) indica que estos “son favorables a la región pobre y ocurren cuando la región rica comienza a comprar, e invertir en la región más pobre. Este efecto es muy probable que ocurra si existe entre las dos regiones un cierto grado de complementariedad”. Por otro lado, los efectos de polarización se ejercen a través de la

migración selectiva de población capacitada y joven, al igual que de capital, de las regiones rezagadas hacia las zonas industriales (Tamayo Flores, 1998).

Bajo tales supuestos, depende de la fortaleza de las dos nuevas fuerzas opositoras si la región pobre se desarrollará o entrará en un período de estancamiento (Hilhorst, 1974). Así pues, los efectos de goteo representan un aspecto positivo, que dinamiza a la región pobre que ejerce el papel de proveedora de la región rica. Por otro lado, los efectos de polarización resultan negativos, ya que se desvitaliza a la región pobre con la migración del capital humano. Entonces, en este orden de ideas, la conclusión es que el crecimiento regional, gobernado por las fuerzas del mercado, es un proceso desequilibrador (Tamayo Flores, 1998).

Teoría de la Causación Circular y Acumulativa. La teoría de las causaciones circulares acumulativas explica el crecimiento regional y las asimetrías a partir de la dinámica de la concentración (Gutiérrez Casas, 2006). Dicha teoría de inspiración keynesiana fue planteada por Myrdal en 1957 y surge como una reacción a las tesis neoclásicas que postulaban el equilibrio regional durante el proceso mediante una óptima asignación de recursos (Kuri Gaytán, 2003). Myrdal parte de la hipótesis fundamental de que las inversiones se producen en función de la dimensión y crecimiento esperado de la demanda, tanto local como externa, más que en función de la tasa de beneficios que puedan producir (Aché, 2013).

En su teoría, Myrdal cree que los efectos positivos de las grandes aglomeraciones y regiones en desarrollo serán tanto más fuertes cuanto mayor sea el ritmo y el nivel de desarrollo alcanzados por un país (Salguero Cubides, 2006). Así pues, la interrelación entre variables crea un proceso acumulativo que, en caso de tratarse de variables que promueven el desarrollo, lo potencian e impulsan (Martínez Piva, 1998). De manera contraria, en las regiones que no se vean favorecidas por el flujo de las inversiones y sus efectos multiplicadores, se produce una causación circular acumulativa inversa (Kuri Gaytán, 2003). En otras palabras, ante la falta de inversión, en consecuencia, se ven afectados el empleo, el ingreso, la productividad y el mercado en general, lo cual llevará al estancamiento de la región.

En este sentido, Myrdal explica al crecimiento regional como un proceso acumulativo de causa y efecto en el que las fuerzas de mercado tienden a aumentar, en

vez de disminuir los desequilibrios de las regiones (Gutiérrez Casas, 2006). Por ello, Myrdal aboga por la intervención gubernamental para contrarrestar los efectos acumulativos en favor de las regiones o centros acumulativos dominantes (Tamayo Flores, 1998).

1.4.2 Teorías de Predominancia Endógena

De acuerdo con Hilhorst (1974), las teorías de desarrollo regional de predominancia endógena dedican especial atención al desarrollo dentro de la región individual. En este sentido, estas teorías dan importancia a los factores económicos y sociales internos de una región sin interdependencias externas significativas (Salguero Cubides, 2006).

Teoría de la Base de Exportación. Esta teoría surge en la década de 1950, siendo Edward C. North uno de sus principales exponentes (Cuadrado Roura, 1995). En términos generales parte del supuesto de que el crecimiento de una región, su despegue, depende de una variable exógena, a partir de la demanda de sus bienes exportables (Gutiérrez Casas, 2006). En este sentido, posiciona a las actividades económicas con una producción altamente exportable como el motor de desarrollo regional (Salguero Cubides, 2006).

La expansión dinámica de tales actividades de exportación amplía el mercado regional y crea condiciones de soporte económico para el surgimiento de nuevas actividades de producción de bienes y servicios para el mercado local y regional (Salguero Cubides, 2006). Así pues, con base en el razonamiento de North, la explotación de los recursos naturales de una región trae consigo el aumento de sus exportaciones, generando un superávit comercial (Hilhorst, 1974). La existencia de una demanda externa permite romper con el problema de la escasez de la demanda interna para poder crecer, que quizás sea solo consecuencia del limitado tamaño del mercado local (Cuadrado Roura, 1995).

En esta línea, el proceso de desarrollo de la región será continuo y exitoso si se diversifica la base de exportaciones de la región, ya que en caso contrario y siendo los recursos agotables, la región puede regresar al estancamiento (Hilhorst, 1974). Bajo esta teoría, el subdesarrollo o declive regional se deben esencialmente a la carencia de exportaciones especializadas y flexibles en sectores dinámicos (Cuadrado Roura, 1995).

Desde esta perspectiva, North argumenta que las regiones deben dar prioridad al desarrollo de las actividades exportadoras. Asimismo, las actitudes políticas de la región deben estar dirigidas principalmente a la mejora de la posición de la base de exportación (North, 1955).

Teoría de los polos de crecimiento. La teoría de los polos de crecimiento fue desarrollada inicialmente por Francois Perroux en la década de 1950. Dicha teoría plantea que la inversión en industrias motrices localizadas en centros estratégicos puede inducir a un crecimiento económico más generalizado a través de encadenamientos hacia atrás y hacia adelante con empresas proveedoras o demandantes de sus productos (Kuri Gaytán, 2003). El polo de crecimiento es definido por Perroux como un conjunto industrial imbricado en torno a una dinámica industrial central a través de una serie de eslabonamientos insumo-producto-mercado (Salguero Cubides, 2006).

El crecimiento dentro de un polo es propiciado por la industria motriz, la cual depende de industrias menores o satélite, las cuales operan como proveedoras de la industria (Perroux, 1974). La industria motriz se caracteriza por tener (durante un determinado período) tasas de crecimiento superiores a la media del producto industrial y nacional (Coraggio, 1972). Asimismo, debe ser más o menos grande para generar importantes efectos directos e indirectos; debe tener un elevado número de relaciones input-output con otras industrias o empresas para poder transmitir su crecimiento y debe ser innovadora (Kuri Gaytán, 2003).

Bajo esta teoría, el crecimiento no ocurre de manera homogénea, sino que más bien se manifiesta en determinados puntos o polos de crecimientos con intensidades variables y se propaga por diversos canales y con efectos sobre la economía nacional (Perroux, 1974). Asimismo, Perroux menciona que en la medida en que el beneficio sea el motor de la expansión y el desarrollo, las empresas individuales vinculadas a los precios, los gastos, así como pagos por servicios y la tecnología incorporada se verán beneficiadas. De esta manera el polo de crecimiento por sus ventas y compras causará que otras actividades relacionadas, directa o indirectamente, se expandan (Hilhorst, 1974).

1.5 Consideraciones Finales

La teoría de la renta, desarrollada por David Ricardo y ampliada por Karl Marx, destaca la importancia de la calidad y accesibilidad de los recursos naturales, generando rentas diferenciales. Mientras Ricardo se centró en cómo las tierras de diferentes calidades afectan los costos y las rentas, Marx enfatizó la explotación y la generación de plusvalía, subrayando el impacto económico y social de la concentración de rentas. Estas teorías ayudan a identificar las desigualdades inherentes y los desafíos de sostenibilidad en la industria minera, manteniendo su relevancia en los debates económicos contemporáneos.

La teoría de las ventajas comparativas de Ricardo y la teoría de las ventajas competitivas de Porter ofrecen perspectivas complementarias sobre la minería. Mientras que la primera destaca la importancia de la especialización y el comercio internacional basado en los costos de producción diferenciales, la segunda enfatiza la innovación, la calidad y la eficiencia para crear ventajas en el mercado. Integrando estas teorías, la minería puede beneficiarse de la especialización geográfica, la adopción de tecnologías sostenibles y la colaboración regional para impulsar el desarrollo económico y la competitividad.

A lo largo de los años han ido surgiendo diferentes teorías sobre el desarrollo económico con diferentes enfoques y perspectivas con el objetivo de analizar y explicar los problemas del atraso y subdesarrollo en los diferentes países y regiones. Muchas de estas teorías han quedado desfazadas con el paso de los años y otras han sido sujetas a diversas críticas, aunque también han contribuido a enriquecer la comprensión de los procesos económicos y han influido en las políticas de desarrollo. Sin embargo, ninguna teoría ofrece una solución completa y definitiva para los desafíos del desarrollo económico, por lo que cada teoría tiene sus propias fortalezas y debilidades, por lo que la aplicación de los postulados de las diferentes teorías varía según el contexto y las condiciones específicas de cada país o región en particular.

Capítulo 2

La Minería en México: una Visión Histórica

El presente capítulo se divide en cuatro apartados, cada uno referido a períodos que representaron importantes cambios en la minería en México. En primer lugar, se aborda el ciclo colonial, que comienza con la conquista y culmina con las Reformas Borbónicas, las cuales generaron un punto de quiebre para el modelo. Posteriormente, se describe el período porfirista, que representó un gran cambio en el modelo productivo, ya que con la modernización se implementaron nuevos métodos de extracción, beneficio y transporte de los minerales. Asimismo, este periodo se caracteriza por un predominio del capital extranjero en el sector minero. El tercer apartado desarrolla el período revolucionario que comienza con la constitución de 1917 la cual tenía objetivos nacionalistas hasta 1982. El cuarto apartado inicia con la instauración del actual paradigma neoliberal en México.

2.1 La Minería en el Ciclo Colonial

A poco tiempo de la llegada de los españoles a América, se iniciaron los procesos de extracción de minerales, básicamente plata y oro (véase tabla 1) (Coll Hurtado et al., 2002). Los españoles exploraron las regiones de América Latina en busca de metales preciosos, principalmente oro y plata, formando asentamientos donde se encontraban yacimientos minerales. En el contexto del colonialismo europeo, los recursos naturales de mayor interés para su mercantilización fueron el oro y la plata, aunque algunos productos de agro extracción, también ingresaron a los circuitos del capital mercantil y la explotación imperialista (Veltmeyer, 2021).

López Bárcenas (2013), ubica al periodo colonial como el primer ciclo de despojo minero en México; este primer período comenzó con la invasión española a las tierras del Anáhuac, donde al paso de los años construirían el virreinato de la Nueva España. Desde la época colonial, la minería jugó un papel fundamental en el desenvolvimiento de la economía de México. A pesar del carácter dependiente, la minería ha constituido un

factor de gran importancia en el devenir de la historia económica de México (Coll Hurtado et al., 2002). En palabras de Sariago Rodríguez (1992, p. 197):

A lo largo de la época colonial, la explotación de los metales preciosos no sólo constituyó hacia afuera el eje central de su integración a la economía española sino también hacia adentro, el núcleo articulador y dinamizador de una serie de actividades satélites como la ganadería y la agricultura de las grandes haciendas, la circulación de cereales y mercancías, el incipiente desarrollo de la manufactura textil y el comercio de esclavos.

Notoriamente, la minería fue la principal actividad económica que fungió como actividad dinamizadora de otras actividades, así como la apertura de nuevas tierras, y la fundación de los principales centros urbanos del país durante la colonia (Coll Hurtado et al., 2002). En otras palabras, como destaca Hausberger (2010/2015), la minería impulsó el desarrollo interno de las más diversas actividades de la Nueva España, fortaleciendo asimismo el consumo interno. En suma, la minería fue el motor de crecimiento de la economía novohispana, ya que como destaca el citado autor, la importancia de los flujos de suministro a las minas radica en el hecho de que en ellas se consumía gran cantidad de artículos de producción interna, incluso mayor que los importados.

Como se puede apreciar en la tabla 1, la plata era el principal metal extraído en la Nueva España, mientras que el oro se extraía en cantidades más modestas. A partir de la segunda mitad del siglo XVI, se produjo un salto cualitativo en la extracción de la plata debido a la innovación en los procesos extractivos de dicho mineral, destacando el método de amalgamación, que redujo de manera significativa el tiempo empleado en el proceso de beneficio del metal argentífero.

Tabla 1*Producción de Oro y Plata en la Nueva España 1521-1700 (Kg.)*

Período	Plata	Oro
1521-1540	68,340	4,200
1541-1561	253,600	3,400
1561-1580	1,004,000	6,800
1581-1600	1,486,000	9,600
1601-1620	1,624,000	8,440
1624-1640	1,764,000	8,020
1641-1660	1,904,000	7,420
1661-1680	2,042,000	7,265
1681-1700	2,204,000	7,380

Adaptado de "La minería en México: siglo XVIII" de S. Sandoval Maturano, en F. J. Rodríguez Garza & L. Gutiérrez Herrera (Coords.), *Ilustración Española, Reformas Borbónicas y Liberalismo Temprano en México* (p.131), 1992, Universidad Autónoma Metropolitana.

En el ámbito interno, la minería había alterado el paisaje y había polarizado a la población en un pequeño grupo de propietarios y acaudalados y una gran masa de trabajadores explotados (Coll Hurtado et al., 2002). La minería, además de requerir una enorme cantidad de insumos, también demandaba una gran cantidad de fuerza de trabajo, siendo este un factor fundamental (Von Mentz, 1998). De acuerdo con Brading, la fuerza de trabajo en la minería se constituía en mayor proporción por trabajadores libres, bien pagados y en algunas regiones eran socios de los patrones (Brading 1971/1975). Sin embargo, Von Mentz (1998) destaca que durante el período colonial se reclutó una gran cantidad de población no calificada para las faenas mineras, lo cual trajo indignación y descontento en algunos centros mineros generando incluso algunos levantamientos violentos.

2.1.1 Principales Centros Mineros

Los centros mineros nuevos implicaron una urbanización del país al ir concentrando indígenas en nuevos poblados (Coll Hurtado et al., 2002). Los principales centros mineros de la Nueva España durante el período colonial eran en su mayoría yacimientos de plata. La primera mina de plata fue encontrada en Taxco, ubicada en el centro del país, donde se iniciaron los procesos extractivos a partir de 1531 (Lang, 1977). Décadas

más tarde se descubrieron ricos yacimientos hacia el norte en Zacatecas (1546), Real de Monte (1552), Pachuca (1552) y Guanajuato (1550), entre otros lugares (Veltmeyer, 2021). Durante el siglo XVII se descubrieron cinco centros mineros importantes en Chihuahua, dos en Puebla y uno en San Luis Potosí (Barbosa Ramírez, 2006). En la figura 1, se pueden apreciar los principales centros mineros de la Nueva España, siendo los primeros Colima, Sultepec, Tehuantepec, Tegucigalpa, Tlalpujahua y Taxco. Posteriormente, se descubrieron otros centros como Guadalajara, Zacatecas, Guanajuato, Pachuca, entre otros.

Figura 1

Principales Centros Mineros de la Nueva España



Adaptado de “La minería en la Hispanoamérica colonial” por P. Bakewell en L. Bethell (Ed.), *Historia de América Latina*, (N. Escandell & M. Iniesta trads.; tomo 3, p. 53), 1990, Editorial Crítica.

Respecto al orden de importancia de los centros mineros en la Nueva España, Barbosa Ramírez (2006, p. 208) menciona que “las minas cubren prácticamente todo el país, por orden de importancia los centros eran: Guanajuato; Catorce, S.L.P.; Zacatecas; Real del Monte, Hgo.; Bolaños, Jal.; El Rosario, Sinaloa; Sombrerete y Fresnillo, Zac.; Taxco, Gro, y Batopilas, Ramos y Parral, Chih.”.

Con base en la información anterior, se observa que destacaron especialmente estados como Guanajuato, Zacatecas, San Luis Potosí, Hidalgo y Jalisco, donde se concentraban varios de los principales centros mineros mencionados por Barbosa

Ramírez (2006). Esta región central de México era conocida por su riqueza mineral y su contribución significativa a la economía colonial y posteriormente a la independiente.

2.1.2 Métodos de Obtención y Beneficio de Minerales

Durante el período colonial, el proceso de obtención y beneficio de minerales se efectuó a través de dos métodos: beneficio por fundición y beneficio de patio o amalgamación. Posteriormente, a finales del siglo XVIII se comenzó a utilizar el método de cianuración. El método por utilizar dependía de la calidad del metal, pues todo el mineral de alta ley, y el que contenía plomo o sus compuestos, se fundía, mientras que el de contenido mediano o bajo en plata, se amalgamaba (Brading, 1975/1993).

El método de fundición fue usado más comúnmente en los primeros tiempos de la bonanza minera y se utilizaba en minerales de alto contenido de metal (Brading, 1975/1993). Respecto al proceso de fundición, López Bárcenas (2013, p. 85), menciona lo siguiente:

El método era bastante sencillo: el mineral era extraído del subsuelo utilizando zapapicos y, una vez separado de la tierra, era transportado por cargadores en *tenates*; con ellos cruzaban a cuesta los túneles, hasta llegar a la base del tiro vertical, y de ahí subían por una escalera de mano hecha de madera. El mineral obtenido se echaba en un molino de piones, se cocía en un horno, se mezclaba con plomo y se fundía con una fragua, utilizando una gran cantidad de carbón y leña.

La técnica de fundición fue mejorada de 1530 a 1550 con la ayuda del equipo y técnicos alemanes que llegaron a los poblados mineros de la parte central del virreinato. (Lang, 1977). Sin embargo, dicho método implicaba grandes costos. El defecto principal de este proceso era su ineficiencia, ya que no extraía toda la plata contenida en el mineral y además era caro por la gran cantidad de carbón vegetal y lo que consumían las fraguas (Brading, 1975/1993). Asimismo, Brading menciona que se requerían grandes cantidades de compuestos químicos, plomo, litargirio y sales.

Ante los costos del método de fundición, a mediados del siglo XVI se comenzó a experimentar con sistemas menos costosos de beneficio, lo cual dio como resultado el desarrollo del método de patio (Lang, 1977). Durante la década de 1770, se produjo un cambio significativo en la metalurgia de la plata en América. Esto se debió a la llegada de una técnica revolucionaria llamada amalgamación, la cual fue descubierta en 1554 en

Pachuca, México, por Bartolomé de Medina (Furtado, 1969/1985). La producción de plata pasa a ocupar el primer plano a mediados del siglo XVI (Furtado, 1969/1985).

Dicho método, desde su introducción hasta que fue definitivamente eliminado en el último decenio del siglo XIX por el procedimiento de cianuro, sufrió pocas o ningunas modificaciones importantes (Brading, 1975/1993). Respecto al método, de amalgamación con mercurio Von Mentz (2010/2015) lo describe de la siguiente manera:

Amalgamación fue el método de beneficio del mineral de plata con ayuda del mercurio o azogue. Consiste en mezclar el mineral finamente triturado con sal, agua y mercurio, removerlo por varias semanas al aire libre (frecuentemente en un patio), propiciando así que se forme la amalgama de plata y mercurio. Esta mezcla se lava cuidadosamente y después se destila en un horno, con lo cual se recobra parte del mercurio y queda una piña de plata pura. (p. 119)

La amalgamación o método de patio fue, pues, una técnica de un valor inestimable, que contribuyó en medida considerable al desarrollo económico de México y de todo el imperio español (Lang, 1977). Gracias a esa técnica, se hizo económico utilizar minerales de ley inferior, y alcanzar niveles de producción que habrían sido inconcebibles en períodos anteriores (Furtado, 1969/1985). Tal procedimiento gastaba menos leña, pero necesitaba un abastecimiento regular de azogue (López Bárcenas, 2013). La oferta de mercurio, clave de la producción de plata, se originó durante toda la época colonial en Huancavelica, Perú y Almadén, en España (Furtado, 1969/1985).

Lang (1977) menciona que, desde el punto de vista de la minería mexicana, las ventajas del método de patio eran enormes: no requería las ingentes cantidades de leña necesarias para el método de fundición; su equipo era simple en comparación con el que requería el antiguo método.

La tecnología mejoró considerablemente en el segundo tercio del siglo XVIII con la introducción de la pólvora para extraer el metal del filón, de cabrías o malacates para arrastrar el metal por el socavón y también de trabajos de drenaje (Cárdenas, 1990/1995). Con esta innovación se reducen de manera significativa los costos en los procesos de extracción. Sandoval Maturano (1992) también destaca la combinación del método de beneficio de fundición con el método de amalgamación como otro factor clave en la reducción de costos. Asimismo, el citado autor menciona que los incentivos fiscales fueron uno de los instrumentos más poderosos con los que el gobierno de la Nueva España fomentó el crecimiento del sector minero.

2.2 El Período Porfirista

Durante el periodo porfirista en México, que abarca desde 1876 hasta 1911, la minería jugó un papel crucial en la economía del país. Durante este periodo, se implementaron políticas que beneficiaron a las empresas mineras extranjeras y a los inversionistas. Se otorgaron concesiones y privilegios especiales a compañías extranjeras, principalmente de Estados Unidos y Gran Bretaña, lo que atrajo una gran cantidad de capital extranjero a esta industria. Además, se implementaron nuevas tecnologías para la extracción, beneficio y transporte, que redujeron los costos de producción de los minerales, lo cual trajo un auge minero. Sin embargo, este auge minero también tuvo consecuencias negativas. Durante el porfiriato las inversiones extranjeras generaron economías de enclave. La riqueza generada por la minería se concentró en manos de unos pocos, mientras que la mayoría de la población seguía viviendo en la pobreza.

López Bárcenas (2013), argumenta que la consumación de la independencia de México cerró el primer ciclo del despojo minero y dio pie al segundo. En las décadas finales del siglo XIX y principios del XX las economías latinoamericanas fueron absorbidas en grado cada vez mayor por la onda expansiva del capitalismo mundial (Burnes Ortiz, 2018). Bajo este contexto latinoamericano, Burnes Ortiz menciona que los capitales extranjeros también dominaron las grandes explotaciones mineras para la exportación, principalmente la plata y el petróleo para el caso de México. Asimismo, el autor menciona lo siguiente:

La minería, que junto con el sector agropecuario continuó siendo un eje fundamentalmente de la actividad económica del país, experimentó en este periodo un notable cambio técnico, tanto en la extracción, beneficio y transporte de los minerales como en la formación de un mercado de trabajo profesional y una mayor integración al mercado internacional. (Burnes Ortiz, 2018, p. 117)

En cuanto a los métodos de beneficio de los metales, se implementó el método de cianuración, que volvió más eficiente y rentable la explotación de mineral en menores cantidades por tonelada. El proceso de cianuración influyó de manera importante para la recuperación de la productividad en las áreas mineras más tradicionales (Velasco Ávila et al., 1988b).

Ideado originalmente para el tratamiento de minerales de oro, el proceso de cianuración revolucionó la minería de la plata en México, al hacer posible que la explotación de

minerales con un contenido de 100 a 250 gramos de plata por tonelada pudiera ser rentable. (Burnes Ortiz, 2018, p. 118)

Respecto al proceso, Burnes Ortiz (2018) menciona lo siguiente:

Este método se basó en la solubilidad de la plata y el oro en soluciones de potasio y cianuro de sodio. Primero, se molía finalmente el mineral hasta convertirlo en polvo, que luego era “adelgazado” con agua, y se agregaba cianuro. Enseguida, la mezcla se agitaba hasta que el cianuro formaba una mixtura con las partículas de oro y plata. Al agregar polvo de zinc, esto hacía que el compuesto de cianuro se descompusiera; el metal precioso se precipitaba fuera de la solución listo para ser fundido en barra. (p. 118)

Otro factor impulsor de la minería fue el ferrocarril, que redujo los costos de los minerales al agilizar los tiempos de transporte. La primera línea de ferrocarril que conectaba a México con Veracruz se inauguró en 1873 (Kuntz Ficker, 2010/2015). Los ferrocarriles impulsaron la minería al reducir tarifas de carga para minerales y mercancías, hicieron posible la introducción de maquinaria pesada en áreas remotas, ampliaron el rango de los minerales de baja ley susceptibles a ser explotados (Burnes Ortiz, 2018). En este sentido, Kuntz Ficker menciona que la principal contribución económica de los ferrocarriles fue la consolidación de un mapa productivo interno diversificado y complejo, así como la integración de un mercado tendientemente nacional.

Como se observa en la figura 2, durante el porfiriato las vías férreas jugaron un papel fundamental en la conexión de los principales centros mineros de México, facilitando el transporte de los minerales, además del desarrollo de nuevas áreas mineras. La conexión de los centros mineros con los principales centros urbanos y los puertos permitió la importación de tecnología y bienes de consumo, así como la exportación de minerales a los mercados internacionales.

Figura 2**Centros Mineros y Vías Férreas de México (1880-1910)**

De *Estado y minería en México (1767-1910)* (p.256), por C. Velasco Ávila, E. Flores Clair, A., L, Parra Campos y E., O. Gutiérrez López, 1988a, Fondo de Cultura Económica.

Entre los minerales y metales de uso industrial destacan por su importancia el cobre, el plomo y el carbón mineral. El cobre llegó a representar uno de los principales renglones de exportación nacional. La demanda de este metal, derivada del crecimiento de la industria eléctrica en Estados Unidos y Europa, junto a la reducción relativa del precio de los insumos y la fuerza de trabajo, hicieron más redituable la explotación a gran escala de los yacimientos de cobre nacionales (Velasco Ávila et al., 1988b).

2.3 El Período Nacional Revolucionario

El periodo nacional revolucionario en México representó un momento de profunda transformación en la historia del país, con importantes cambios políticos, sociales y económicos que buscaban construir una nación más justa e igualitaria.

El primer esfuerzo por nacionalizar la minería surge con la Constitución de 1917. En el texto aprobado, quedó estipulado que los recursos minerales quedaban como propiedad de la nación y, además, contenía un proyecto de relaciones sociales para la minería mexicana diferente al modelo de enclave que se forjó durante el porfiriato (López Bárcenas, 2013).

Corresponde a la Nación el dominio directo de todos los minerales o substancias que en vetas, mantos, masas o yacimientos constituyan depósitos cuya naturaleza sea distinta de los componentes de los terrenos, tales como los minerales de los que se extraigan metales y metaloides utilizados en la industria; los yacimientos de piedras preciosas, de sal de gema y las salinas formadas directamente por las aguas marinas. Los productos derivados de la descomposición de las rocas, cuando su explotación necesite trabajos subterráneos; los fosfatos susceptibles de ser utilizados como fertilizantes; los combustibles minerales sólidos; el petróleo y todos los carburos de hidrógeno sólidos, líquidos o gaseosos. (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [México], 1917, Artículo 27)

La constitución de 1917 y sobre todo los artículos 27 y 123, modificaron totalmente la situación de la industria minera (Coll Hurtado et al., 2002). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de nacionalizar la minería, las grandes empresas rechazaron las nuevas regulaciones; el control de la minería quedó en manos de unos cuantos consorcios (Coll Hurtado et al., 2002). Lo que en todo caso resulta claro, es que, en ese intento, el Estado mexicano fortaleció su autoridad política y puso límites a la prepotencia de las empresas mineras extranjeras (Delgado Wise & Del Pozo Mendoza, 2002). En este sentido, el Estado mexicano intentó disciplinar a las empresas mineras extranjeras.

Posteriormente, en 1926 se promulgó una nueva ley minera. Entre los aspectos más relevantes de este ordenamiento se encontraban el establecimiento de una diferenciación entre industrias mineras e industrias petroleras, así como la federalización de esta actividad (López Bárcenas, 2013).

Ante las difíciles condiciones económicas y políticas propias del período posrevolucionario, en 1926 se promulgó una nueva ley minera en la que se plantea la diferenciación entre: las industrias mineras y petroleras; la federalización de la industria minera; la división de las concesiones mineras en cuanto a categorías, a saber: exploración, explotación, plantas y caminos; los requerimientos de elevados depósitos de garantía para otorgar concesiones de exploración, y, por último, los requerimientos de prueba de existencia de mineral para otorgar concesiones de explotación. (Delgado Wise & Del Pozo Mendoza, 2002, p. 13)

En 1930 se aprobó una nueva ley minera que sustituía a la de 1926 y la cuál implicó cambios legislativos que desvirtuaron por completo el espíritu nacionalista de la constitución de 1917 en materia de explotación del subsuelo (Delgado Wise & Del Pozo Mendoza, 2002). Todo esto dio pie, según los autores, a la conformación e implantación de un patrón hegemónico de explotación minera caracterizado como “enclave económico y político”.

Delgado Wise y Del Pozo Mendoza (2002) informan que ante estas legislaciones, las empresas extranjeras tuvieron un enorme control sobre la minería en México, situación que se mantuvo hasta mediados del siglo XX, cuando el 5 de febrero de 1961, el Estado mexicano adoptó una medida que pudiese tildarse de radical: la promulgación de la Ley Reglamentaria del artículo 27 constitucional en materia de explotación y aprovechamiento de recursos minerales, también conocida como Ley de Mexicanización de la minería. Burnes Ortiz (2018) menciona que el propósito fundamental de dicha ley era trasladar por lo menos el 51 por ciento del capital foráneo a manos del capital mexicano (privado y estatal), además de establecer la prohibición de ceder en lo sucesivo concesiones a extranjeros, como medida para promover la industrialización de la minería.

En 1975 se promulgó una nueva ley minera. Esta ley creó condiciones para una mayor participación gubernamental en el sector; el estímulo a los programas federales de exploración y desarrollo en gran escala; y la participación directa del Estado en la explotación de yacimientos mineros, entre otros aspectos (Delgado Wise & Del Pozo Mendoza, 2002). La reacción de los grandes monopolios no se hizo esperar y el sector privado inició una serie de peticiones para modificar el reglamento (Coll Hurtado et al., 2002). Coll Hurtado et al., mencionan que, en 1978 a cambio de la promesa de parte del sector privado de incrementar las inversiones mineras, el Estado otorgó una reducción del 75% a los impuestos de importación de maquinaria y equipo, y suspendió temporalmente los impuestos de exportación.

Sin embargo, el modelo de mexicanización de la economía comenzó a decaer a finales de la década de los setenta. Entre las principales causas se encontraban la crisis económica, la falta de recursos y tecnología, la inestabilidad política, la resistencia de las compañías extranjeras y las limitaciones técnicas y productivas. Estos factores se

combinaron y obstaculizaron los esfuerzos del gobierno para aumentar la participación y el control estatal en la industria minera.

2.4 La Megaminería en el Período Neoliberal

Ante el panorama global y bajo la situación de crisis en la que se encontraba México a inicios de 1980, el país se vio obligado a implementar una serie de reformas estructurales impuestas por organismos internacionales como el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional.

Los veinte años que siguieron fueron de retroceso, de ajustes macroeconómicos mediante la privatización de empresas públicas, la desregulación de los mercados, la reconversión industrial, la liberación de todos los medios de transporte, comunicaciones y la banca (Coll Hurtado et al., 2002). Delgado Wise y Del Pozo Mendoza (2002) mencionan que dichas medidas, de carácter neoliberal, cambiaron el rumbo de la economía creando condiciones para que las grandes empresas que se habían consolidado durante la etapa de mexicanización transitaran del control estatal hacia la aceleración de concentración de capital, lo cual les permitió establecer un control monopólico sobre los mayores y más ricos depósitos del país.

En esta reestructuración, se pueden distinguir por lo menos dos grandes momentos en el proceso de fortalecimiento y consolidación del gran capital minero. El primero se ubica entre 1982 y 1988, lapso en el que se implementaron una serie de estímulos y exenciones tributarias que favorecieron a una fuerte concentración de capital en la minería (Delgado Wise & Del Pozo Mendoza, 2002). En el segundo lapso de 1988 a 1996, se privatizaron las reservas, unidades y plantas mineras del sector paraestatal (López Bárcenas, 2013). Asimismo, López Bárcenas menciona que durante esos años se crearon las condiciones para la transferencia de concesiones de la pequeña a la gran minería y se inició una modificación gradual a la legislación minera, orientada a beneficiar a una pequeña fracción del capital nacional, que comenzó en 1990 y culminó en 1996, al final del periodo de estabilización de la minería.

La primera reforma neoliberal a la Ley Minera se produjo en septiembre de 1990, una vez que se había privatizado la parte más significativa del sector paraestatal y alrededor de 1.8 millones de hectáreas de reservas mineras nacionales (Delgado Wise

& Del Pozo Mendoza, 2002). Uno de los puntos culminantes de esta política neoliberal fue la puesta en venta de las empresas mineras del Estado, así como de su participación en capital social de compañías mineras medianizadas (López Bárcenas, 2013).

López Bárcenas (2013) menciona que en 1996 se modificaron la Ley Minera y la Ley de Inversiones Extranjeras, ajustándolas a los planteamientos de los empresarios mineros; en 2005 se volvió a modificar con los mismos fines. Con las modificaciones realizadas, se colocaron las bases para la entrada de empresas extranjeras en la minería mexicana. Asimismo, el citado autor afirma que en los procesos mineros ha quedado patente el poder de las empresas mineras, que tienen un predominio sobre los gobiernos federales y estatales. Dichas empresas se rigen por la supervivencia del más fuerte, tornándose sumamente agresivas y causando enormes daños al medio ambiente.

El 25 de septiembre de 1992 se expidió una nueva Ley Minera, la cual comienza su aplicación en marzo de 1993. La nueva Ley hizo posible la apertura total del sector a la inversión extranjera bajo la figura-disfraz de “Sociedades Mexicanas” (Delgado Wise & Del Pozo Mendoza, 2002). Mencionan que esta nueva reglamentación implicó un giro de 180 grados con respecto al espíritu nacionalista de la mexicanización.

Con la instauración del modelo neoliberal en México, que dio entrada a los capitales extranjeros, se produjo una nueva realidad técnico-productiva en el sector minero. Entre las innovaciones más importantes destaca la implementación de una nueva forma de explotación: la minería a cielo abierto (o de tajo abierto). Esta técnica ha llegado a predominar en la gran industria minera, ya que la profundidad y continuidad van teniendo cada vez mayor importancia en la determinación de la viabilidad económica y de explotación de un depósito (Burnes Ortiz, 2018). A diferencia de la minería subterránea, que se desarrolla por debajo de la superficie del terreno mediante la elaboración de túneles, pozos o chimeneas (Burnes Ortiz, 2018); la minería a cielo abierto remueve la capa superficial del suelo para hacer accesibles los yacimientos de mineral de baja calidad (Sánchez Salinas & Ortiz Hernández, 2021).

El método de extracción está determinado por el volumen del mineral explotable, la extensión del yacimiento y por el espesor de materiales no aprovechables que se encuentran encima del mineral a extraer (Burnes, 2018). Respecto a los cambios técnico-productivos, Guzmán López (2016, p. 16) menciona lo siguiente:

La década de los ochenta se considera un punto de inflexión, al transitar de la economía de enclave colonial a la economía de enclave poscolonial mediante megaproyectos de capital global de minería a cielo abierto, articulados a cadenas de valorización global, bajo el control del capital ficticio y extractivo.

Entre los cambios estructurales de los procesos de extracción de minerales, surge la llamada megaminería. Seoane (2013, p. 135) la define como “una particular explotación capitalista de minerales a cielo abierto, que se desarrolla y generaliza en las últimas décadas bajo la hegemonía neoliberal”. La actividad minera en general trae consigo problemas tanto económicos como ecológicos y sociales, que se ven potenciados con la megaminería.

En el ámbito económico, se produce una precarización laboral y una transferencia de valor de los países subdesarrollados que cuentan con los recursos minerales hacia los países desarrollados. En la cuestión ecológica, la minería a cielo abierto envenena la tierra con sustancias tóxicas. Tetreault (2013), menciona que toda la minería, subterránea y de cielo abierto, deja montones de escombros que emiten metales pesados y otras sustancias tóxicas al medio ambiente. En cuanto a la dimensión social, la megaminería causa desplazamientos de la población por cuestiones ecológicas o también por despojo territorial, pues como menciona Seoane (2013):

La minería a cielo abierto supone el desplazamiento de las comunidades próximas a los emprendimientos, no tan sólo por la apropiación privada de sus tierras sino particularmente por la destrucción de la agricultura y la afectación local de la vida en todas sus formas en razón del proceso de contaminación del aire y las fuentes hídricas que impone. (p. 137)

Con la implementación del paradigma neoliberal en México los capitales mineros extranjeros se vieron enormemente fortalecidos a tal grado que lograron subordinar al Estado con aparente facilidad. Esto trajo consigo problemáticas de diferentes dimensiones al país. La megaminería tiene grandes impactos ambientales, genera conflictos sociales por despojo de las comunidades cercanas a los proyectos mineros, así como la generación de nuevos enclaves mineros, por mencionar algunas problemáticas. Guzmán López (2016), menciona que la megaminería en México, durante el período 1982-2014, ha sido influida por el despojo territorial y la subordinación del Estado, así como el uso permanente del poder judicial, factores que se convierten en insumos y prerequisites permanentes para su establecimiento y funcionamiento.

2.5 Consideraciones Finales

Desde la Colonia hasta nuestros días, la minería ha jugado un importante papel en la economía mexicana. La primera ocasión en que se transformó la minería fue con la invasión de los españoles al México precolonial. Los recursos naturales de México, principalmente la plata y el oro, fueron explotados por los colonizadores españoles durante tres siglos, desde el siglo XVI hasta principios del siglo XIX. Posteriormente, en el periodo poscolonial y durante el siglo XIX, México atravesó diferentes etapas políticas y económicas en las que se produjeron inversiones extranjeras (principalmente estadounidenses e ingleses). Este periodo se caracteriza por un predominio del capital extranjero en el sector minero, creando economías de enclave, pues se daba una transferencia de valor hacia el exterior.

Con el estallido de la Revolución Mexicana, se generaron importantes cambios estructurales. El nuevo proyecto de carácter nacionalista buscaba revertir la situación de predominio del capital extranjero por medio de la constitución de 1917, una de las leyes fundamentales más importantes de la historia de México.

Sin embargo, a partir de la década de los ochenta, con el modelo neoliberal se revirtió el carácter nacionalista a nivel jurídico, fortaleciendo nuevamente a los capitales extranjeros, que desde entonces han subordinado al Estado mexicano, creando un nuevo tipo de enclave económico.

Capítulo 3

Panorama del Litio en América Latina

El presente capítulo tiene como objetivo principal analizar los modelos de gobernanza del litio en Argentina, Bolivia y Chile, países que conforman el bloque denominado “triángulo del litio”, región donde se concentran las mayores reservas de litio a nivel global. En primer lugar, se describe la importancia del litio como recurso base en la nueva transición energética que se sustenta en la electromovilidad. Posteriormente se identifican las principales reservas de litio a nivel global. Después se describe el desarrollo de los marcos jurídicos de los tres países. Más adelante se aborda lo relativo a las cadenas de valor de las baterías de iones de litio y se analiza el mercado del litio. Finalmente se expone el panorama del litio para México.

3.1 El Litio como Recurso Base en la Nueva Transición Energética

Una nueva transición energética ha ido adquiriendo cada vez más importancia en el debate actual ante el cada vez más posible escenario de agotamiento de los recursos naturales como los combustibles fósiles (Kazimierski, 2019). Asimismo, existe una creciente preocupación por las consecuencias negativas de fenómenos como el cambio climático y la contaminación. En este sentido, las propuestas hacia una nueva transición apuntan a la implementación de nuevas tecnologías y fuentes renovables y sustentables. Por ello, Fornillo (2017) menciona que, para evitar los desenlaces más temidos, es imperante la modificación de la base energética de las sociedades, propiciando una generación cien por ciento renovable y sostenible. Sin embargo, esto supone un gran reto para la sociedad actual y muchos se cuestionan si realmente es posible una transición renovable, puesto que existen recursos naturales limitados.

La idea de la transición energética surge en Alemania a finales de la década de 1970 como un intento de quienes se oponían a la energía nuclear, destacando la necesidad y posibilidad de un mundo basado en energías renovables (Fornillo, 2017). Al hablar de energías renovables o alternativas se engloban energías que provienen de

fuentes naturales y se recuperan a un ritmo igual o superior al que se consumen (González Velasco, 2009).

En este sentido, en cuestión al actual proceso de transición energética Kazimierski (2019, p. 25) menciona lo siguiente:

La transición energética en sus aristas más democráticas apunta a abandonar paulatinamente la combustión sucia y finita que alimenta los sistemas energéticos centralizados y concentrados, para generar un tipo de energía renovable y sustentable, sobre sistemas de generación distribuida más equitativos, menos concentrados y menos contaminantes.

En este aspecto, Kazimierski (2019) menciona que la transición energética también implica la generación de nueva infraestructura energética y la transformación de la industria para el desarrollo local y el transporte, por lo que también se requiere una nueva forma de gestionar la energía. Sin embargo, también existen problemáticas en los procesos de extracción de litio, ya que todo proceso extractivo genera presión ambiental y, además han surgido problemáticas en torno a la población que habita en zonas colindantes a las reservas de litio.

Kazimierski (2019) señala que una característica del nuevo paradigma energético es la necesidad de desarrollar y extender nuevas formas de almacenar la energía eléctrica procedente de fuentes renovables. Por tal motivo, el litio se ha posicionado como un recurso crítico en la transición energética, ya que dicho mineral es la materia prima base para la generación de nuevas baterías de iones de litio, con mayor capacidad para almacenar energía en comparación con las baterías convencionales. Asimismo, como destaca el autor, los ciclos de carga son más cortos y pueden soportar una mayor cantidad de ciclos de carga y descarga, lo que las coloca en el corazón de la electromovilidad. Lo que se busca es reemplazar de manera gradual los motores de combustión interna por la electromovilidad.

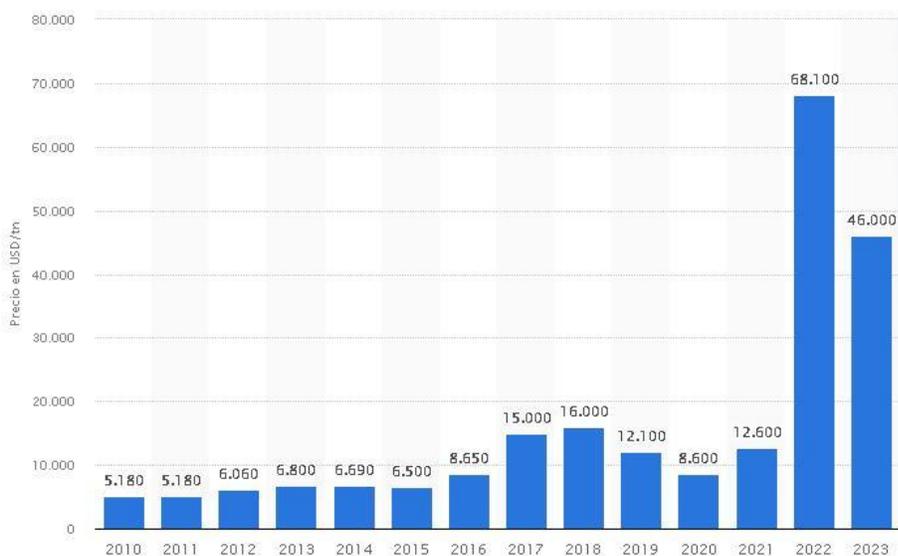
Con la imperante necesidad de pasar a la electromovilidad, han posicionado al litio como uno de los minerales con mayor demanda a nivel global. En este contexto, la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO) (2020) menciona que la principal fuente de demanda del litio proviene del sector transporte, particularmente de la demanda de vehículos eléctricos y, además, destaca que la proyección de la demanda de litio implica una correlación con las proyecciones de demanda de dichos vehículos. La Agencia

Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés) (2021), informa que la demanda actual de litio representa aproximadamente el 30% del total de la demanda de minerales para tecnologías de energía limpia. Asimismo, la IEA estima que aumente hasta un 75% y podría llegar a más del 90% en el escenario de Desarrollo Sostenible (SDS) para 2040.

En el caso de los precios del litio, estos se ven afectados por diversos factores económicos, geopolíticos, tecnológicos, entre otros. Como se observa en la figura 3, el precio del carbonato de litio en tonelada métrica, experimentó un crecimiento sustancial hasta 2018 para luego mostrar fluctuaciones en los siguientes tres años. Sin embargo, los precios tuvieron un enorme crecimiento pasando de 12,600 USD por tonelada (tn) en 2021 a 68,100 USD en 2022. Finalmente, para 2023 el precio se redujo a 46,000 USD/tn. Cabe destacar que las fluctuaciones y burbujas en el precio del litio tienen efectos complejos y multidimensionales en los países con reservas de este mineral, influyendo en sus economías, sociedades, medio ambiente y posiciones geopolíticas.

Figura 3

Evolución del Precio del Carbonato de Litio a Nivel Mundial 2010-2023 (en dólares por tonelada métrica)



De *Evolución del precio del carbonato de litio a nivel mundial entre 2010 y 2023(en dólares por tonelada métrica)*, Statista, (<https://es.statista.com/estadisticas/1448859/evolucion-del-precio-del-litio/>).

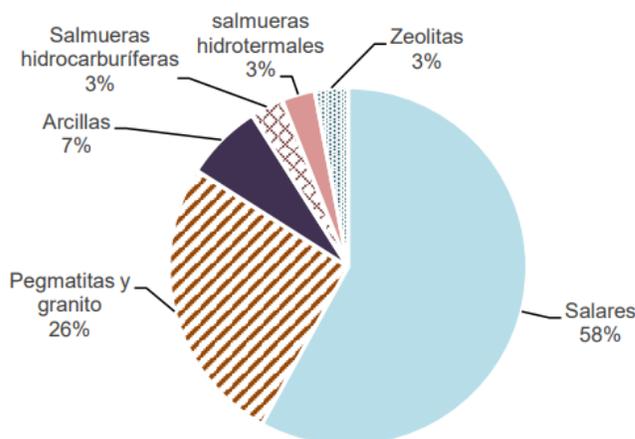
3.2 Principales Reservas de Litio a Nivel Global

Se puede pensar que el litio es un elemento escaso, sin embargo, dicho mineral es abundante en el planeta. No obstante, a pesar de su abundancia existen solamente tres tipos de depósitos que resultan económicamente explotables: I) depósitos de salmueras en salares; II) depósitos en pegmatitas y III) depósitos en arcillas volcánicas.

América Latina se encuentra en el centro de la dinámica de explotación de litio debido a que el subcontinente cuenta con las mayores reservas litíferas a nivel global. En este contexto destaca el denominado triángulo del litio conformado por tres países: Argentina, Bolivia y Chile, que en conjunto se estima un gran porcentaje de reservas en salmueras. Como se observa en la figura 4, los salares representan aproximadamente el 58% de las reservas globales de litio, seguido por las pegmatitas y grano que representan un 26%. Finalmente están las arcillas con 7%.

Figura 4

Distribución de los Recursos de Litio Según Depósito (%)



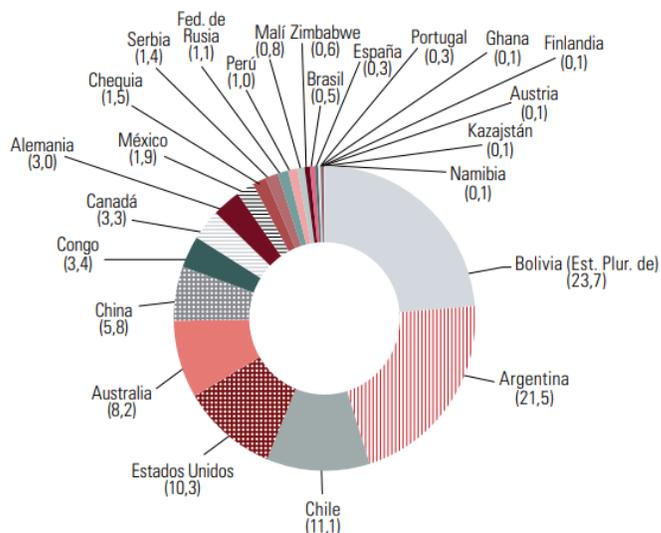
De MINEM (2017) en "Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en el Estado Plurinacional de Bolivia". Por M. Obaya, 2019, pág. 14. (<https://www.cepal.org/es/publicaciones/44776-estudio-caso-la-gobernanza-litio-estado-plurinacional-bolivia>).

En este contexto, además de ser la base de la electromovilidad, el litio representa una ventana de oportunidad, para los países que cuentan con este recurso, en términos de desarrollo económico. Como se puede observar en la figura 5, Argentina, Bolivia y Chile en su conjunto conforman alrededor del 56.3 por ciento de las reservas globales.

Después se encuentran Estados Unidos, Australia y China con importantes reservas, seguidos por República Democrática del Congo, Canadá, Alemania y México. Considerando al resto de los países de América Latina, la región alcanza casi el 60% del total de recursos.

Figura 5

Participación Mundial en Recursos de Litio 2021 (%)



De Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2023). Extracción e industrialización del litio. Oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe. Sobre la base de Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

Por ello, la CEPAL (2023) menciona lo siguiente:

La naturaleza estratégica del litio radica en sus posibilidades de contribuir al desarrollo económico de los países. Este recurso puede tener un impacto positivo a partir de una mayor creación de valor, es decir, del aumento del producto, de las exportaciones, del empleo y de la recaudación fiscal. Sin embargo, distintos actores en los países mencionados han considerado que su mayor potencial son las oportunidades de desarrollar capacidades productivas y tecnológicas asociadas al litio, que puedan contribuir al proceso de cambio estructural de las economías dotadas de abundantes recursos. Desde la perspectiva de los Estados, esto exige políticas y normas que favorezcan la creación de bienes públicos, el desarrollo de capacidades e infraestructuras blandas y duras, y la movilización y el direccionamiento de los recursos necesarios. (p. 1)

En los últimos años, se ha destacado el papel central del litio como recurso crítico en la economía global, jugando un papel fundamental en la actual dinámica de acumulación capitalista. Por tales motivos, los países que cuentan con reservas han catalogado a este mineral como un “recurso estratégico” dada su importancia para

reconfigurar la posición de dichos países en la cadena productiva global, planteando la posibilidad de pasar de un modelo primario exportador hacia la posibilidad de producir bienes de valor agregado como lo son las baterías de iones de litio.

Sin embargo, a pesar de los objetivos y perspectivas de escalar en las cadenas de valor de las baterías de iones de litio, los países latinoamericanos con reservas enfrentan grandes desafíos para alcanzar sus metas. En la actualidad el modelo de industrialización del litio en Bolivia es el único en la región de América Latina, pues han optado por una senda soberana y a escala piloto se ha completado la cadena de valor agregado (Montenegro Bravo, 2018).

Sin embargo, el país andino aún enfrenta importantes retos, ya que la paraestatal Yacimientos de Litio Bolivianos planea utilizar el método de extracción directa de litio (EDL). Sierra Praeli (2023) informa que esto ha generado numerosas dudas respecto a los procesos implicados en la transición hacia el EDL, en especial porque actualmente no existe ninguna planta industrial de EDL que extraiga la cantidad o el volumen que Bolivia está proponiendo. Asimismo, el citado autor destaca que algunos especialistas expresan su preocupación por las posibles consecuencias ambientales del uso de la tecnología EDL, ya que este proceso genera muchos residuos químicos que podrían causar daño ambiental.

Cabe señalar que, a la hora de considerar la magnitud de las reservas minerales, es decir, la porción de los recursos que pueden explotarse económicamente con la tecnología actual disponible, el panorama cambia considerablemente para algunos países de la región (CEPAL, 2023). Al momento de calcular las reservas se requiere tomar en cuenta aspectos económicos, técnicos, legales, ambientales y sociales. Al respecto, la CEPAL (2023) menciona que para el cálculo de reservas se tienen en cuenta muchos aspectos relacionados con factores económicos, las condiciones del mercado y el financiamiento, así como la ingeniería y el método de extracción a utilizar, y las condiciones legales, ambientales y sociales. Así, pues, además de los aspectos geológicos, se toman en cuenta los factores que influyen en el aprovechamiento y explotación del mineral.

En el caso de América Latina, se estima que la región cuenta con más del 60% de los recursos globales de litio a nivel mundial, por lo que se destaca su importancia

geoeconómica. El triángulo sudamericano del litio posee las mayores reservas, destacando Bolivia, país que ha optado por un modelo soberano en la explotación del litio.

En este contexto, resulta fundamental analizar los modelos de gobernanza de los países del triángulo del litio, ya que es de vital importancia contrastar los marcos normativos en torno a la cuestión del litio para así conocer las fortalezas y debilidades en aspectos como las concesiones mineras, la captación de renta y el papel del Estado en los procesos de extracción e industrialización del litio. En palabras de Obaya y Pascuini (2020, p. 28) “el marco normativo establece reglas del juego que ofrecen oportunidades para participar e influir en la política pública, así como obstáculos que limitan el margen de maniobra de los actores”.

3.3 Marco Normativo del Litio en Argentina

El marco normativo de la Argentina da lugar a un sistema de gobernanza federal, abierto a la inversión privada. Las regulaciones que gobiernan el sistema normativo minero a nivel federal establecen un régimen de naturaleza liberal que favorece la "libre entrada" de inversiones, siendo un factor crucial para el desarrollo de la gobernanza multinivel del litio. De este modo, el régimen federal configura un esquema de gobernanza multinivel. Las provincias ejercen los derechos que les da la “propiedad” sobre el recurso en el marco de un conjunto de reglas definidas por el Gobierno Nacional (Freytes et al., 2022).

Dicho marco se fundamenta en tres pilares: la Constitución de la Nación, el Código de Minería y la Ley de inversiones Mineras. El artículo 124 de la Constitución Nacional de la República Argentina establece que las provincias pueden crear regiones de desarrollo y se determina el dominio sobre sus respectivos recursos. Se estipula que “corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio” (Constitución de la Nación Argentina, 1994, Art. 124). En este sentido, son las autoridades provinciales las encargadas de otorgar concesiones mineras.

El régimen del litio en Argentina se configura como un “sistema multinivel” (Freytes et al., 2022, p. 7), ya que las provincias son las dueñas de los recursos naturales. Sin embargo, el gobierno nacional condiciona la acción de las provincias, por lo cual surgen problemas de coordinación entre jurisdicciones. En este sentido, la Argentina tiene un

régimen federal más abierto al capital privado y a la inversión extranjera, en el que el dominio originario del recurso corresponde a las provincias (CEPAL, 2023).

3.4 Régimen de Gobernanza en el Estado Plurinacional de Bolivia

El núcleo promotor del régimen de gobernanza boliviano está conformado por los actores públicos: el Poder Ejecutivo Nacional, su empresa estratégica Yacimientos de Litio Bolivianos y el Banco Central de Bolivia (Obaya & Pascuini, 2020).

Tales actores dotan de una gran capacidad al Estado a lo largo de toda la cadena de valor del litio, partiendo de la exploración hasta la industrialización del mineral. En principio, la estrategia aborda integralmente la cadena de valor, desde la generación de carbonato de litio y otras sales utilizando los recursos del salar, hasta la fabricación de baterías (CEPAL, 2023). Además, esta estrategia está bajo la supervisión del Estado nacional. Las compañías privadas solo podrían participar en la etapa de producción de baterías, con la principal meta de transferir tecnología, siempre en colaboración con el Estado y en una posición minoritaria.

El proceso de nacionalización del litio comienza a partir de la primera década del siglo XXI, específicamente con la nueva orientación política a partir del 2006 con el gobierno de Evo Morales (Argento, 2018). El punto de inflexión se dio en octubre de 2003 con la llamada "guerra del gas", motivada por el rechazo a la exportación de gas boliviano a México y Estados Unidos a través de puertos chilenos (Stefanoni, 2007). Las movilizaciones en El Alto dieron pie a la "Agenda de Octubre" que demandaba la nacionalización de los hidrocarburos (Nacif, 2012). En el año 2007, a través de la Ley n° 3,720, se devolvieron a la Corporación Minera Boliviana (COMIBOL) las responsabilidades de exploración, explotación, industrialización, comercialización y administración de las reservas fiscales mineras (Obaya, 2021). De esta manera, como señala el citado autor, la COMIBOL, que fue una empresa estatal durante la revolución nacionalista de 1952, recuperó funciones productivas que habían sido reducidas durante el período de reformas estructurales en las décadas de los ochenta y noventa.

El Plan Nacional de Desarrollo, presentado en 2006, por el Ministerio de Planificación del Desarrollo, creado por el nuevo gobierno, ofrecería el marco estratégico en el que se encuadra la política de recursos naturales (CEPAL, 2023). En 2007 se le

restituyeron a la COMIBOL las atribuciones de exploración, explotación, industrialización, comercialización y administración de las reservas fiscales mineras, mediante la Ley núm. 3,720 (Obaya & Pascuini, 2020). En 2008, mediante el Decreto Supremo n.º 29,496, se “declara de prioridad nacional la industrialización del Salar de Uyuni para el desarrollo productivo, económico y social del Departamento de Potosí” [artículo 1] (Obaya, 2021).

En la Constitución Política del Estado (CPE), promulgada en 2009, se hace referencia explícita a los recursos evaporíticos, considerados estratégicos para el país (Obaya & Pascuini, 2020). En cuanto a los recursos evaporíticos existentes en las salmueras, declara específicamente su carácter estratégico (art. 369, inc. II), señala: “los recursos naturales no metálicos existentes en los salares, salmueras, evaporíticos azufres y otros, son de carácter estratégico para el país” (Echazú Alvarado, 2015). La Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos (DNRE) pasaría a denominarse Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE), mediante la Resolución del Directorio de COMIBOL n.º 4,366, del 29 de junio de 2010 (CEPAL, 2023). En ese mismo año, la institución presentó la Estrategia de Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia, que determinaría los lineamientos para un desarrollo integral de la cadena de valor del litio y otros recursos evaporíticos, incluidas las fases de extracción, industrialización y comercialización del litio, de los materiales catódicos y de las baterías de ion de litio (Obaya & Pascuini, 2020).

El 22 de enero de 2017, a través del Decreto Supremo n.º 3,058, se establece la creación del Ministerio de Energías, que incluye la formación del Viceministerio de Altas Tecnologías Energéticas para supervisar el sector del litio y la energía nuclear (Montenegro Bravo, 2018). Este decreto anticipaba la decisión de asociar el litio con la industria energética. En consecuencia, el 27 de abril de 2017, se promulga la Ley n.º 928, que establece la creación de Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB) como una Empresa Pública Nacional Estratégica, sujeta a la supervisión del Ministerio de Energías (Montenegro Bravo, 2018).

A lo largo del año 2017, se llevaron a cabo conversaciones con compañías internacionales con la posibilidad de convertirse en socios estratégicos para la fabricación y venta de baterías de ion litio. De las empresas que mostraron interés en el proyecto, ocho presentaron propuestas (cinco chinas, una canadiense, una alemana y

una rusa). Dos de ellas, Uranium One Group de Rusia y ACI Systems de Alemania cumplían los requisitos mínimos solicitados por el estado boliviano (CEPAL, 2023). En abril de 2018, esta última empresa fue seleccionada para convertirse en un socio estratégico de YLB (CEPAL, 2023).

En cuanto al proceso de industrialización del litio, en diciembre de 2023, Bolivia inauguró su primera planta estatal de carbonato de litio en el Salar de Uyuni. El ministro de Hidrocarburos y Energía de Bolivia, Frank Molina, precisó que la planta tendrá la capacidad de producir más de 15 mil toneladas diarias de carbonato de litio al año (El Economista, 2023). A inicios de 2024, el país andino firmó un contrato con el consorcio chino CBC por 90 millones de dólares para la construcción de una planta piloto destinada a la extracción directa de litio. El acuerdo prevé la explotación de hasta 2,500 toneladas de carbonato de litio por año, en un proceso en dos fases que comenzará con una planta piloto en el Salar de Uyuni, en el departamento de Potosí (El Economista, 2024).

3.5 Política Pública del Litio en Chile

En el Sistema período 1970-1983, durante el gobierno de facto de Pinochet, el litio se declaró recurso estratégico por cuestiones militares, por ser un componente fundamental para la creación de bombas de hidrógeno. Por ello, se generó un marco normativo en el cual se estipulaba su carácter estratégico, así como la no concesibilidad al sector privado y el papel del Estado como promotor en los procesos de su exploración y explotación. La tabla 2 muestra las principales reformas institucionales del litio, teniendo como punto de partida el Decreto Ley 600, el cual otorgaba mayores libertades a la inversión extranjera. Posteriormente, en 1975 con el Reglamento de Términos Nucleares se destaca al litio como material de interés militar, ya que, durante ese período, Chile fue gobernado por una dictadura militar. En general, a diferencia de otros minerales, se estableció la no concesibilidad del litio.

Tabla 2**Principales Reformas Institucionales del Litio Para el Período 1970-1983**

Normas	Año	Actos y contratos
Decreto Ley 600: Estatuto para la promoción y protección de la inversión extranjera.	1974	Instituto de Investigaciones Geológicas publica un informe respecto del potencial de los recursos del litio en el Salar de Atacama.
Reglamento de Términos Nucleares: define la calidad de material de interés nuclear del litio.	1975	Primer convenio base entre Foote Mineral Company y CORFO (Estado de Chile) para realizar estudios de exploración en el Salar de Atacama.
Decreto Ley No. 1557: otorga a la CCHEN la capacidad de controlar el comercio y acopio de materiales de interés nuclear, declarar de utilidad pública los materiales nucleares.	1976	
	1977	Creación del Comité de Sales Mixtas en CORFO.
Decreto Ley No. 2.886: reserva del litio para el Estado por interés nacional, bajo tutela de la CCHEN.	1979	
Constitución Política: regula la propiedad minera y determina régimen de explotación de materiales no concesibles.	1980	CORFO (45%) y Foote Mineral (55%) constituyeron la Sociedad Chilena del Litio (SCL). Suscripción del primer Convenio Básico de explotación de litio (CORFO-SCL): 200.000 toneladas, 8 años de exclusividad.
Ley Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras Ley 18.097: no concesibilidad del litio.	1982	
Código de Minería Ley 18.248: se confirma regla general la concesibilidad de todos los minerales con excepción del litio.	1983	CORFO licitó un proyecto internacional para producir sales potásicas, ácido bórico y litio.

De “Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile” por R. Poveda Bonilla, 2020, *serie Recursos Naturales y Desarrollo*, 195(1), p. 41 (<https://www.cepal.org/es/publicaciones/45683-estudio-caso-la-gobernanza-litio-chile>).

Poveda Bonilla (2020) informa que en una segunda etapa de gobernanza de mercado, privatización y salto productivo (1984-2004), Chile se posicionó como líder a nivel global en producción de litio a partir de 1997, año en el que se produce un importante salto productivo en el país. Asimismo, el citado autor subraya que, en este segundo periodo, Chile transitaba de un régimen militar (1973-1989) a la redemocratización iniciada en 1990. Dicho cambio no incursionó en medidas de cambio estructural. La institucionalidad y las normas jurídicas que regulan la actividad minera, incluidas las del litio, se han mantenido sin cambios sustanciales desde su promulgación (Poveda Bonilla, 2020).

En el último trimestre del año 2009, al finalizar el primer gobierno de la presidenta Bachelet, la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO) elaboró un informe denominado “Antecedentes de una Política Pública en Minerales Estratégicos: Litio” que además de hacer una caracterización de la industria de la minería del litio, fijaba la posición institucional en ese momento y planteaba una serie de desafíos, recomendaciones de

acciones y de políticas públicas. Documento que, por la reputación institucional que goza COCHILCO, fue posteriormente utilizado como fuente por diversos actores políticos y líderes de opinión.

Luego de la notoriedad del litio y el fracaso en la licitación del Contrato Especial de Operación para la Exploración, Explotación y Beneficio de Yacimientos de Litio (CEOL) ocurrida en el año 2012, el nuevo gobierno de Michelle Bachelet enfrentó los problemas en la gobernanza del litio (Poveda Bonilla, 2020), con una mirada más transversal, en donde la capacidad productiva del litio siguió siendo un tema pendiente ahora sumado a la sostenibilidad de su aprovechamiento en los ecosistemas de los salares andinos, y la distribución de las rentas entre el estado y las empresas. Desde la dimensión regional, también la discusión sobre la aplicación de rentas especiales a favor de las zonas donde se desarrolla la actividad minera era parte de los problemas que se relevaban a propósito del litio (Poveda Bonilla, 2020).

En junio de 2014, a tres meses de iniciado el segundo mandato de Michelle Bachelet, se creó la Comisión Asesora Ministerial denominada Comisión Nacional del Litio (CNL), integrada inicialmente por 18 expertos de alto nivel del sector público y privado (Poveda Bonilla, 2020), presidida por la Ministra de Minería, con el encargo de evaluar la forma en que el país aprovecharía este recurso en el interés general y asesorar en la generación de una política nacional del litio que incorpore el desarrollo sustentable de esta industria (CEPAL, 2023).

Una de las principales conclusiones de la CNL en su informe fue la ratificación del carácter estratégico del litio, justificado esta vez ya no por razones de índole militar o de seguridad nacional, sino por su uso en aplicaciones energéticas (Obaya & Pascuini, 2020). La Comisión sugería elevar el rango de no concesibilidad del litio a nivel constitucional como un mecanismo de blindaje ante posibles cambios en la dirección política del país (Poveda Bonilla, 2020). La Comisión recalcó la necesidad de generar políticas para incentivar la investigación y el desarrollo tecnológico de las formas de extracción y usos del litio, generando el vínculo con el potencial salar de Chile y las posibles sinergias que se podrían presentar a partir de la alta dotación de recursos naturales del país (Obaya & Pascuini, 2020).

Finalmente, Poveda Bonilla (2020) informa que una de las recomendaciones de corto plazo de la Comisión fue la revisión de los contratos vigentes con SQM y Rockwood (Albemarle), dándole un rol más protagónico al Estado; inclusive como socio de las operaciones actuales a través de sus empresas estatales, recomendando la no ampliación de las autorizaciones de explotación ni la renovación de los contratos en los términos vigente.

En abril de 2023, el actual presidente de Chile, Gabriel Boric, lanzó la Estrategia Nacional del Litio con un conjunto de medidas que buscan incorporar capital, tecnología, sostenibilidad y agregación de valor al sector productivo en armonía con las comunidades próximas a los yacimientos de litio (Gobierno de Chile, s.f.). En la estrategia se destaca la creación de un Comité Estratégico de Litio y Salares; iniciar con procesos de diálogos y participación; creación de una Empresa Nacional de Litio; crear redes de salares protegidos, así como modernizar el marco institucional, entre otras acciones (Gobierno de Chile, s.f.).

3.6 Cadena de Valor de las Baterías de Iones de Litio

En años recientes, las baterías de iones de litio (BIL) han ido adquiriendo mayor relevancia debido a la creciente necesidad de pasar a un nuevo paradigma energético sustentado en la electromovilidad para hacer frente a las problemáticas del cambio climático y la reducción de emisiones de dióxido de carbono. En este sentido las baterías de iones de litio se utilizan principalmente como fuentes de energía para dispositivos electrónicos, como tabletas, celulares y computadoras. Sin embargo, el principal uso de tales baterías en los próximos años será destinado a los vehículos eléctricos (VE). Por ello, diversos países de Europa, Asia y Norteamérica han incluido en sus agendas la implementación de VE con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, que es una de las principales causas del calentamiento global.

Junto a este panorama, la globalización ha creado un ambiente competitivo mundial en el cual las empresas y los gobiernos se encuentran altamente involucrados (Zarza Díaz, 2024). Por ello, las decisiones que toman los diferentes agentes económicos resultan de vital importancia en un entorno altamente competitivo. En esencia, uno de los principales objetivos de las cadenas de valor es la generación de ventajas

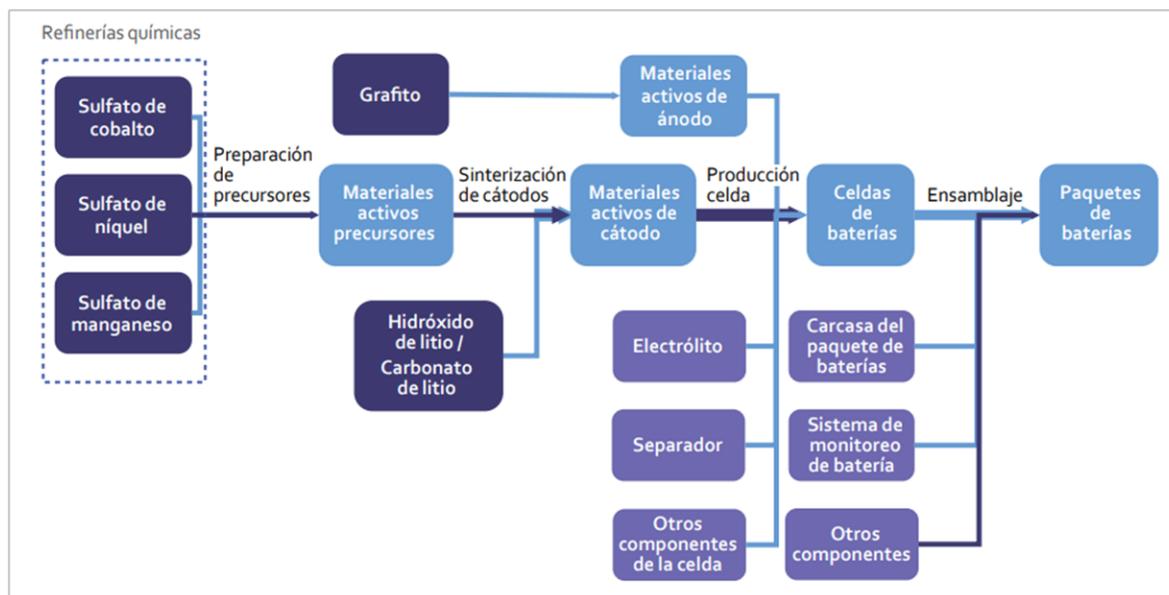
competitivas, las cuales se entienden como las características o atributos de un producto o servicio que le dan cierta superioridad sobre sus competidores inmediatos (Quintero & Sánchez, 2006).

En este sentido, es importante comprender las características principales de cada eslabón de la producción de las baterías de iones de litio para potencializarlas y así permitir que la ciencia, tecnología y legislación correspondiente faciliten la transición energética respetando considerablemente el medio ambiente, la región geográfica y la sociedad (Zarza Díaz, 2024).

Para describirse de manera sencilla, Sanin et al. (2023) informan que una batería se compone de dos polos, donde el positivo es el cátodo y el negativo es el ánodo, separados por la sustancia conductora compuesta de electrolitos. Los citados autores indican que los electrolitos van de un lado a otro a medida que la batería se descarga y recarga.

La cadena de valor de la batería de iones de litio abarca un proceso que se puede descomponer en 5 etapas. El proceso se divide de la siguiente manera: i) extracción y procesamiento de litio, ii) preparación de precursores, iii) proceso de sinterización de cátodo, iv) fabricación de celdas y v) montaje de paquetes de baterías (Jones et al., 2021).

En la figura 6 se aprecia el proceso de elaboración de las BIL. El proceso inicial consiste en la refinación de los recursos precursores (cobalto, níquel y manganeso), los cuales pasan a ser sulfatos. En la siguiente etapa de sinterización de cátodos, se agrega litio (ya sea en forma de hidróxido o carbonato) a la masa de precursores. Después, para la producción de la celda se requieren materiales como grafito, electrólito, entre otros materiales. Finalmente, la cadena de valor culmina con el ensamblaje de las baterías, proceso que requiere un alto grado de especialización.

Figura 6**Cadena de Valor de Baterías de Iones de Litio**

De “Cadena de valor del litio: análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos”. Por B. Jones, F. Acuña y V. Rodríguez, 2021, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), pág., 11. (<https://www.cepal.org/es/publicaciones/47108-cadena-valor-litio-analisis-la-cadena-global-valor-baterias-iones-litio>).

Partiendo de la extracción del litio, como señalan Jones et al. (2021), en primer lugar, es necesaria la refinación de los minerales precursores. El sulfato de cobalto, níquel y manganeso se mezclan en cantidades iguales, pasando a la forma de hidróxido. Posteriormente, para el proceso de sinterización del cátodo, se agrega litio (ya sea en forma de carbonato o hidróxido) a la mezcla de precursores. Después, se procede con la elaboración de celdas partiendo de los materiales activos del ánodo, el cátodo y otros componentes. Finalmente, la cadena culmina con el montaje del paquete de baterías, siendo así que las baterías estén listas para su uso, ya sea en dispositivos electrónicos o en automóviles. En líneas generales, los citados autores precisan que la cadena de valor en la industria a nivel global ha exhibido una tendencia marcada hacia la integración vertical, con empresas individuales que manejan muchas etapas del proceso productivo.

Asimismo, la cadena de valor en ese sector se encuentra altamente regionalizada, ya que existe una clara distinción entre los países que exportan materias primas y los países que les dan valor agregado a dichas materias primas:

En términos generales, la división del trabajo en la cadena está bien diferenciada: por una parte, se encuentra un grupo de países productores de litio y compuestos de litio (entre los que están la Argentina y Chile), y, por la otra, hay un grupo de países, localizados principalmente en Asia, que se han especializado en actividades de producción de precursores, celdas y baterías de iones de litio (CEPAL, 2023, p, 18).

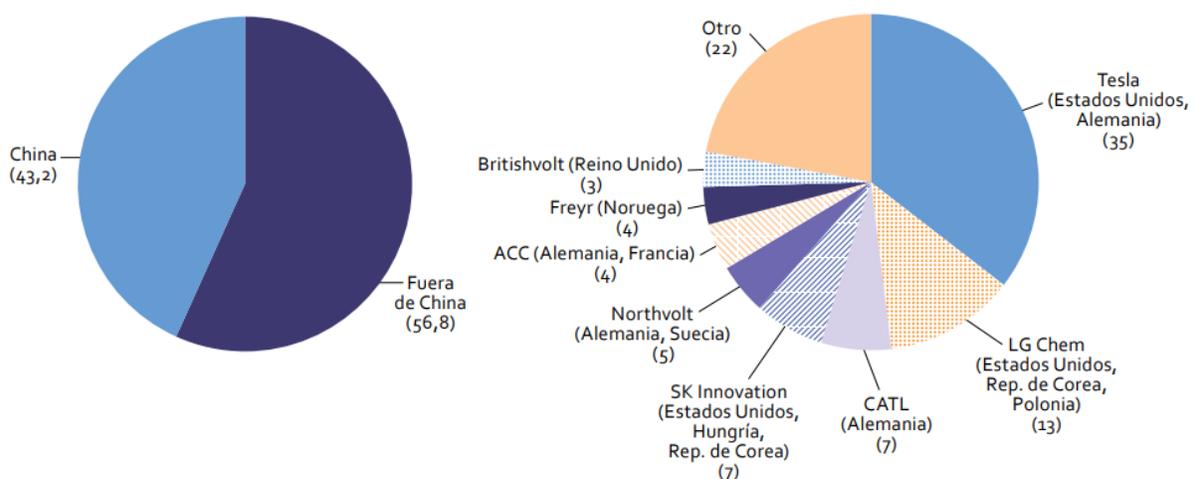
En este sentido, de acuerdo con la CEPAL (2023), China es el único país que tiene una posición de liderazgo a lo largo de la cadena de valor en los distintos segmentos, con la excepción de la producción de litio. Por otro lado, dicho organismo subraya que los países de América del Sur están especializados en las actividades de extracción y procesamiento de litio para la producción de compuestos.

La preparación de precursores y la elaboración de las celdas de las baterías es un proceso importante en la cadena de valor. Hasta la fecha, la capacidad de fabricación de celdas sigue estando fuertemente dominada por China, con el 76% de la capacidad mundial en 2020, estimada en 529 GWh (Jones et al., 2021). Fuera de China, la producción de celdas actualmente está dominada por una reducida cantidad de fabricantes. Por ahora, la CEPAL (2023) informa que gran parte de esta producción se basa en República de Corea y Japón. Sin embargo, el organismo internacional señala que muchos de los principales actores tienen grandes ambiciones de construir una capacidad de *gigafactories* a gran escala en regiones clave de demanda de vehículos eléctricos, principalmente Europa y los EE. UU.

La figura 7 muestra la capacidad de las gigafactories a nivel global. Se observa un enorme desglose de las fábricas chinas, con un 43.2%, mientras que fuera del gigante asiático las principales empresas pertenecen a países como Estados Unidos, Alemania, y República de Corea.

Figura 7

*Desglose de la Capacidad de Gigafactories Global (izquierda) vs ex – China (derecha)
Proyectada a 2026 (en GWh y porcentajes)*



De “Cadena de valor del litio: análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos”. Por B. Jones, F. Acuña y V. Rodríguez, 2021, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), pág., 16. (<https://www.cepal.org/es/publicaciones/47108-cadena-valor-litio-analisis-la-cadena-global-valor-baterias-iones-litio>).

3.6.1 Primer Eslabón: extracción de materia prima

La extracción del litio y los minerales precursores representa el primer eslabón de la cadena de valor de las BIL. Dicha etapa se caracteriza por una escasa agregación de valor, donde destacan países como Argentina, Australia y Chile para el caso del litio. Además del litio, se requieren minerales como el cobalto, níquel y manganeso para la elaboración de cátodos.

Cabe destacar que el tipo de yacimientos de litio influye en la estructura de costos de la producción de carbonato e hidróxido de litio, que es la forma en la que se implementa el litio en la elaboración de las baterías. Tanto el hidróxido de litio como el carbonato de litio se obtienen de dos fuentes principales: sales y pegmatitas (o roca) (Sanin et al., 2023).

Dependiendo del tipo de yacimiento, se utilizan distintos métodos de extracción. Para el caso de los sales, que representan el mayor porcentaje de recurso en ALC, Sanin et al. (2023) informan que se utiliza el método de evaporación, en el cual se

bombear las salmueras de los salares en grandes piscinas, pasando a la evaporación solar de las aguas que precipitan las sales. Posteriormente, los citados autores señalan que se realiza una cosecha selectiva, descartando las sales y minerales que no contienen litio para posteriormente obtener carbonato de litio mediante un proceso químico. Dicho proceso puede durar entre 18 y 24 meses, y es el más utilizado para la producción de carbonato de litio en los salares.

En el caso de yacimientos en minas de roca dura, se utilizan técnicas tradicionales de minería como la perforación y el rompimiento de la roca, el carguío y el transporte del material obtenido para la lixiviación mediante óxido y purificación (Azamar Alonso, 2022a). En cuanto a la extracción del litio en roca, Azamar Alonso informa que se obtiene principalmente concentrado de espodumeno, que se utiliza en sectores como la cerámica, entre otras. Sin embargo, la citada autora también informa que el espodumeno puede convertirse en otros compuestos útiles para la industria, pero ello implica un mayor costo.

Respecto a los depósitos arcillosos, estos representan aproximadamente el 7% de las reservas globales de litio (Zarza Díaz, 2024). Actualmente, no existe un método específico para la extracción de litio para los depósitos arcillosos. Hasta la fecha se siguen analizando técnicas productivas para su obtención, ya que los avances están muy limitados debido a su complejidad (Azamar Alonso, 2022a). Es por ello por lo que los depósitos arcillosos aún no se encuentran en explotación a escala industrial.

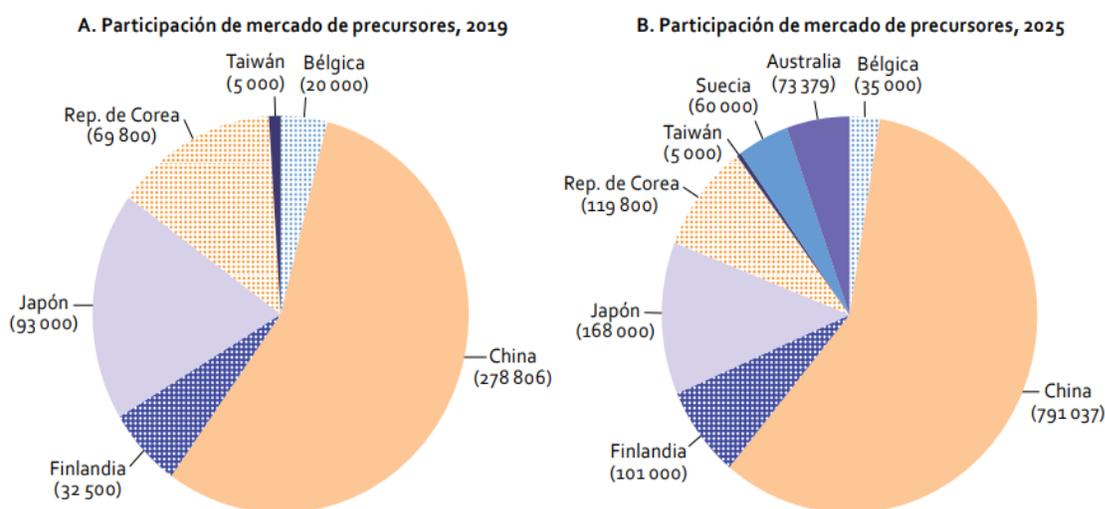
3.6.2 Preparación de Precursores

La elaboración de precursores implica utilizar cobalto, níquel y manganeso en forma de sulfato, mezclarlos en las cantidades correctas, purificar la mezcla, convertirla en forma de hidróxido y luego, cristalizarla en una forma sólida (Jones et al., 2021). En 2022 el mercado global de materiales para la elaboración de cátodos fue evaluado en 21 mil millones de dólares y se espera que dicho mercado doble su crecimiento en menos de una década (Sanin et al., 2023). Hoy en día la gran mayoría de la fabricación de precursores es realizada por las refinerías químicas que fabrican los productos químicos de la batería Co/Ni/Mn o los propios fabricantes de cátodos (Jones et al., 2021).

Como se observa en la figura 8, en 2019 el mercado de precursores se encontraba concentrado principalmente en países asiáticos como China, Japón, República de Corea y Taiwán, mientras que unos cuantos países europeos como Finlandia y Bélgica también contaron con una importante producción de precursores. Se estima que para 2025 China aumentará su participación en el mercado y prevé que entrarán nuevos participantes como Australia y Suecia.

Figura 8

Participación de Mercado de Precursores 2019 vs 2025 (en toneladas)



De “Cadena de valor del litio: análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos” por B. Jones, F. Acuña y V. Rodríguez. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021, p. 29. (<https://www.cepal.org/es/publicaciones/47108-cadena-valor-litio-analisis-la-cadena-global-valor-baterias-iones-litio>).

3.6.3 Elaboración de Cátodos

Por lo general, una celda básica de iones de litio consta de un cátodo (electrodo positivo) y un ánodo (electrodo negativo) que están en contacto con un electrólito que contienen iones de litio (Da Deng, 2015). Durante el proceso de carga, los dos electrodos se conectan externamente a un suministro eléctrico externo (Zarza Díaz, 2024). En este sentido, el citado autor explica el funcionamiento de una batería de iones de litio:

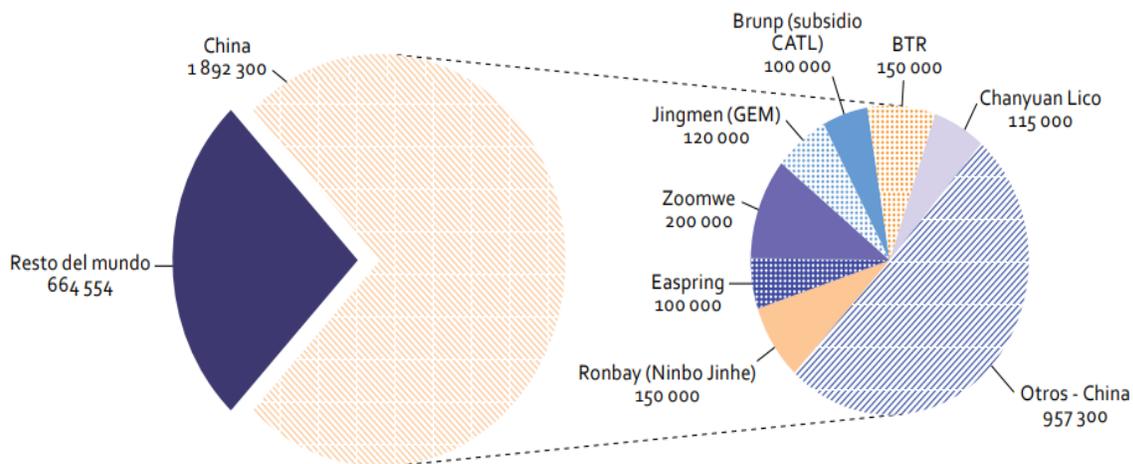
Los electrones se ven obligados a liberarse en el cátodo y moverse externamente al ánodo. Simultáneamente, los iones de litio se mueven en la misma dirección, pero internamente, del cátodo al ánodo a través del electrólito. De esta manera, la energía externa se almacena electroquímicamente en la batería. Lo contrario ocurre durante el

proceso de descarga: los electrones se mueven del ánodo al cátodo a través de la carga externa para hacer el trabajo y los iones de litio se mueven del ánodo al cátodo en el electrólito. (p. 54)

La etapa de elaboración de cátodos y celdas se encuentra altamente regionalizada. Actualmente, la producción de cátodos se encuentra principalmente en China y está ubicada en su mayoría dentro de Asia, con aproximadamente un 93% del volumen total mundial en 2019 (Sanin et al., 2023). Los productores en China han anunciado planes extremadamente agresivos de expansión, con muchos de los mayores productores mundiales en la actualidad tratando de duplicar su tamaño de manera inminente (Jones et al., 2021). Frente a este nivel de expansión agresiva, no sorprendentemente, se espera que el resto del mundo pierda participación de mercado, hasta solo un 26%, a pesar de los crecientes temores sobre la dependencia de la cadena de suministro en China (Jones et al., 2021). Como se observa en la figura 9, la mayor parte de la producción de baterías de iones de litio se concentra en China, con una amplia distribución entre varias empresas.

Figura 9

Participación de Mercado de Producción de Cátodos de China Frente al Resto del Mundo, 2025 (En toneladas)



De "Cadena de valor del litio: análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos" por B. Jones, F. Acuña y V. Rodríguez. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021, p. 26. (<https://www.cepal.org/es/publicaciones/47108-cadena-valor-litio-analisis-la-cadena-global-valor-baterias-iones-litio>).

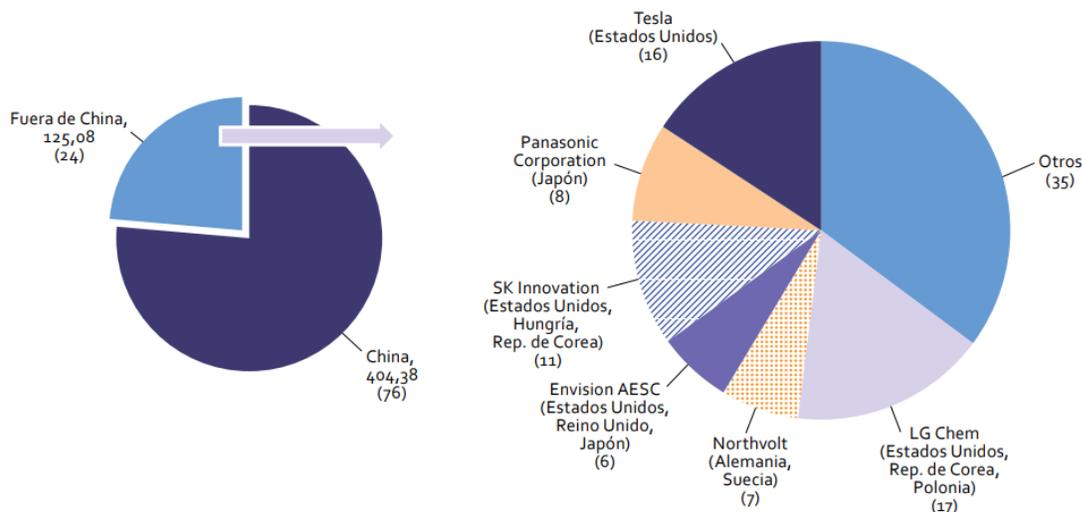
3.6.4 Fabricación de Celdas

La capacidad de fabricación de celdas ha crecido mucho en respuesta al aumento de la demanda del sector de los vehículos eléctricos, tanto en términos de inversión como de tamaño de las gigafactorías (CEPAL, 2023). Hasta la fecha, la capacidad de fabricación de celdas sigue estando ampliamente dominada por China, con el 76% de la capacidad mundial en 2020, estimada en 529 GWh (CEPAL, 2023). La capacidad fuera de China es de 125 GWh dominada por un pequeño número de fabricantes de celdas en República de Corea y Japón, así como por Tesla (Jones et al., 2021).

Notoriamente, se aprecia en la figura 10, que China posee una capacidad global considerable de gigafactorías, alcanzando el 76%, mientras que el resto del mundo representa solo el 24%. Fuera de China, solo unas pocas empresas de países desarrollados se destacan en este aspecto.

Figura 10

Desglose de la Capacidad Global de las Gigafactorías (izquierda) y Desglose Fuera de China (derecha), 2020 (En GWh y porcentajes)



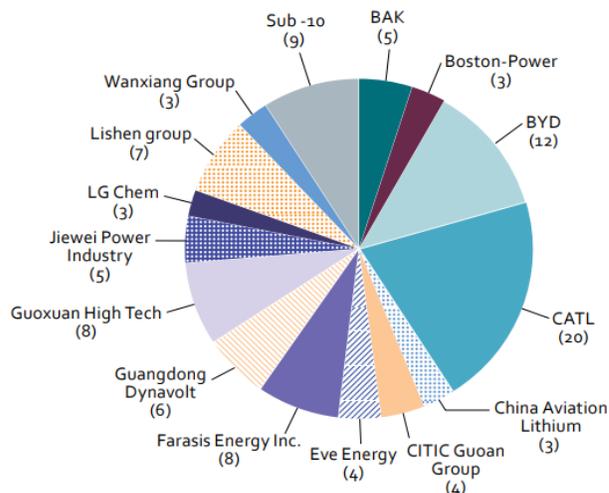
De “Cadena de valor del litio: análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos” por B. Jones, F. Acuña y V. Rodríguez. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021, p. 13. (<https://www.cepal.org/es/publicaciones/47108-cadena-valor-litio-analisis-la-cadena-global-valor-baterias-iones-litio>).

La figura 11 muestra la distribución de la producción de baterías de iones de litio entre varias empresas. La mayoría de la producción está concentrada en unas pocas

empresas principales, con CATL y BYD liderando el mercado, las cuales en conjunto abarcaron alrededor del 32% de las gigafactories chinas en 2020.

Figura 11

*Participación de Mercado Chino de Gigafactories en 2020,
Agrupada por Empresa (En porcentajes)*

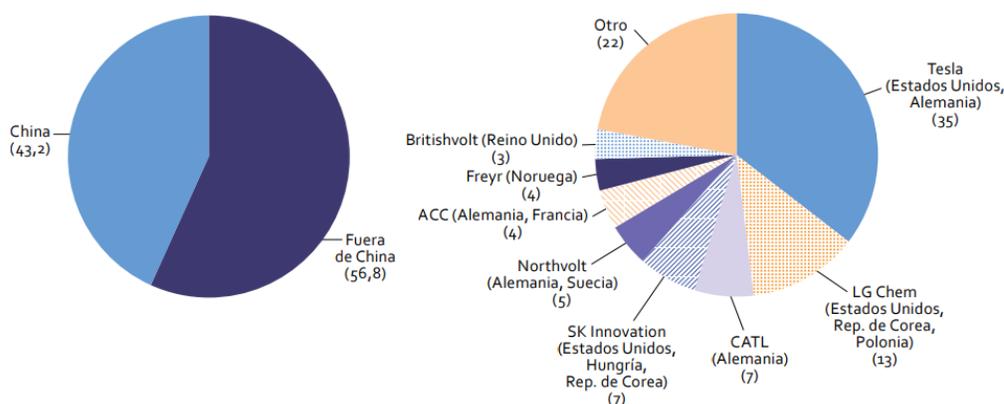


De "Cadena de valor del litio: análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos" por B. Jones, F. Acuña y V. Rodríguez. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021, p. 14 (<https://www.cepal.org/es/publicaciones/47108-cadena-valor-litio-analisis-la-cadena-global-valor-baterias-iones-litio>).

La figura 12 muestra la proyección de la capacidad de producción de baterías de iones de litio en gigavatios hora (GWh) para 2026. En la parte izquierda, se puntualiza que China domina con el 43.2% de la capacidad total, mientras que el 56.8% corresponde al resto del mundo. En la parte derecha, se detalla la capacidad fuera de China, destacando a Tesla con un 35%, LG Chem con un 13%, y otras empresas como CATL y SK Innovation con un 7% cada una. Además, Northvolt, ACC, Freyr, y Britishvolt también tienen participaciones menores, y un 22% corresponde a otras empresas.

Figura 12

Desglose de la Capacidad de Gigafactories Global (izquierda) y ex-China (derecha) Proyectada a 2026 (En GWh y porcentajes)



De “Cadena de valor del litio: análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos” por B. Jones, F. Acuña y V. Rodríguez. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021, p. 16 (<https://www.cepal.org/es/publicaciones/47108-cadena-valor-litio-analisis-la-cadena-global-valor-baterias-iones-litio>).

Es un hecho palpable que China cuenta con una gran cantidad de gigafábricas especializadas en la fabricación de celdas, de tal modo que el gigante asiático se ha posicionado como el principal jugador en la cadena de valor de las BIL.

3.6.5 Montaje de Paquetes de Baterías

Tanto el proceso de manufactura de celdas como el ensamblaje de baterías son procesos que están altamente relacionados (Sanin et al., 2023). El proceso del empaque de baterías es la parte más especializada de la cadena de valor, y los packs de baterías suelen tener diferentes formas para cada dispositivo individual o de uso final (Jones et al., 2021). Se está viendo una tendencia mundial hacia la integración vertical en el proceso industrial, sobre todo en aquellas localizaciones cerca de los centros de consumo de VE y en donde se espera el mayor potencial de crecimiento de dicha demanda (Sanin et al., 2023).

La tendencia en la cadena de valor de las BIL se dirige hacia una orientación vertical, donde en muchos casos las celdas son elaboradas por los fabricantes finales que las utilizan. Los diseños de los packs dependen en gran medida de la marca y el

modelo del vehículo para el que se utilizan, y esto les da a los fabricantes finales mucha más libertad de fabricación en lo que respecta al chasis del vehículo si pueden diseñar sus propios paquetes (Jones et al., 2021). En este sentido, la tendencia de la fabricación de packs de baterías se ubicará en las cercanías de fabricación de vehículos eléctricos (Jones et al., 2021).

La orientación vertical permite a los fabricantes un mayor control sobre el diseño y producción de componentes críticos. Esta proximidad no solo reduce costos logísticos, sino que también impulsa el desarrollo económico regional y la creación de empleos.

3.7 El litio en México

A partir del 2019, México adquirió gran relevancia al reportarse uno de los depósitos de litio más grandes del mundo con 243.8 millones de toneladas en el estado de Sonora (Mining technology, 2019). En México y el estado de Sonora se generaron grandes expectativas acerca de la potencialidad energética y económica del metal, como alternativa a las fuentes convencionales (Ruiz Cedano & Vázquez Ruiz, 2024).

El 20 de abril de 2022 el Diario Oficial de la Federación publicó una serie de reformas a la Ley Minera. Se agrega el numeral 5 Bis, que hace alusión al litio y declara su utilidad pública; establece que no se otorgarán concesiones, licencias, contratos permisos o autorizaciones de dicho elemento (Wences Aguirre, 2022). En dicha reforma “se declara de utilidad pública el litio, por lo que no se otorgarán concesiones, licencias, contratos, permisos, o autorizaciones en la materia. Serán consideradas zonas de reserva minera aquellas en que haya yacimientos de litio”. (Diario Oficial de la Federación [DOF], art. 5 Bis. 23 de agosto 2022). Asimismo, el artículo 5 bis estipula que las cadenas de valor económico del litio serán administradas y controladas por el Estado. El artículo 10 establece lo siguiente:

Con excepción del litio y demás minerales declarados como estratégicos por el Estado, en términos de los artículos 27 y 28 constitucionales, la exploración y explotación de los minerales o sustancias a que se refiere el artículo 4, así como de las salinas formadas directamente por las aguas marinas provenientes de mares actuales, superficial o subterráneamente, de modo natural o artificial, y de las sales y subproductos de éstas, sólo podrá realizarse por personas físicas de nacionalidad mexicana, ejidos y comunidades agrarias, pueblos y comunidades indígenas a que se refiere el artículo 20. constitucional reconocidos como tales por las Constituciones y Leyes de las Entidades

Federativas, y sociedades constituidas conforme a las leyes mexicanas, mediante concesiones mineras otorgadas por la Secretaría. (DOF, art. 10. 20 de abril de 2022)

La reforma a la Ley minera de abril de 2022 instituye los lineamientos sobre el manejo del litio, particularmente como recurso para el país (Paredes Barceló & Aviles Quintanar, 2023). En correspondencia con el artículo 5 Bis, el 23 de agosto de 2022 se publica el decreto en el Diario Oficial de la Federación, donde se establece que:

...se crea el organismo público descentralizado de la Administración Pública Federal denominada Litio para México con el acrónimo "LitioMx" agrupado en el sector coordinado por la Secretaría de Energía, con personalidad jurídica y patrimonios propios, con autonomía técnica, operativa y de gestión. (DOF, art. 5 Bis. 23 de abril de 2022)

Respecto lo proyectos mineros con relación al litio, se sabe que se encuentran concesionados a 10 empresas de capital extranjero (Roncal Vattuone & Villegas Moreno, 2024). En el mes de septiembre de 2023, el gobierno mexicano canceló el Proyecto de Litio de Sonora a la empresa china Ganfeng Lithium, la cual construiría la mayor mina de extracción litífera en el país (Morales, 2023). La minera china contaba con nueve concesiones que fueron canceladas con el argumento de que no había cumplido con los niveles mínimos de inversión para mantener los permisos (Carbajal, 2023). La información más reciente respecto al tema es que la empresa está apelando la decisión del gobierno a la vez que se realizan negociaciones en torno al proyecto (Averbuch & Attwood, 2023).

El U.S: Geological Survey (USGS) (2023), indica que México cuenta con 1.7 millones de toneladas de litio. Por su parte el Servicio Geológico Mexicano informa que existe la posibilidad de que existan otros yacimientos de litio en al menos 82 localidades del país (en su mayoría, los yacimientos encontrados han sido de tipo arcilla) (Azamar Alonso, 2022b). Actualmente sólo hay 11 yacimientos que presentan viabilidad extractiva en el futuro, hasta el momento no hay esfuerzos notables para llevar a cabo su aprovechamiento intensivo puesto que ninguno se encuentra en explotación (Azamar Alonso, 2022a).

La figura 13 muestra los estados con probables manifestaciones de litio. Baja California es la entidad con más manifestaciones (13 localidades), seguido de Puebla (12 localidades), y Oaxaca (9 localidades). Otros estados también tienen presencia de

litio en menor cantidad, contribuyendo al mapa general de la distribución de este mineral en México para el año 2021.

Figura 13

Estados de México con Manifestaciones de Litio, 2021



De “Las 82 localidades con litio en México”, 2022 (<https://www.rompeviento.tv/las-82-localidades-con-litio-en-mexico/>). En el dominio público.

Lo cierto es que la información disponible sobre la cantidad y calidad de los yacimientos descubiertos y en proceso de exploración siguen siendo insuficientes, debido tanto a los procesos de concesión, así como a la debilidad estadística que México siempre ha tenido para las actividades extractivas (Azamar, 2018). En el presente, el país no cuenta con ningún yacimiento de litio en explotación; sin embargo, en los estados de Baja California, San Luis Potosí-Zacatecas y Sonora se encuentran en etapa de exploración tres yacimientos que contienen dicho mineral (Secretaría de Economía, 2020).

Azamar Alonso (2022b) considera que extraer el litio en México no va a impulsar la competitividad ni generar una industria importante que tenga efectos positivos en la población, por lo menos no en el corto plazo. La citada autora menciona que esto se debe en gran medida a que el depósito más importante de todo el país se encuentra en arcillas, por lo que su aprovechamiento y explotación es más complejo que otros

depósitos y requiere inversiones difíciles de asumir por el gobierno mexicano. Sin duda esto representa un gran reto tecnológico para la extracción del metal blanco, puesto que en la actualidad los procesos de producción aún se encuentran en etapa de desarrollo y no han alcanzado una etapa industrial (Valdez Rodríguez et al., 2023). Sin embargo, la empresa minera canadiense Advance Lithium con concesiones en México asegura haber encontrado la tecnología para la extracción de litio en depósitos de arcilla (Carbajal, 2023).

3.8 Consideraciones Finales

El litio resulta ser un mineral clave para la transición a un nuevo paradigma energético que busca hacer frente a la problemática del calentamiento global, fenómeno que se ve potenciado en gran medida por las emisiones de dióxido de carbono. En este sentido, la transición energética busca pasar de un modelo de explotación de hidrocarburos hacia una matriz energética sustentada en la electromovilidad, que a su vez se sustenta en las baterías de iones de litio. Hasta la fecha, el litio es un insumo insustituible para la producción de dichas baterías y por tal motivo, los países que cuentan con reservas de litio lo han declarado un recurso estratégico.

La naturaleza estratégica del litio radica en la posibilidad de fomentar el desarrollo económico de los países que cuentan con este recurso. Se enfatiza en las posibilidades de una mayor creación de valor, incrementando la producción, las exportaciones y el empleo. Por otro lado, se destaca la posibilidad de generar una industria para darle valor agregado al litio a partir de la elaboración de baterías de iones de litio bajo la idea de que los países en vías de desarrollo con reservas pasen de un modelo primario exportador hacia la especialización en productos de alta tecnología.

En cuanto al nivel de reservas mundiales de litio, la región de América Latina cuenta con más del 60% de los recursos globales. Se destaca el triángulo sudamericano del litio, conformado por Argentina Bolivia y Chile, países que en conjunto conforman alrededor del 53.6% de las reservas mundiales. Dentro de la región otros países como México, Brasil y Perú también cuentan con importantes reservas, aunque sustancialmente menores que las del triángulo sudamericano.

Los países del triángulo del litio son el principal referente para otros países de América Latina en cuanto a los modelos de gobernanza. Cada uno de estos tres países cuenta con un modelo de gobernanza distinto. Argentina tiene un régimen federal abierto a la inversión extranjera y el capital privado; Bolivia cuenta con un régimen soberano en el que el Estado tiene el control sobre la cadena de valor del litio; y Chile comparte algunas características con ambos países.

En cuanto a la cadena de valor de las baterías de iones de litio, se observa que ésta se encuentra polarizada. Por un lado, están los países de América del sur que ejercen el papel de proveedores de materia prima, mientras que los países desarrollados se especializan en los procesos de elaboración de valor. Se destaca la posición de China, que es el único país que posee un control en los distintos segmentos de la cadena de valor. El país asiático muestra una tendencia agresiva de expansión y desglose de gigafactorías, por lo que se prevé que a nivel mundial se reducirá la participación de otros países en actividades especializadas.

Se estima que México cuenta con 1.7 millones de toneladas de litio, en la región de Bacadéhuachi, Sonora, aunque existe la posibilidad de la existencia de yacimientos de litio en al menos 82 localidades a lo largo del país. Por ello, se plantea la posibilidad de que México pueda aprovechar litio en fomento al desarrollo económico regional. Sin embargo, el país cuenta con un marco normativo débil, que favorece en gran medida a capitales privados y extranjeros, además de que el depósito litífero de Sonora es de tipo arcilloso, y en la actualidad no existe un método para la extracción de litio a escala industrial en este tipo de depósitos, aunque algunas empresas afirman haber desarrollado un método efectivo. Por otro lado, el gobierno mexicano canceló nueve concesiones a la minera china Ganfeng Lithium, por lo que en la actualidad existe incertidumbre sobre la dirección del Proyecto Sonora Lithium. Asimismo, se toman en cuenta los factores ambientales y sociales, ya que la actividad minera en general ejerce una enorme presión ambiental y genera problemas sociales en las poblaciones aledañas a los yacimientos.

Capítulo 4

Perspectiva de las Nanotecnologías y el Litio en México

El presente capítulo tiene como principal objetivo analizar el panorama de las nanotecnologías y el litio en México. En primer lugar, se describen los aspectos generales de las nanotecnologías y los nanomateriales. Posteriormente, se destaca el papel preponderante de las nanotecnologías en la industria 4.0, también llamada cuarta revolución industrial. Más adelante se examinan los principales países con patentes en materia de nanotecnología. Después se indaga sobre la situación de las nanotecnologías en México, destacando aspectos de políticas públicas y regulación. Finalmente, se analizan las potencialidades de las nanotecnologías en el desarrollo de las baterías de iones de litio.

La importancia de las nanotecnologías radica en su capacidad para manipular la materia a nivel atómico y molecular, lo que abre un abanico de posibilidades para innovaciones en diversos campos, mejorando la eficiencia, funcionalidad y sostenibilidad de muchos productos y procesos. En cuanto al litio, este es utilizado como materia prima para la elaboración de baterías de iones de litio. Dichos dispositivos representan la base de la nueva transición energética sustentada en la electromovilidad. Sin embargo, las baterías de iones de litio aun presentan problemas como la densidad energética, los ciclos de carga, la inflamabilidad del litio, entre otros. En esta línea, las nanotecnologías y los nanomateriales representan un papel preponderante en el mejoramiento de las baterías de iones de litio.

4.1 Algunas Cuestiones Básicas sobre las Nanotecnologías

Las Nanotecnologías (NT's) representan una revolución tecnológica por la manipulación de la materia y creación de nuevos materiales a escala nanométrica. Existen diversas definiciones no estandarizadas de NT's propuestas por diversos organismos. La mayoría de ellas toman como criterio principal el tamaño, partiendo de la escala nanométrica (1 a 100 nanómetros). Un nanómetro representa una unidad de longitud del orden de una mil millonésima parte de un metro (Záyago-Lau & Foladori, 2010). La Oficina Nacional

de Coordinación de la Nanotecnología (NNCO por sus siglas en inglés) de Estados Unidos definen a la nanotecnología como:

La ciencia, ingeniería y tecnología a escala nanométrica, que está entre 1 y 100 nanómetros. La nanotecnología es el estudio y la aplicación de cosas extremadamente pequeñas y se utiliza en todos los demás campos de la ciencia, como la química, la biología, la física, la ciencia de los materiales y la ingeniería". (National Nanotechnology Coordination Office [NNCO], s.f., p. 2)

Por su parte, la Real Sociedad y la Academia Real de Ingeniería (RAEng por sus siglas en inglés) (2004, p. 7) define y describe a los nanomateriales de la siguiente manera:

Aquellos [materiales] que tienen componentes estructurados con al menos una dimensión menor a 100 nm. Los materiales que tienen una dimensión en la escala nanométrica (y se extienden en las otras dos dimensiones) son capas, como películas delgadas o recubrimientos superficiales [...]. Los materiales que son nanométricos en dos dimensiones (y se extienden en una dimensión) incluyen nanocables y nanotubos. Los materiales que son nanométricos en tres dimensiones son partículas, por ejemplo, precipitados, coloides y puntos cuánticos (partículas diminutas de materiales semiconductores). Los materiales nanocristalinos, compuestos por granos de tamaño nanométrico, también entran en esta categoría. Algunos de estos materiales han estado disponibles durante algún tiempo; otros son realmente nuevos.

Por su parte, la Comisión Europea propone la siguiente definición de nanomaterial:

El término nanomaterial debe referirse a los materiales compuestos por partículas en estado sólido, presentes por sí solas o unidas como partes constituyentes de agregados o aglomerados. Debe utilizarse la expresión «constituido por», en lugar de «que contenga», para reconocer que las partículas son el componente principal del material. Otros componentes distintos de las partículas potencialmente presentes (por ejemplo, los aditivos necesarios para preservar su estabilidad o los disolventes que pueden separarse sin afectar a la granulometría de las partículas) forman parte del (nano) material, pero no deben tenerse en cuenta al evaluar si un material es un nanomaterial. (EC, 2022, párr. 9)

Respecto a las definiciones de nanotecnología y nanomateriales, estas suscitan al debate, ya que no existe una definición oficial. Su definición es importancia para su regulación, puesto que, al no existir un consenso general, resulta difícil regularlas.

Lo novedoso de las NT's es la manipulación de los materiales a escala nanométrica, lo cual presenta propiedades diferentes a las que se muestran en escala macro. Por ejemplo, un material como el grafito, manipulado molécula a molécula, puede llegar a ser más duro que un diamante y a la vez pesar menos que el acero (Foladori &

Invernizzi, 2005). Los nanomateriales son utilizados en las más diversas ramas de la industria, pudiéndose destacar: cerámica y revestimientos, plásticos, agropecuaria, cosméticos, siderurgia, cemento y concreto, microelectrónica, así como en diversas áreas de la salud (Engelmann, 2015). Así, pues, las NT's han logrado importantes contribuciones en los diferentes sectores en los que se aplican, principalmente en lo relacionado con el sector salud, las tecnologías de la información y la comunicación, así como los nuevos materiales (Anzaldo & Tanaka, 2022).

Como resultado del impulso que ocasionó el lanzamiento de la Iniciativa Nacional de Nanotecnología de los Estados Unidos en 2001, empresas de varios países se integraron a la competencia por ganar espacios en el nuevo mercado nanotecnológico mundial (Záyago Lau et al., 2015). Así pues, con el surgimiento de iniciativas en nanotecnología implementadas por diversos países, comenzaron a circular en los mercados una gran cantidad de productos manufacturados con nanocomponentes.

Sin embargo, como destacan Foladori et al. (2015), con el acelerado ritmo con el que las NT's entran en el mercado, no se apoya en una regulación que garantice la seguridad en materia de salud y medio ambiente. En este sentido resulta de vital importancia la investigación en torno a los riesgos e implicaciones negativas de las NT's en la salud y el medio ambiente. Tales riesgos constituyen el principal tema por el cual las organizaciones sociales y sindicatos han venido reclamando su estricta regulación.

4.2 Importancia de las Nanotecnologías en la Industria 4.0

A partir de la segunda mitad del siglo XXI, comenzó a tomar gran relevancia la llamada Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 (Ind. 4.0) que incluye tecnologías disruptivas entre las cuales la nanotecnología representa el corazón de quienes la integran.

Durante la segunda década del siglo XXI, el término de nanotecnología se sublimó dentro de la Ind. 4.0, el internet de las cosas y otros términos relacionados con las tecnologías disruptivas que engloba la cuarta revolución industrial (Foladori & Ortiz Espinoza, 2021). Para el caso de los nanomateriales se integraron dentro del concepto de materiales inteligentes (Foladori & Ortiz Espinoza, 2021).

En palabras de Peralta Abarca et al. (2020, p. 2), "la industria 4.0 es el sobrenombre que denomina una hipotética cuarta etapa de la evolución técnico-

económica de la humanidad”. La Ind. 4.0 es calificada muchas veces como la cuarta revolución industrial. Antes, las revoluciones tecnológicas eran identificadas por su matriz energética (vapor, electricidad), sin embargo, en la actualidad las tecnologías son tan variadas que los términos de identificación pasan a ser meramente sustantivos (Foladori & Ortiz Espinoza, 2021). En este sentido, los citados autores sostienen que el calificativo de “revolución industrial” para la Ind. 4.0 es más una visión política que un paradigma tecnológico.

Ciertamente, la Ind. 4.0 representa una oportunidad significativa para las empresas de todos los sectores para mejorar su productividad, innovación y competitividad en un mundo cada vez más digitalizado. El término Industria 4.0 fue introducido por primera vez en 2011 como “*Industrie 4.0*” por un grupo de representantes de diferentes campos en el marco de una iniciativa para mejorar la competitividad alemana en la industria manufacturera (Oztemel & Gursev, 2018).

En palabras de Barleta et al. (2020, p. 3), “Una tecnología disruptiva es aquella innovación que crea un nuevo mercado o transforma de forma trascendental un mercado existente, desplazando o haciendo desaparecer productos o servicios que, hasta entonces, eran utilizados por la sociedad de forma cotidiana”.

Concretamente, la Ind. 4.0 comprende un grupo de tecnologías disruptivas, tales como la automatización y robótica, el internet de las cosas, Blockchain, el Big data, cloud computing, inteligencia artificial, (véase figura 4) entre otras (Barleta et al., 2020). La Ind. 4.0 consiste en la digitalización de los procesos productivos en las fábricas mediante sensores y sistemas de información para transformar los procesos productivos para hacerlos más eficientes (Fernández, 2017).

La figura 14 muestra las principales tecnologías disruptivas que engloba la Ind. 4.0. Las tecnologías más destacadas son: ciberseguridad, computación en la nube, tecnología móvil, máquina a máquina, impresión 3D, robótica avanzada, análisis de *Big Data*, internet de las cosas, tecnologías de identificador por radiofrecuencia y computación cognitiva.

Figura 14*Tecnologías que Conforman la Industria 4.0*

De "Proposal of an automation solutions architecture for industry 4.0". Por M. Saturnino, V. Moura Pertel, F. Deschamps & E. Rocha Loures, 2018, *DEStech Transactions on Engineering and Technology Research*, 14(2), 185-195. (DOI:[10.12783/dtetr/icpr2017/17675](https://doi.org/10.12783/dtetr/icpr2017/17675)).

Con la Ind. 4.0, la fabricación futura será más inteligente, flexible, adaptable, autónoma, con menor intervención humana y basada en sensores (Oztemel & Gursev, 2018). Este avance no solo promete mejorar la eficiencia y la calidad de los procesos de producción, sino que también plantea desafíos significativos en términos de gestión del cambio y actualización de habilidades laborales para adaptarse a las nuevas tecnologías.

Oztemel y Gursev, (2018, p. 40) proponen una definición de Industria 4.0:

La Industria 4.0 es una filosofía de fabricación que incluye sistemas de automatización modernos con un cierto nivel de autonomía, intercambios de datos flexibles y eficaces que fomentan la implementación de tecnologías de producción de próxima generación, innovación en diseño, y una producción más personal y ágil, así como productos personalizados.

Cabe señalar que no es la intención de la presente investigación profundizar sobre las tecnologías que engloba la Ind. 4.0, sino más bien destacar el rol fundamental de las NT's, que, en el discurso mediático, como bien mencionan Foladori y Ortiz Espinoza (2021), fue invisibilizada a partir de la segunda mitad del siglo XX. Sin embargo, las nanotecnologías representan la piedra angular de la Ind. 4.0, sobresale las aplicaciones en el sector de la electrónica. Los citados autores señalan que dicha industria tiene como

centro la conectividad, la cual depende principalmente de la industria opto-micro/nano-electrónica y ésta a su vez depende de las nanotecnologías.

Dentro de la Ind. 4.0, los nanosensores son componentes fundamentales, dada su versatilidad, al proporcionar datos precisos y en tiempo real que son esenciales para optimizar procesos, mejorar la calidad y la seguridad, y mantener la competitividad en un entorno industrial moderno. Como señalan Foladori y Ortiz Espinoza (2021), uno de los ejemplos más evidentes de que los nanosensores están en el corazón de la Ind. 4.0 son los teléfonos inteligentes (smartphones). Los smartphones se utilizan en dicha industria como herramientas versátiles para mejorar la conectividad, la gestión de datos, la eficiencia operativa y la toma de decisiones en el entorno industrial.

Así, pues, desde el inicio de la circulación de productos manufacturados con nanotecnologías en los mercados a finales del año 2000, las nanotecnologías y los nanocomponentes adquirieron gran relevancia en el discurso mediático y en la investigación científica, por su crecimiento vertiginoso. Sin embargo, en la segunda década del siglo XXI, adquirió gran relevancia el concepto de Industria 4.0, invisibilizando el término de nanotecnologías. A pesar de ello, las nanotecnologías son el punto de partida del funcionamiento de la Ind 4.0, en forma de nanosensores y nanoactuadores, que juntos conectan el mundo físico con el orgánico en general y con el humano en particular (Foladori & Ortiz Espinoza, 2021).

4.3 Patentes de Nanotecnología: una Mirada a Nivel Internacional

Las NT's se han revelado como un nuevo paradigma tecnológico que ofrece un cambio radical en la solución de problemas tecnológicos y que suscita una nueva ola de procesos, productos y sistemas tanto sociales como organizacionales (Guzmán et al., 2018). En este sentido, el campo de las NT's resulta ser estratégico, por su impacto cada vez más profundo en diferentes industrias. Existe un marcado interés por su desarrollo, su impacto positivo en la solución de problemas que con otras tecnologías resulta imposible solucionar (Castañeda Naranjo & Palacios Neri, 2014). Por tales razones los países desarrollados están invirtiendo bastantes recursos económicos y considerando la mano de obra especializada para indagar sobre diversas aplicaciones potenciales que puedan surgir a partir del desarrollo en NT's (Urquilla, 2019).

Además, los gobiernos de las naciones desarrolladas manifiestan un marcado interés en el avance de estas tecnologías. Por otro lado, varios países en vías de desarrollo también muestran un creciente interés en la investigación y desarrollo de la nanotecnología (NT), con el objetivo de mantenerse a la vanguardia. Es importante destacar que, debido a su naturaleza disruptiva, estas tecnologías pueden alterar significativamente la demanda de recursos naturales, lo que a su vez podría impactar las economías de países que dependen en gran medida de la exportación de tales recursos.

En el proceso de desarrollo e instauración del nuevo paradigma nanotecnológico, Estados Unidos (EE. UU.) ha jugado un papel protagónico, seguido por otros países industrializados, y con la marginal pero creciente participación de países emergentes (Guzmán et al., 2018). Los citados autores mencionan que hasta el inicio del siglo XXI se advierte un despliegue sustancial de financiamiento hacia actividades de inversión y desarrollo en el emergente paradigma nanotecnológico.

Desde principios del siglo XXI, a través del Programa de Iniciativa Nacional de Nanotecnología, EE. UU. ha recibido inversiones acumuladas que superan los 11,000 millones de dólares (Etxabe et al., 2012). Los citados autores informan que dichas inversiones han facilitado la creación de nuevos centros de investigación, así como la financiación de proyectos multidisciplinarios y programas de formación. Es un hecho palpable que este programa le permitió a EE. UU. llevar la delantera en la carrera nanotecnológica. A partir de que EE. UU. implementara su plan en fomento a las NT's, al menos 60 países iniciaron actividades en este campo (Roco, 2005).

Las patentes son indicadores del desarrollo de una sociedad al llevar a aplicación sus trabajos en investigación (Pastrana et al., 2012). Tal como destacan Záyago-Lau y Foladori (2010), el registro de patentes es un paso fundamental antes de la comercialización de un producto derivado de la investigación y desarrollo. Además, constituye un objetivo crucial en la transición hacia una economía basada en el conocimiento. Por ello, para el caso de las patentes en materia de nanotecnología, resulta importante analizar el panorama a nivel global para identificar a los países que se encuentran a la vanguardia en el desarrollo de NT's.

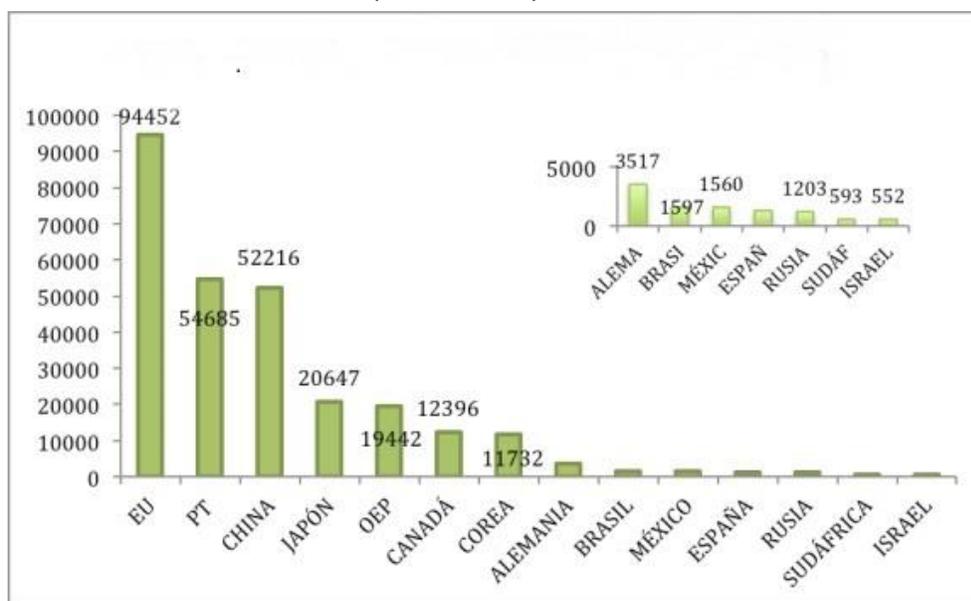
Para el análisis de patentes se consideran principalmente tres oficinas/organizaciones: la Oficina de Patentes y Marcas Registradas de Estados Unidos

(USPTO por sus siglas en inglés); la Oficina Europea de Patentes (OEP) y la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). Notoriamente, como se puede apreciar en el gráfico 8, existe una gran diferencia entre el número de patentes otorgadas por la OEP y la USPTO, siendo ésta última la que ha otorgado una mayor cantidad.

Por otro lado, la OMPI muestra el número de patentes internacionales por país u oficina otorgadas por dicha organización, mostrando una trayectoria distinta (Vidal, 2015). Se destaca Estados Unidos como el país con mayor número de patentes otorgadas, seguido por la propia OMPI de 2004 a 2014 (PT, figura 15). Notoriamente, como se observa en la figura 15, Estados Unidos muestra un número de patentes sustancialmente mayor a países como China, Japón, Canadá y Corea.

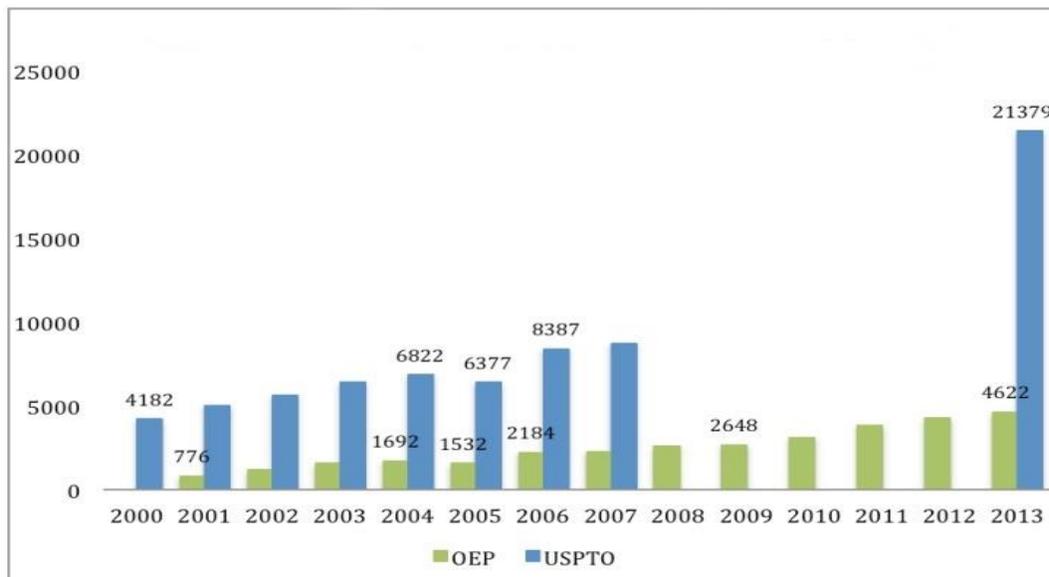
Figura 15

Patentes Por País, OMPI (2004-2014)



Adaptado de "El despertar del dragón: tendencias globales en nanotecnología" de L. Vidal, 2015, *Ola financiera*, 8(21), pág. 88 (<https://doi.org/10.22201/fe.18701442e.2015.21.50572>).

La figura 16 muestra las patentes por país otorgadas por la OEP y la USPTO del año 2000 al 2013. Se advierte que, a lo largo de estos años, la cantidad de patentes otorgadas por la USPTO es sustancialmente mayor que las otorgadas por la OEP. En 2013, la diferencia es notable, siendo tres veces mayor el número de patentes otorgadas por la oficina estadounidense en comparación con la europea.

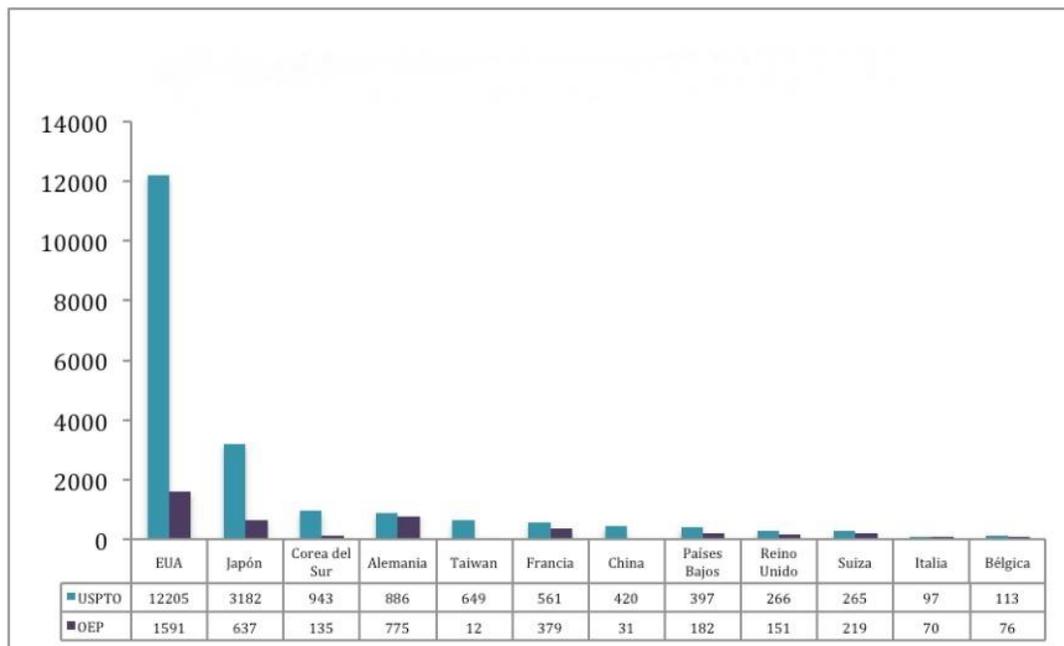
Figura 16*Patentes Otorgadas en NT's (2000-2013)*

Adaptado de “El despertar del dragón: tendencias globales en nanotecnología” de L. Vidal, 2015, *Ola financiera*, 8(21), pág. 86 (<https://doi.org/10.22201/fe.18701442e.2015.21.50572>).

Se puede concluir que las patentes de nanotecnología se aglomeran en los países centrales, siendo el principal Estados Unidos, y destacando países como Japón, Alemania y Corea del Sur. Cabe destacar que, a nivel mundial, los países que tienen mayor número de patentes coinciden con los que tienen un mayor número de compañías, universidades y centros públicos de investigación solucionar (Castañeda Naranjo & Palacios Neri, 2014).

Asimismo, como se puede apreciar en el gráfico 9, para el año 2013, Estados Unidos adquirió un total de 13,796 patentes que fueron otorgadas por la USPTD y la OEP en su conjunto. Por otro lado, se destaca Japón como segundo país con mayor número de patentes, seguido por Alemania y Corea del Sur.

La figura 17 muestra las patentes otorgadas en materia de nano para el año 2013 por la OEP y la USPTO, siendo la segunda oficina la que otorgó un mayor número de patentes para ese año.

Figura 17*Patentes Otorgadas en Nano (2013)*

Adaptado de “El despertar del dragón: tendencias globales en nanotecnología” de L. Vidal, 2015, *Ola financiera*, 8(21), pág. 89 (<https://doi.org/10.22201/fe.18701442e.2015.21.50572>).

En el caso de los países de América Latina, el panorama no es tan alentador como en los países desarrollados. Pastrana et al. (2012) informan que, durante el primer semestre de 2012, en la base de datos de la OMPI, se encontraron solicitantes de Argentina, Brasil, Colombia, Chile y México. Asimismo, los autores mencionan que, de las aproximadamente 100,000 patentes de nanotecnología existentes a nivel mundial, solo 333 se encuentran en la región latinoamericana, y, además, el 90% de estas 333 patentes están registradas en las oficinas de Brasil y México.

El contraste en el número de patentes entre los países desarrollados y la región latinoamericana es notable y refleja diferencias significativas en términos de desarrollo tecnológico e inversión en investigación y desarrollo (I+D). Mientras que en los países desarrollados se registran decenas de miles de patentes, demostrando un alto nivel de innovación y una robusta infraestructura para la protección de propiedad intelectual, en América Latina la situación es considerablemente menos favorable.

4.4 El Panorama de las Nanotecnologías en México

Desde la implementación de la Iniciativa Nacional de Nanotecnología en Estados Unidos a principios del siglo XXI, las nanotecnologías comenzaron a experimentar un enorme crecimiento de tal manera que comenzaron a circular un gran arsenal de productos que implementaban nanocomponentes. Estos productos comenzaron a circular sin restricción alguna, dejando de lado las implicaciones negativas y los potenciales riesgos de las nanotecnologías y guiándose más bien por el aspecto económico. Esto, como bien mencionan Arteaga Figueroa et al. (2023) representa una gran paradoja puesto que la industria y los gobiernos reconocen las nuevas potencialidades de los materiales a nanoescala, pero rechazan que puedan significar riesgos tóxicos diferentes a los materiales a mayor tamaño. Así pues, el aumento de productos de la nanotecnología no se apoya en regulaciones que garanticen la seguridad en materia de salud y medio ambiente (Azoulay, 2015).

Ante tal situación, el incremento del uso de los nanomateriales en la década de los 2000 provocó un aumento de la demanda de regulaciones adaptadas a las especificidades de los nuevos materiales (Azoulay, 2015). De esta manera, se suscitaron discusiones en torno a la regulación de las nanotecnologías a nivel mundial. El asunto de la regulación de las nanotecnologías emergió gradualmente desde 2003, cuando la organización ambientalista Grupo ETC visibilizó la problemática social y ambiental de las NT en distintos foros internacionales (Anzaldo & Herrera Basurto, 2015).

Las discusiones remiten principalmente a dos cuestiones: los potenciales riesgos a la salud y el medio ambiente; y la normalización y homogenización de criterios para la comercialización (Foladori & Invernizzi, 2016). En esta línea, los citados autores mencionan que entre los principales países que más han avanzado en iniciativas de regulación destacan Estados Unidos y la Unión Europea como bloques líderes.

Aunque no existe suficiente información empírica sobre resultados perjudiciales para la salud o el medio ambiente, es bien sabido que los materiales a escala nanométrica presentan cualidades físico-químicas diferentes a las manifestadas a un tamaño mayor; en este sentido los nanomateriales pueden implicar actividad biológica y toxicidad diferente a la conocida (Foladori & Invernizzi, 2016). A pesar de los esfuerzos

y la presión social, las dificultades en materia de regulación de nanomateriales han ido incrementando, ya que aún no existe una definición formal de las nanotecnologías.

Una definición formal de nanotecnología es esencial para una regulación efectiva que proteja la salud pública, el medio ambiente y promueva el desarrollo seguro y responsable de esta tecnología emergente. En este sentido, en palabras de Ponce del Castillo (2010, p. 33) "las definiciones son importantes, ya que debemos saber de qué estamos hablando. Existe una necesidad aguda de definiciones ampliamente aceptadas de nanomateriales y nanotecnologías, así como de otros términos relevantes, ya que la falta de ellas produce incertidumbres legales." En palabras de Saldívar Tanaka (2019):

Sin duda, la existencia de estándares y regulaciones otorga certeza y seguridad a industria, mercados, gobiernos y sociedad; en el caso de las normas técnicas de NT, estas ayudan a tener un lenguaje común respecto a nomenclatura, terminología, clasificación, medición, caracterización, cuestiones de salud, seguridad y medio ambiente, productos y procesos de la misma. (p. 38)

Resulta importante regular las nanotecnologías debido a que estas han experimentado un crecimiento exponencial, que a su vez implica grandes riesgos a la sociedad en general y al medio ambiente. Además, la regulación implica medidas precautorias.

4.4.1 Avances en la Política Pública de las Nanotecnologías en México

Durante los últimos años, México no ha tenido avances en torno a una política pública que promueva el desarrollo de las nanotecnologías para incrementar la competitividad en el país; tampoco en la regulación ha habido avances significativos, a pesar de su creciente importancia dentro de la Industria 4.0. En definitiva, el panorama de las NT's en México resulta incierto.

Záyago y Foladori (2012) informan que la política de Ciencia y Tecnología (C&T) en México ha respaldado, de manera creciente, las demandas del sector privado, e impulsado la inserción de las NT's en la plataforma científica para incrementar la competitividad internacional. Según reconocen estos autores, el interés por desarrollar la NT en México se expresó a partir del año 2001 en el Programa Especial de Ciencia y Tecnología (PECYT) 2001-2006, el cual forma parte del Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006, en donde se les reconoce como área estratégica de los materiales

avanzados y se plantea la necesidad de contar con un Programa Nacional de Nanotecnología. Los citados autores mencionan que en 2002 se publicó la Ley de Ciencia y Tecnología que creó el Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (CGIDT) y colocó al Conacyt al frente de la C&T del país. En esta ley se señala lo siguiente:

... se consideran áreas estratégicas del conocimiento: -la información y las comunicaciones – la biotecnología – los materiales – el diseño y los procesos de manufactura – la infraestructura y el desarrollo urbano y rural, incluyendo sus aspectos sociales y económicos. (CONACYT, 2002, p. 49)

El posterior Programa de Ciencia, Tecnología e Innovación 2008-2012 también destaca a las NT's junto con otras áreas científico-tecnológicas consideradas prioritarias (CONACYT, 2008). A pesar de calificar a las NT's como una de las áreas científico-tecnológicas, el PECYT 2008-2012 no detalla más información o estrategias respecto al tema. Como señalan Foladori et al. (2024), las menciones en los programas desarrollados no fueron significativas en términos prácticos, y no es hasta el segundo quinquenio de la primera década del siglo XXI en que se destinan fondos públicos para la creación de laboratorios nacionales de NT's.

De igual manera, el siguiente Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018 destaca el desarrollo de nanomateriales y nanotecnología como uno de los temas prioritarios en desarrollo tecnológico (CONACYT, 2014). Posteriormente, Foladori et al. (2024) señalan que, bajo el nuevo gobierno federal, las políticas de México en materia de ciencia y tecnología presentaron un cambio radical.

Así pues, en la actualidad, México carece de una política pública explícita que promueva el desarrollo de las nanotecnologías. Aunque se ha reconocido su potencial en los Programas de Ciencia y Tecnología, en la práctica no se han logrado avances significativos. A pesar de ello, el mercado de las nanotecnologías sigue experimentando un rápido crecimiento. Por lo tanto, el futuro del desarrollo tecnológico en el país es incierto.

4.4.2 La Regulación de las Nanotecnologías en México

Como se mencionó con antelación, las nanotecnologías son tecnologías disruptivas que han experimentado un enorme crecimiento a partir de inicios del siglo XXI. Dichas

tecnologías han ido creciendo a pesar de que a nivel mundial no ha habido grandes avances en torno a la regulación. La importancia de la regulación radica en los potenciales riesgos a la salud humana, el medio ambiente y a las economías de los países subdesarrollados (Foladori, 2024a). En este sentido “regular las nanotecnologías significa establecer procedimientos normativos que condicionan, limitan o prohíben la investigación, producción y/o venta de productos de esas tecnologías por los organismos públicos oficiales de los países” (Foladori, 2022, p. 7).

La regulación obligatoria respecto a las NT's comienza a finales de la primera década del siglo XXI, con medidas como etiquetado u obligatoriedad de registro anticipado para determinados productos considerados potencialmente tóxicos (Foladori, 2024a). Ante las crecientes preocupaciones de diversas organizaciones sociales, instituciones y determinados actores, el tema de la seguridad en NM y su regulación comenzó a hilvanarse a partir de más investigaciones y posicionamientos (Anzaldo & Herrera Basurto, 2015).

Existen diversas razones para regular las NT. Foladori (2024a, p. 45) menciona las tres principales:

La preocupación por los peligros que algunos nanomateriales pueden implicar es la principal razón para regular las nanotecnologías. [...] Una segunda razón [...] es la necesidad de disminuir el temor de los consumidores por los productos de las nanotecnologías [...] una tercera razón es la importancia que crecientemente adquieren los nanomateriales como materia prima en las diversas cadenas de producción internacionales.

En este sentido, al ser tecnologías emergentes y disruptivas, las NT's pueden tener implicaciones negativas en la salud, el medio ambiente y en la estructura socioeconómica, especialmente en los países subdesarrollados, ya que como menciona el citado autor, los NM podrían reemplazar materias primas naturales.

En cuanto a las medidas de regulación de las NT's, Saldívar Tanaka (2019) informa que estas van desde medidas obligatorias y voluntarias. La regulación obligatoria, también conocida como mandataria, vinculante, compulsiva o de comando y control, es pública y se impone desde la autoridad hacia los regulados (Arnaldi, 2014). La regulación voluntaria, también conocida como autorregulatoria o blanda (soft law), no es vinculante y se origina desde la base hacia la autoridad. Generalmente, su efectividad es limitada (Saldívar Tanaka, 2019).

En las últimas décadas se ha utilizado el término gobernanza para abarcar tanto las regulaciones públicas, sean obligatorias o voluntarias, como las normas voluntarias emitidas por el sector privado (Foladori, 2022), y existe una amplia discusión sobre los efectos y eficacia de unas y otras. En el caso particular de la nanociencia y las nanotecnologías, estas son ciencias multidisciplinarias. Incluso algunos autores las consideran transdisciplinarias. El citado autor menciona que, aunque la nanociencia es multidisciplinaria, la producción de la materia prima, que son los nanomateriales, es resultado de la industria química, y, por ello, se ven sometidas a las disposiciones que regulan y norman las sustancias químicas.

A pesar de ello, la regulación de las NT's resulta una tarea compleja, dado que no existe una definición formal de nanotecnología, así como las diferencias entre las características de los nanomateriales, que cambian a partir de sus cualidades (masa, tamaño, concentración, etc.). Por ello, la labor de regulación de dichas tecnologías lleva un rezago difícil de superar, aún más si consideramos el ritmo en que las NT's y sus productos van creciendo (Saldívar Tanaka, 2019).

Los instrumentos utilizados para hacer frente a las riesgos e implicaciones sociales de los productos químicos son el análisis de riesgos (ARR) y el principio de precaución (PP) (Robles & Foladori, 2024a). El análisis de riesgos es una metodología para identificar potenciales riesgos a la salud y/o el ambiente de sustancias químicas, aunque dicha metodología se ha extendido a muchos procesos y productos de diferentes sectores económicos (Foladori, 2022). El autor anteriormente citado menciona lo siguiente:

...el ARR se caracteriza por algunos lineamientos generales presentes en todos los casos, como la amplia revisión bibliográfica científica sobre el tema, el uso de equipos y técnicas de investigación estandarizadas y certificadas, la posibilidad de replicación de las pruebas, el análisis cuantitativo y probabilístico, y la evaluación costo-beneficio". (p. 13)

Respecto al principio de precaución, Casado y Corcoy (2020) mencionan que éste se viene utilizando desde hace décadas en relación con los riesgos derivados de los avances tecnológicos y científicos. El principio de precaución establece que "Cuando una actividad plantea amenazas de daño a la salud humana o al medio ambiente, se deben tomar medidas precautorias, aunque algunas relaciones de causa y efecto no estén

totalmente establecidas científicamente” (Hayes, 2005, párr. 1). Las medidas de precaución tratan de evitar que el riesgo que supone la actividad se concrete en lesiones de derechos fundamentales o/y de grave riesgo para la indemnidad de las generaciones futuras o/y del medio ambiente (Casado & Corcoy 2010).

Tanto el ARR como el PP son instrumentos utilizados en la política de ciencia y tecnología, aunque los mismos difieren en cuanto a su enfoque. La diferencia es que el AR se inclina por apoyar las fuerzas del mercado, mientras que el PP tiende a apoyar las fuerzas de la vida (Foladori, 2022).

En México, la cuestión regulatoria de las NT’s se encuentra aún en una etapa embrionaria, ya que el país solo cuenta con Normas Mexicanas que son específicas en la materia (Saldívar Tanaka, 2019). De igual forma, no existe un plan nacional para el desarrollo de las NT’s, además de que tampoco hay planes para la integración de los avances de investigación a sectores productivos (Foladori, 2024b).

Foladori & Záyago Lau, 2014 informan que el primer esfuerzo oficial para regular las nanotecnologías está ligado a las relaciones comerciales entre México y Estados Unidos; a través del documento *Principios de política para la toma de decisiones de EU concernientes a la regulación y supervisión de aplicación de las nanotecnologías y los nanomateriales*, surgieron los antecedentes para la elaboración de principios.

En 2012 la Secretaría de Economía publicó los *Lineamientos para regulaciones sobre nanotecnologías*, como resultado de los compromisos adquiridos por el gobierno mexicano en su relación comercial con Estados Unidos (Anzaldo & Herrera Basurto, 2015). Estos lineamientos fueron establecidos por el Consejo de Alto Nivel para la Cooperación Regulatoria México-Estados Unidos (Vidal Correa, 2020). Al respecto, Anzaldo y Herrera Basurto mencionan que los Lineamientos representan los intereses del sector privado, ya que se enfatiza que la regulación debe ser tal, que impulse la competitividad de la industria nacional y no obstaculizar el comercio. Asimismo, Foladori y Záyago Lau (2014) mencionan que el impulso a la regulación en México provino principalmente de la demanda de Estados Unidos por homogeneizar los requisitos comerciales. Así, pues, la visión de los lineamientos se orienta principalmente al mercado.

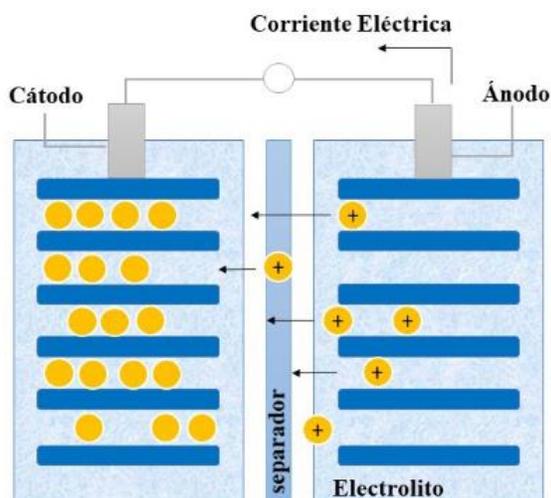
4.5 Importancia de las Nanotecnologías en las Baterías de Iones de Litio

Una nueva transición energética ha ido adquiriendo cada vez más importancia en el debate actual ante el cada vez más posible escenario de agotamiento de los recursos naturales como los combustibles fósiles (Kazimierski, 2019). En este contexto, las baterías de iones de litio [BIL] representan la base de una nueva matriz energética sustentada en la electromovilidad.

Las baterías se definen como “una o más celdas conectadas para formar una unidad y que tienen disposiciones para conexiones externas” (Crompton, 2000, “definición de batería, Glossary 3”). El mecanismo de las BIL se basa en iones de Litio (Li) que migran del ánodo al cátodo durante una descarga y en dirección inversa durante la carga (Boicea, 2014). Cuanto más eficientemente los iones pasan de un electrodo a otro, mayor será la capacidad de la batería (Del Barco Gamarra, 2012).

Figura 18

Partes de una Batería



De “Baterías de ion litio: características y aplicaciones”. Por V. Quintero (2021), *I+D Tecnológico*, 17(1), p.15. (<https://doi.org/10.33412/idt.v17.1.2907>).

Del Barco Gamarra et al. (2016) mencionan que entre los sistemas de almacenamiento de energía a base de litio se distinguen: las baterías primarias o no recargables destinadas a completar un ciclo sólo una vez, para ser desechadas posteriormente. Por otro lado, los autores informan que las baterías secundarias o

recargables, por lo general se diseñan para tener vida de entre 100 y 1000 ciclos de recarga, dependiendo de la composición de los materiales. Las baterías secundarias son generalmente preferidas sobre las baterías primarias debido a su capacidad de recarga, menor costo a largo plazo y otras ventajas en términos de rendimiento y flexibilidad.

Desde el surgimiento de las baterías de iones de litio en la década de los noventa del siglo pasado, éstas han ido mejorando con el paso del tiempo. Sin embargo, cuestiones como la potencia, una mayor velocidad de carga, incremento del ciclo de vida de las baterías representan los principales retos por cumplir. Del Barco Gamarra (2012) señala que, en años recientes, las baterías de iones de litio presentaban un rendimiento energético satisfactorio, pero enfrentaban el desafío de una baja potencia, debido a la lentitud con la que los iones de litio se desplazaban. En este contexto, el autor puntualiza que la contribución de la nanotecnología en la aplicación industrial actual del litio se vuelve crucial.

Cabe subrayar que aún se está investigando la forma de mejorar el desempeño de las BIL, ya que se presentan problemas relacionados con la potencia energética y los ciclos de carga y descarga. En este sentido, revisiones recientes han abordado el papel de los nanomateriales [NM] en el avance de las BIL, ya sea de manera general o centrándose en desafíos particulares de las baterías, química, morfología y arquitectura de electrodos (AbdelHaimd et al., 2022). Se destacan las ventajas de los NM como los nanotubos y nanofibras de carbono, así como el grafeno como actuales candidatos para sustituir materiales activos en los ánodos, con el objetivo de brindar mayor potencia y energía a las baterías (Cameán Martínez, 2016). Así, pues, existe un área de oportunidad para las nanotecnologías en el desarrollo y mejoramiento de las BIL.

La implementación de nanopartículas en las BIL aumenta la velocidad de carga. En este sentido, Moledo Froján y Orbezua (2019) señalan que se tiene una mayor cantidad de superficie disponible para llevar a cabo más reacciones de forma simultánea, aumentando la velocidad global. Además, se reducen las distancias que tienen que recorrer los iones, contribuyendo a la disminución de los tiempos de carga. Estos beneficios se obtienen al recubrir un electrodo con nanopartículas aumenta su área y flujo de corriente, mejorando la eficiencia de las baterías y reduciendo su peso, lo que beneficia a los vehículos híbridos (*"Nanotechnology in Batteries (Nano Battery)"*, s. f.).

Por otro lado, se prolonga la vida útil de las baterías y se reduce la frecuencia de reemplazo (Moledo Froján & Orbezua Fernández, 2019). Esto se logra mediante el uso de nanomateriales que separan los líquidos de los electrodos sólidos cuando la batería no está en uso, previniendo la descarga y aumentando considerablemente su duración (*“Nanotechnology in Batteries (Nano Battery)”*, s.f.).

La tabla 3 muestra los principales nanomateriales implementados en las BIL. Dichos materiales se implementan principalmente en los ánodos y cátodos y entre sus principales beneficios se destacan la alta conductividad eléctrica, alta superficie específica, estabilidad térmica y a largo plazo, así como mayor densidad energética y rápido tiempo de carga.

Tabla 3

Nanomateriales Utilizados en Baterías de Iones de Litio

Nanomaterial	Aplicaciones	Beneficios
Nanotubos de carbono	Electrodos (ánodos y cátodos)	Alta conductividad eléctrica
Grafeno	Electrodos (ánodos y cátodos)	Alta superficie específica
Óxidos Metálicos (TiO ₂ , MnO ₂)	Electrodos (ánodos y cátodos)	Estabilidad a largo plazo
Nanopartículas de LiFePO ₄	Cátodos	Estabilidad térmica
Nanohilos de Litio Titanato (LTO)	Ánodos	Rápido tiempo de carga
Nanopartículas de silicio	Ánodos	Mayor densidad energética

Elaboración propia a partir de “Advances in and prospects of nanomaterials’ morphological control for lithium rechargeable batteries” por A. A. AbdelHamid, A. Mendoza-García & J. Y. Ying, *Nano Energy*, 2022, 1(93), pp.4-8 (<https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.106860>) & “Nanomateriales de carbono: aplicación en baterías de ión-litio” por I. Cameán Martínez, 2016, pp. 16-17 (<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6164948>).

Así pues, la implementación de nanopartículas en las BIL no solo mejora su rendimiento energético y reduce los tiempos de carga, sino que también ofrece beneficios significativos en términos de durabilidad y sostenibilidad. En este sentido, las NT’s representan una valiosa área de oportunidad para el desarrollo y perfeccionamiento continuo de las BIL, impulsando así la adopción generalizada de la electromovilidad y otras aplicaciones de energía limpia.

Al analizar la cadena global de valor de las BIL, destaca la amplia participación de China en casi todos los eslabones, aunque su rol es menos prominente en los procesos extractivos. La cadena de valor está regionalizada: por un lado, un pequeño grupo de

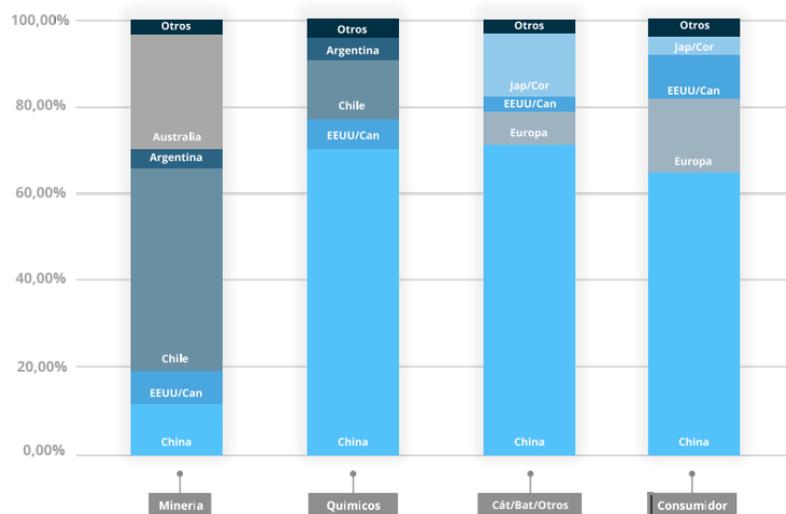
países, incluidos varios de América Latina y el Caribe, se especializa en la producción de materias primas (CEPAL, 2023); por otro lado, China y otros países desarrollados se centran en las actividades de agregación de valor del litio.

Las etapas intermedias en la cadena de valor se llevan a cabo principalmente en Asia por varias razones. En primer lugar, como destacan Sanin et al. (2023), existe una gran demanda local de vehículos eléctricos, lo que impulsa el desarrollo ascendente de la cadena de valor. Además, el enorme tamaño del mercado y la concentración de la producción generan economías de escala. La región también se beneficia de un alto grado de especialización y disponibilidad tecnológica.

En la figura 19 se ilustra que China participa en prácticamente todas las actividades de la cadena de valor de las BIL, partiendo de los procesos de extracción de minerales hasta las actividades especializadas. Además, dicho país es el principal consumidor de las BIL, seguido por Europa y Estados Unidos/Canadá.

Figura 19

Localización de las Principales Actividades en la Cadena de Valor de BIL



De *Del litio al vehículo eléctrico en América Latina y el Caribe* (p.12), M. E. Sanin, V. Snyder, M. Walter y L. Balza, 2023, Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (<https://publications.iadb.org/es/del-litio-al-vehiculo-electrico-en-america-latina-y-el-caribe>).

En la actualidad, se observa una tendencia mundial hacia la integración vertical en el proceso industrial, especialmente en las áreas cercanas a los centros de consumo de vehículos eléctricos (VE) (Sanin et al., 2023). Además, existe una concentración

geográfica significativa en la producción de BIL, destacando países asiáticos como China, Japón y la República de Corea (Obaya & Céspedes, 2021). En 2018, estos tres países concentraban en conjunto el 77% de la capacidad productiva de BIL para vehículos eléctricos (véase Tabla 4). A diferencia de los grandes proveedores tradicionales de la industria automotriz, los nuevos proveedores estratégicos provienen de la industria electrónica y química, con poca trayectoria en el sector (Obaya & Céspedes, 2021).

La tabla 4 muestra que China es el líder dominante en la producción de BIL, representando el 44% de la capacidad para vehículos eléctricos y el 90% para otras aplicaciones. Japón y Estados Unidos también tienen una capacidad significativa, especialmente para vehículos eléctricos, con 17% y 19% respectivamente. Europa y el resto del mundo tienen una participación mínima. En general, la producción de BIL está altamente concentrada en China, con Japón y Estados Unidos como actores importantes.

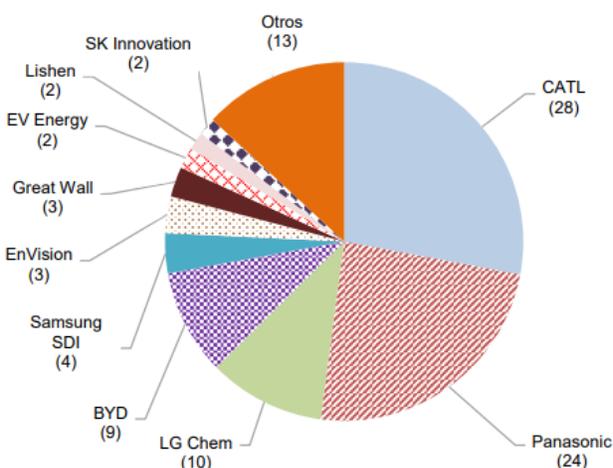
Tabla 4

Capacidad Productiva de Celdas para BiL por Aplicación, 2018

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

De *Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio: Implicaciones para los países del triángulo del litio* (p. 64), por M. Obaya y M. Céspedes, 2021, Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL) (<https://www.cepal.org/es/publicaciones/46943-analisis-redes-globales-produccion-baterias-ion-litio-implicaciones-paises>).

La figura 20 muestra la participación de mercado de diferentes empresas en el año 2019. Se observa que CATL tiene la mayor participación con el 28%, seguido por Panasonic con una participación del 24% y LG Chem con el 10%. Notoriamente, la gran mayoría de las empresas son de origen asiático.

Figura 20*Participación de Mercado de BIL 2019 (%)*

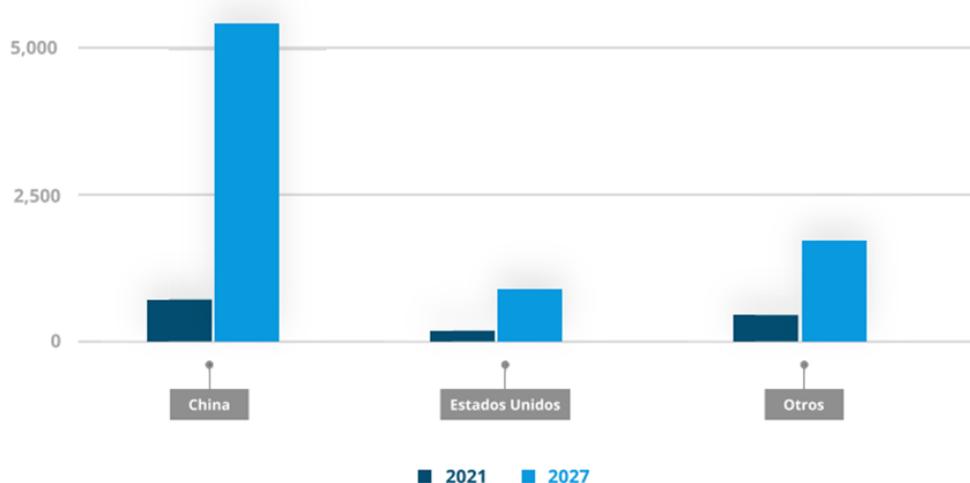
De *Agregación de valor en la producción de compuestos de litio en la región del triángulo del litio* (p. 22), por D. Jiménez y M. Sáez, 2022, Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (CEPAL) (<https://www.cepal.org/es/publicaciones/48055-agregacion-valor-la-produccion-compuestos-litio-la-region-triangulo-litio>).

En cuanto a la demanda de BIL, se observó un crecimiento anual del 17% en el período 2015-2020, y se espera que en los próximos años aumente a un 25% anual, impulsado principalmente por la demanda de vehículos eléctricos (Sanin et al., 2023). Además, se prevé que China aumente significativamente su capacidad de producción de baterías en los próximos años.

La figura 21 muestra la capacidad de producción de BIL en gigawatts (GW) para el año 2021 y con estimaciones para 2027 para China, Estados Unidos y otros países. Se puede observar que para 2027, el país asiático tendrá una enorme capacidad de producción en comparación con los demás países.

Figura 21

Capacidad de Producción de Baterías (GW) 2021/2027



De *Del litio al vehículo eléctrico en América Latina y el Caribe* (p. 13), Por M. E. Sanin, V. Snyder, W. Martín y L. Balza, 2023, Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (<http://dx.doi.org/10.18235/0005271>).

Es importante destacar que las BIL podrían enfrentar limitaciones temporales, ya que actualmente se están desarrollando tecnologías menos intensivas en litio (CEPAL, 2023). Sanin et al. (2023) señalan que entre los potenciales materiales alternativos se encuentran el sodio, potasio, magnesio, calcio, zinc e incluso el aluminio. Sin embargo, los autores mencionan que hasta la fecha no se ha descubierto un sustituto que iguale o supere las demandas técnicas de las BIL.

Para los países con reservas de litio, los mayores desafíos están relacionados con las iniciativas para procesar localmente el litio y producir celdas de baterías de iones de litio o sus componentes (CEPAL, 2023). Los principales retos son tecnológicos, económicos y normativos, además de considerar las dimensiones sociales y ambientales.

Un aspecto técnico importante son los métodos de extracción, que varían según el tipo de depósito: salmuera, rocas/pegmatitas o arcilla. Los salares, por ejemplo, presentan distintas propiedades. En Bolivia, se están desarrollando nuevas tecnologías enfocadas en la extracción directa de litio (EDL) (CEPAL, 2023). Sin embargo, hasta la fecha, ninguna tecnología de extracción directa ha demostrado funcionar a escala industrial (Jiménez & Sáez, 2022). En cuanto a los recursos en arcillas, los procesos de

producción aún están en etapa de desarrollo y tampoco han alcanzado una escala industrial (CEPAL, 2023).

También se debe tener en cuenta la dificultad para obtener otros recursos críticos necesarios para la producción de BIL, como el manganeso, cobalto, níquel y tierras raras. En América Latina y el Caribe (ALC) se encuentra el 23% de las reservas mundiales de níquel, el 7% de las reservas de cobalto, el 17.5% de las tierras raras, el 4.1% de las reservas de manganeso y solo el 1% de las reservas de grafito (Sanin et al., 2023). Sin embargo, hasta la fecha, muchas de estas reservas no se han explotado.

Asimismo, se debe considerar que el desarrollo de una industria a gran escala de celdas de baterías de iones de litio, capaz de procesar una porción considerable del litio producido por la región, requiere el desarrollo simultáneo de una industria de vehículos eléctricos que demande esas baterías (CEPAL, 2023). Por lo tanto, se necesita un significativo desembolso de capital, así como la implementación de políticas que fomenten la adopción de vehículos eléctricos en la región. Sanin et al. (2023) sostienen que este desafío se presenta especialmente en términos normativos y regulatorios, así como en términos de financiamiento implica la transformación completa del parque automotor de los países de América Latina y el Caribe (ALC); lo que requiere la creación de normativas para gestionar una nueva infraestructura (recarga de vehículos, mantenimiento, etc.) y procesos industriales.

Conclusiones

La presente investigación tuvo como objetivo analizar las oportunidades y los desafíos del uso estratégico del litio para la fabricación de baterías implementando nanotecnologías como factor de desarrollo regional en México. A través de un análisis de la minería del litio, el desarrollo histórico de la industria minera en México y el panorama actual de las nanotecnologías en el país, se buscó comprender las dinámicas que influyen en la capacidad de México para generar un escalamiento productivo en la cadena de valor del litio y, a su vez, promover el desarrollo regional.

Respecto a la hipótesis de investigación, se toman en consideración una serie de hallazgos que confirman la hipótesis planteada, esto es, “Si México implementa estrategias efectivas para desarrollar sus recursos económicos, tecnológicos y de conocimientos técnicos, puede escalar productivamente en la cadena de valor del litio. Esto incluye optimizar la explotación de sus reservas de litio arcilloso, fortalecer el marco normativo y la gestión estatal a través de entidades como LitoMx, y fomentar la investigación y el desarrollo de nanotecnologías. Al hacerlo, México puede promover el desarrollo regional y posicionarse competitivamente en la industria global de baterías de iones de litio. Sin embargo, enfrentar desafíos como la falta de inversión, la alta especialización tecnológica requerida, la competencia internacional y la escasez de materias primas críticas. Dichos aspectos resultan cruciales para lograr tal objetivo”. En este sentido se enlistan una serie de conclusiones que respaldan la hipótesis.

En primer lugar, se debe considerar el desarrollo histórico de la minería en México, puesto que, desde la época colonial hasta la actualidad, la actividad minera ha tenido un importante papel en la economía mexicana. Durante el período colonial, los metales preciosos influyeron en el despliegue de otras actividades económicas. En el período porfirista, se otorgaron licitaciones a capitales extranjeros y privados, generando enclaves mineros. Aunque hubo intentos de nacionalizar la industria minera durante el período nacional revolucionario, finalmente se consolidó la megaminería, que actualmente tiene un gran control sobre los gobiernos y genera grandes problemas

ambientales y sociales. En este sentido, pasar a un modelo soberano en la minería del litio resulta ser una tarea difícil.

El análisis de los modelos de gobernanza de los países del triángulo del litio (Argentina, Chile y Bolivia) proporciona lecciones valiosas para México. En Argentina y Chile, la explotación del litio está dominada por capital extranjero y privado. En contraste, Bolivia ha optado por un modelo más soberano, intentando mantener un mayor control estatal sobre sus recursos. Sin embargo, Bolivia ha enfrentado numerosos problemas que han retrasado su proyecto de industrialización del litio. Aunque México podría aspirar a un modelo soberano similar al de Bolivia, la implementación sería difícil debido a los años de esfuerzo y las dificultades que Bolivia ha enfrentado en este ámbito.

Por otro lado, cabe destacar que las reservas de litio en México son principalmente de tipo arcilloso. Este tipo de reservas son poco comunes y representan un 7% de las reservas globales. Actualmente, no existe un método de extracción rentable a escala industrial para este tipo de depósitos, aunque algunas empresas afirman haber desarrollado un método viable.

El gobierno mexicano ha hecho esfuerzos para gestionar y aprovechar el litio, pero el marco normativo sigue siendo débil, beneficiando principalmente a grandes empresas mineras extranjeras. La empresa estatal LitoMx, creada para administrar y gestionar el litio, aún parece estar inactiva. Aunado a esto, la explotación del Proyecto Sonora enfrenta incertidumbres. En 2023, el gobierno mexicano rechazó nueve concesiones otorgadas a la minera china Ganfeng Lithium, y actualmente, la empresa está en diálogo con el gobierno.

En cuanto a las cadenas de valor de las baterías de iones de litio se observa que estas se encuentran altamente polarizadas, ya que solo unos pocos países centrales se especializan en las actividades de agregación de valor. China destaca como el principal productor mundial de baterías con una estrategia de expansión agresiva. Esto sugiere que la participación de otros países en esta industria podría disminuir en los próximos años.

Además, América Latina enfrenta un mercado aún reducido de vehículos eléctricos, lo que plantea desafíos significativos para la implementación de la infraestructura necesaria para apoyar esta tecnología emergente. Se requieren

inversiones considerablemente grandes en la construcción de estaciones de carga, modernización de la red eléctrica y promoción de incentivos para la adopción de vehículos eléctricos por parte de los consumidores. Aunado a esto, la elaboración de baterías de iones de litio también depende de recursos críticos como el manganeso, cobalto, níquel, grafito y tierras raras, muchos de los cuales son escasos en América Latina. Esta limitación en el acceso a materias primas fundamentales subraya la importancia de la diversificación de fuentes de suministro y el fomento de la investigación en tecnologías de reciclaje y alternativas de materiales.

De manera similar, el desarrollo de nanotecnologías está dominado por unos pocos países que producen la mayoría de las patentes a nivel mundial, dejando a los países subdesarrollados atrás en la carrera nanotecnológica. Esto resalta el carácter hegemónico de estas tecnologías. En el caso de México, existe un escenario incipiente en materia de regulación y políticas públicas de nanotecnologías. Aunque se observa un interés en esta área, resulta de vital importancia fortalecer los marcos normativos y destinar una mayor cantidad de recursos a la investigación y desarrollo de las nanotecnologías que en el panorama de la industria 4.0 y la transición energética juegan un papel preponderante.

En cuanto a las oportunidades, a manera de prospectiva, resulta de vital importancia que los marcos normativos en México sean modificados para facilitar una mayor captación de renta de la explotación del litio y asegurar que estos ingresos se utilicen de manera efectiva para promover el desarrollo socioeconómico y reducir las desigualdades regionales. Esto podría implicar la implementación de programas sociales dirigidos a comunidades afectadas por la actividad minera, así como la creación de mecanismos de transparencia y rendición de cuentas para garantizar una gestión responsable de los recursos naturales.

Asimismo, al optimizar la captación de renta se pueden crear fondos específicos destinados a la inversión y el desarrollo de tecnologías clave para la nueva transición energética y la industria 4.0, como lo son las nanotecnologías. Dichas medidas podrían impulsar la investigación y la innovación en áreas estratégicas. Por otro lado, México podría implementar políticas específicas para fortalecer industrias clave como la automotriz, aprovechando su potencial para convertirse en un importante fabricante de

vehículos eléctricos. Esto podría implicar la implementación de incentivos fiscales y financieros para la inversión en la producción de vehículos eléctricos y su infraestructura de carga asociada. Al fortalecer la industria automotriz y promover la adopción de vehículos eléctricos a largo plazo, México podría impulsar un cambio estructural en beneficio de todas las regiones del país, creando empleo y promoviendo el desarrollo económico local y regional de manera sostenible.

Queda por estudiar con mayor profundidad los diversos factores que intervienen en los aspectos socioambientales, económicos y tecnológicos del aprovechamiento del litio y las nanotecnologías. El presente estudio se presenta como una aproximación al tema, por lo que se debe complementar con otros estudios que consideren factores adicionales para ofrecer una comprensión más completa y precisa del tema en cuestión.

Referencias

- AbdelHaimd, A., A., Mendoza-García, A. & Ying, J., Y. (2022). Advances in and prospects of nanomaterials' morphological control for lithium rechargeable batteries. *Nano Energy*, 31(1), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.106860>
- Aché, D. B. (2013). Teorías que explican la formación de desigualdades territoriales. *Revista Geográfica Venezolana*, 54(2), 179-194.
- Anselmi Baumgartner, A. & Martínez, A. (2023). "Design Thinking": la herramienta para innovar y acelerar nuevos negocios en el área de nanotecnología. *Revista Materiales Avanzados*, 1(39), 131-135.
- Anzaldo Montoya, M. & Tanaka, L.S. (2022). Presentación. Mundo Nano. *Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 15(28), 1-12. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.28.69712>
- Anzaldo, M. & Herrera-Basurto, R. (2015). Actores, visiones y perspectivas de la gobernanza de la regulación de las nanotecnologías en México. En Tinquen G. Foladori, A. Hasmy, N. Invernizzi & E. Záyago Lau (Coords.). *Nanotecnologías en América Latina: trabajo y regulación*. Universidad Autónoma de Zacatecas; Miguel Ángel Porrúa.
- Argento, M. (2018). Espejo de sal: estructuras de la acción colectiva e integración territorial del proyecto de extracción e industrialización del litio en Bolivia. *Estado & comunes, revista de políticas y problemas públicos*. 7(2), 227-248. https://revistas.iaen.edu.ec/index.php/estado_comunes/article/view/89/300
- Arnaldi, S. (2014). ¿Qué tan suave debería ser? Identidades sociales y opciones regulatorias en las opiniones de los stakeholders italianos. *Mundo Nano*, 7(13): 6-27. <https://www.mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/48704/62151>
- Arteaga Figueroa, E., Ortiz Espinoza, A. & Foladori, G. (2023). Empresas nanotecnológicas en México: frente a la necesidad de un inventario nacional. *Regiones y Desarrollo Sustentable*, 1(44), 1-24. <http://coltlax.edu.mx/openj/index.php/ReyDS/article/view/298>
- Averbuch, M & Attwood, J. (2023, 10 de noviembre). Ganfeng Lithium busca diálogo con gobierno de AMLO tras cancelación de concesiones de litio. *El financiero*. <https://www.elfinanciero.com.mx/bloomberg/2023/11/10/ganfeng-lithium-busca-dialogo-con-gobierno-de-amlo-tras-cancelacion-de-concesiones-de-litio/>
- Azamar Alonso, A. (2018). *Minería en América Latina y México: problemas y con secuencias*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Azamar Alonso, A. (2022a). El litio en México: verdades y mentiras. En A. Azamar Alonso & I. Téllez Ramírez (Coords.), *Minería en México: panorama social, ambiental y económico* (pp. 27-46). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); Universidad Autónoma Metropolitana.
- Azamar Alonso, A. (2022b). La supuesta abundancia del litio en México. En A. Azamar Alonso (Coord.), *Litio en América Latina: demanda global contra el daño social* (pp. 53-88). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat); Universidad Autónoma Metropolitana.
- Azoulay, D. (2015). Iniciativas de regulación para la gestión de los nanomateriales en la Unión Europea. En G. Foladori, A. Hasmy, N. Invernizzi & E. Záyago Lau (Coords.). *Nanotecnologías en América Latina: trabajo y regulación* (13-28). Universidad Autónoma de Zacatecas; Miguel Ángel Porrúa.
- Bakewell, P. (1990). La minería en la Hispanoamérica colonial. En L. Bethell (Ed.), *Historia de América Latina* (pp. 49-91; N. Escandell & M. Iniesta trads.; tomo 3). Editorial Crítica.

- Barberón, A. (2023). Geopolítica y transición energética en el triángulo del litio: un análisis entre Argentina, Bolivia y Chile. *Revista CEERI Global*, 2(3), 78-101. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/225409>
- Barbosa Ramírez, A. R. (2006). *La estructura económica de la Nueva España (1519-1810)* (12ª ed.). Siglo XXI editores.
- Barleta, E., Pérez, G. & Sánchez, R. (2020). *La revolución industrial 4.0 y el advenimiento de una logística 4.0*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/items/e2b2dd0e-b241-43ce-bd53-ec0987dfd436>
- Bartra, A. (2013). Crisis civilizatoria. En R. Orleans (Coord.), *Crisis civilizatoria y superación del capitalismo* (pp. 25-72). UNAM; Instituto de Investigaciones Económicas.
- Bernal Meza, R. (2016). Fundamentos del Estructuralismo Latinoamericano. Reflexiones para una contribución a la economía política internacional. *Revista de estudios sociales contemporáneos*, 1(14), 12-26. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/8559/02-meza-esc14-2016.pdf
- Boicea, V. A. (2014). Energy Storage Technologies: The Past and the Present. *Proceedings of the IEEE*, 102(11), 1777-1794. <https://doi.org/10.1109/jproc.2014.2359545>
- Boisier, S. (2001). Desarrollo (Local): ¿De qué estamos hablando?. En A. Vásquez y O. Madoery (comps.), *Transformaciones globales, instituciones y políticas de desarrollo local*. Homo Sapiens.
- Brading, D. A. (1993). *Mineros y comerciantes en el México borbónico (1763-1810)*. (R. Gómez Ciriza, Trad.) Fondo de Cultura de Económica. (Obra original publicada en 1975).
- Buendía Rice, E. A. (2013). El papel de la ventaja competitiva en el desarrollo económico de los países. *Análisis Económico*, 18(69), 55-78.
- Burnes Ortiz, A. (2018). *El drama de la minería mexicana: del pacto colonial a la globalización contemporánea* (2a ed.). Porrúa.
- Bustelo, P. (1998). *Teorías contemporáneas del desarrollo económico*. Síntesis.
- Cameán Martínez, I. (2016). Nanomateriales de carbono: aplicación en baterías de litio. *Grupo Español Carbón*, 1(41), 15-18. https://www.gecarbon.org/boletines/articulos/BoletinGEC_041_art5.pdf
- Carbajal, B. (2023, 14 de junio). Minera desarrolló la tecnología para extraer litio de arcilla. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/2023/06/14/economia/023n2eco>
- Carbajal, B. (2023, 25 de septiembre). Cancela el gobierno 9 concesiones de litio. *La jornada*. <https://www.jornada.com.mx/2023/09/25/economia/024n2eco>
- Cárdenas, E. (1995). Algunas cuestiones de la depresión mexicana del siglo XIX. En E. Cárdenas (comp.), *Historia Económica de México* (pp. 27-56). Fondo de Cultura Económica. (Obra original publicada en 1990).
- Cardoso, F. H. & Faletto, E. (1977). *Dependencia y desarrollo en América Latina*. Siglo XXI editores.
- Casado M. & Corcoy, M. (2010). Principios de precaución y gestión del riesgo en el contexto de la nanotecnología. En M. Casado (Coord.). *Bioética y nanotecnología* (pp. 127-148). Aranzadi
- Castañeda Naranjo, L. A. & Palacios Neri, J. (2014). Nanotecnología: fuente de nuevos paradigmas. *Mundo Nano*, 7(12), 49-65.
- Coll Hurtado, A., Sánchez Salazar, M. T., & Morales, J. (2002). *La minería en México*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO) (2020). *Oferta y demanda del litio hacia 2030*. <https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Produccion%20y%20consumo%20de%20litio%20hacia%20el%202030.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2023). *Extracción e industrialización del litio: oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe*.

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2019). Minería para un futuro bajo en carbono: oportunidades y desafíos para el desarrollo sostenible. *Seminarios y conferencias*, 1(90), 1-89.
- Comisión Europea (EC) (2022). *Recomendación de la Comisión de 10 de junio de 2022 relativa a la definición de nanomaterial*. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022H0614\(01\)#:~:text=\(9\)%20EI%20t%C3%A9rmino%20nanomaterial%20debe,constituyentes%20de%20agregados%20o%20aglomerados](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022H0614(01)#:~:text=(9)%20EI%20t%C3%A9rmino%20nanomaterial%20debe,constituyentes%20de%20agregados%20o%20aglomerados).
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (2002). DECRETO por el que se aprueba y se expide el programa denominado Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Diario Oficial de la Federación. <https://www.sicyt.gob.mx/index.php/normatividad/nacional/programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-peciti/2001-programa-especial-de-ciencia-y-tecnologia/621-programa-especial-de-ciencia-y-tecnologia-2001-2006/file>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (2008). Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2008-2012. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. <https://conahcyt.mx/cibiogem/images/cibiogem/normatividad/PECiTI.pdf>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (2014). Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. <https://www.sicyt.gob.mx/index.php/normatividad/nacional/programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-peciti/2014-programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion/623-peciti-2014-2018/file>
- Constitución de la Nación Argentina [Const]. Art. 124. 1994.
- Coraggio, J. L. (1972). Hacia una revisión de las teorías del desarrollo. *EURE, Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos y Regionales*, 2(4), 25-39. <https://www.eure.cl/index.php/eure/article/view/820>
- Crompton, T. R. (2000). *Battery Reference Book* (3ª ed.). Reed Educational and Professional Publishing Ltd.
- Cuadrado Roura, J. R. (1995). Planteamientos y teorías dominantes sobre el crecimiento regional en Europa en las cuatro últimas décadas. *EURE*, 21(63), 5-32. <https://eure.cl/index.php/eure/article/view/1135>
- Da Deng. (2015). Li-ion batteries: basics, progress and challenges. *Energy Science & Engineering*, 3(5), 385-418. doi:10.1002/ese3.95
- DECRETO por el que se crea el organismo público descentralizado denominado Litio para México, Secretaría de Gobernación; Estados Unidos Mexicanos; DOF 23/08/2022; [citado el 19 de mayo de 2024]; disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5662345&fecha=23/08/2022#gsc.tab=0
- DECRETO por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Minera, Secretaría de Economía; Estados Unidos Mexicanos; DOF 20/04/2022; [citado el 19 de mayo de 2024]; disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lmin/LMin_ref05_20abr22.pdf
- Del Barco Gamarra, R. (2012). El papel del litio en el desarrollo boliviano [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad de Estudios del Desarrollo]. <https://estudiosdeldesarrollo.mx/wp-content/uploads/2021/04/Roberto-Del-Barco-Gamarra.pdf>
- Del Barco Gamarra, R. & Foladori, G. (2011). Nanotecnología y litio, ¿una ventana de oportunidad para Bolivia?. En A. Martínez Martínez, A. García Garnica & P. López de Alba (Coords.), *Innovación, transferencia tecnológica y políticas. Retos y oportunidades* (pp. 311-334). Plaza y Valdés.

- Del Barco Gamarra, R., Fuentes, E., Vargas, D., Villca, R. & Zenteno, M. (2016). Nanotecnología y litio, su relevancia en la política de CTI de Bolivia. En G. Foladori, N. Invernizzi, & E. Záyago Lau (Coords.), *Investigación y mercado de nanotecnologías en América Latina* (pp. 11-41). Universidad de Zacatecas; Miguel Ángel Porrúa.
- Delgado Wise, R. & Del Pozo Mendoza, R. (2002). *Minería, Estado y gran capital en México*. Universidad Nacional Autónoma de México; Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades. 14(2), 185-195. DOI:[10.12783/dtetr/icpr2017/17675](https://doi.org/10.12783/dtetr/icpr2017/17675)
- Deschamps, F. & Rocha Loures, E. Proposal of fan automation solutions architecture for industry 4.0. *DEStech Transactions on Engineering and Technology Research*,
- Echazú Alvarado, L. A. (2015). Un proyecto 100% estatal. Industrializando Carbonato de Litio y Cloruro de Potasio con dignidad y soberanía. En F. Nacif & M. Lacabana (Coords.), *ABC del litio sudamericano: soberanía, ambiente, tecnología e industria* (pp. 303-339). Universidad Nacional de Quilmes.
- El economista, (2023, 15 de diciembre). Bolivia inaugura su primera planta industrial de carbonato de litio. <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Bolivia-inaugura-su-primera-planta-industrial-de-carbonato-de-litio-20231215-0066.html>
- El economista (2024, 17 de enero). Bolivia firma convenio con consorcio chino CBC para extraer litio. <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Bolivia-firma-convenio-con-consorcio-chino-CBCpara-extraerlitio-20240117-0088.html>
- Engelmann, W. (2015). Primeras tentativas de reglamentación de las nanotecnologías en Brasil. En G. Foladori, A. Hasmy, N. Invernizzi & E. Záyago Lau (Coords.), *Nanotecnologías en América Latina: trabajo y regulación* (pp. 45-60). Universidad Autónoma de Zacatecas; Miguel Ángel Porrúa.
- Etxabe, J., Maira, J. & Serna, P. A. (2012). La nanotecnología en el CSIC: transferencia y comercialización de patentes. *Mundo Nano*, 5(9), 31-56. <https://www.mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/45229/40755>
- Evolución del precio del carbonato de litio a nivel mundial entre 2010 y 2023(en dólares por tonelada métrica) (s.f.). Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/1448859/evolucion-del-precio-del-litio/>
- Fernández, J. D. (2017). La industria 4.0: una revisión de la literatura. En E. Serna (Ed.), *Desarrollo e innovación en ingeniería* (pp. 369-377, 2ª ed.). Instituto Antioqueño de Investigación.
- Foladori, G. (2022). Principio de precaución y análisis de riesgo regulatorio: dos fuerzas sociales encontradas y ejemplificadas en el caso de las nanotecnologías. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 14(26), 1-25. <https://doi.org/10.22430/21457778.2014>
- Foladori, G. (2024a). Avances en la regulación de las nanotecnologías. En G. Foladori & L. L. Villa Vázquez (Coords.), *Perspectivas sociales de las nanotecnologías en México* (pp. 42-49). Tirant Lo Blanch.
- Foladori, G. (2024b). Las nanotecnologías en México bajo la orientación neoliberal. En G. Foladori & L. L. Villa Vázquez (Coords.), *Perspectivas sociales de las nanotecnologías en México* (pp. 86-92). Tirant Lo Blanch
- Foladori, G. & Invernizzi, N. (2005). El despegue de las nanotecnologías. *Ciencia Ergo Sum*, 12(3), 321-327.
- Foladori, G. & Invernizzi, N. (2016). La regulación de las nanotecnologías: una mirada desde las diferencias EUA-UE. *Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia*, 4(2), 8-20. <https://doi.org/10.3395/2317-269x.00726>
- Foladori, G. & Záyago Lau, E. (2014). La regulación de las nanotecnologías en México. *Revista legislativa de estudios sociales y de opinión pública*, 7(14), 123-146. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5656166>

- Foladori, G. & Ortiz Espinoza, A. (2021). De las nanotecnologías a la industria 4.0: una evolución de términos. *Nómadas*, 1(55), 63-73. <https://dx.doi.org/10.30578/nomadas.n55a4>
- Foladori, G., Invernizzi, N., Appelbaum, R., Hasmy, A. & Záyago Lau, E. (2015). Trabajo, riesgos y regulación de las nanotecnologías en América Latina. En G. Foladori, A. Hasmy, N. Invernizzi & E. Záyago Lau (Coords.). *Nanotecnologías en América Latina: trabajo y regulación* (pp. 7-12). Universidad Autónoma de Zacatecas; Miguel Ángel Porrúa.
- Foladori, G., Záyago-Lau, E., Anzaldo Montoya, M. & Robles Belmont, E. (2024). Las políticas públicas sobre nanotecnologías en México en el contexto de la incidencia de instituciones y organismos internacionales. En G. Foladori & L. L. Villa Vázquez (Coords.), *Perspectivas sociales de las nanotecnologías en México* (pp. 67-85). Tirant Lo Blanch.
- Fornillo, B. (2017). Hacia una definición de transición energética para Sudamérica: Antropoceno, geopolítica y posdesarrollo. *Prácticas de oficio*, 2(20), 46-53. <https://static.ides.org.ar/archivo/www/2012/04/5-FORNILLO.pdf>
- Freytes, C., Obaya, M. & Delbuono, V. (2022). Federalismo y desarrollo de capacidades productivas y tecnológicas en torno al litio. *Fundar*. https://fund.ar/wp-content/uploads/2022/10/Fundar_Litio-y-Federalismo.pdf
- Furtado, C. (1985). *La economía latinoamericana. Formación histórica y problemas contemporáneos* (18ª ed.). (A. Gimpel Smith, & S. Mastrangelo Trads.). Siglo XXI. (Obra original publicada en 1969).
- Giddens, A. (2000). *Un mundo desbocado, los efectos de la globalización en nuestras vidas*. Editorial Taurus.
- Gobierno de Chile. (s.f). *Estrategia Nacional del Litio*. <https://www.gob.cl/chileavanzaconlitio/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20Estrategia%20Nacional,en%20armon%C3%ADa%20con%20las%20comunidades>.
- González Velasco, J. (2009). *Energías Renovables*. Reverté.
- Gunder Frank, A. (1967). *Capitalismo y subdesarrollo en América Latina* (2ª ed.). Siglo XXI editores.
- Gutiérrez Casas, L. E. (2006). Teorías del crecimiento regional y el desarrollo divergente. Propuesta de un marco de referencia. *Nósis. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 15(30), 185-227.
- Gutiérrez Garza, E. (2010). *De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable: construcción de un enfoque multidisciplinario*. Siglo XXI Editores.
- Guzmán López, F. (2016). *Megaminería y 7 maldades del despojo territorial*. Académica Española.
- Guzmán, A., Acatitla Romero, E. & Brown Grossman, F. (2018). Convergencia de innovación en el nuevo paradigma tecnológico de nanotecnología entre países. *Contaduría y Administración*, 1(63), 1-25. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2018.1338>
- Hausberger, B. (2015). La economía novohispana, 1519-1760. En S. Kuntz Ficker (Coord.), *Historia económica general de México: de la Colonia a nuestros días* (pp. 41-82). El Colegio de México; Secretaría de Economía (obra original publicada en 2010).
- Hermansen, T. (1974). *Polos y centros de desarrollo en el desarrollo regional y nacional: elementos de un marco teórico para un enfoque sintético*. EURE. Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales, 4(10), 55-96. <https://www.proquest.com/openview/af9c5d73f766e2f35ec49caaab72ed2a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1816810>

- Hilhorst, J. G.M. (1974). Teoría del desarrollo regional: un intento de síntesis. Sede de la CEPAL en Santiago (Estudios e Investigaciones) Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Ingaramo, E., Bianchi, E. & Vivenza, M. C. (2009). *Evolución de las teorías del desarrollo regional*. XXVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología. VIII Jornadas de Sociología de la Universidad de Buenos Aires. Asociación Latinoamericana de Sociología.
- International Energy Agency (IEA) (2021). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/reliable-supply-of-minerals>
- Jalife Rhame, A. (2022). Las batallas geopolíticas por el litio. En A. Jalife Rhame (Coord.). *El litio y su dimensión geopolítica. Implicaciones para México y el triángulo sudamericano Bolivia Argentina Chile* (pp. 17-46). Orfilia Valentini.
- Jiménez, D. & Saéz, M. (2022). *Agregación de valor en la producción de compuestos de litio en la región del triángulo del litio*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Jones, B., Acuña, F. & Rodríguez, V. (2021). *Cadena de valor del litio: análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos, Documentos de Proyectos* (LC/TS.2021/86), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Kazimierski, M. (2019). Transición energética, principios y retos: la necesidad de almacenar energía y el potencial de la batería ion-litio. En B. Fornillo (Coord.), *Litio en Sudamérica. Geopolítica, energía y territorios* (pp. 25-50). El colectivo.
- Kuntz Ficker, S. (2015). De las reformas liberales a la gran depresión, 1856-1929. En S. Kuntz Ficker (Coord.), *Historia económica general de México: de la Colonia a nuestros días* (pp. 305-352). El Colegio de México; Secretaría de Economía (Obra original publicada en 2010).
- Kuri Gaytán, A. (2003). Aspectos teóricos del desarrollo regional. *Economía Informa*, 1(321), 54-63.
- Lang, M. F. (1977). *El monopolio estatal del mercurio en el México colonial (1150-1710)*. (R. Gómez Ciriza, Trad.) Fondo de Cultura Económica.
- López Bárcenas, F. J. (2013). *La vida o el mineral. Los cuatro ciclos del despojo minero en México*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- López, J. (2020). Raúl Prébisch y el pensamiento estructuralista latinoamericano. *Problemas del desarrollo*, 51(202), 3-24.
- Marini, R., M. (1985). *Dialéctica de la dependencia* (7ª ed.). Serie Popular Era.
- Martín Cabello, A. (2014). Teorías sobre la globalización: una evaluación crítica. *OBETS. Revista De Ciencias Sociales*, 9(2), 333-359. <https://doi.org/10.14198/OBETS2014.9.2.04>
- Martínez Piva, L. (1998). Procesos acumulativos y desarrollo: de Myrdal a Porter. *Economía y Sociedad*, 1(8), 49-58.
- Marx, K. (2009). *El capital: el proceso global de la producción capitalista* (P. Scaron, Trad.; 11ª ed., Tomo III. Vol. 8). Siglo XXI. (Obra original publicada en 1894).
- Mesiel Roca, A. (2008). Albert O. Hirschman y los desequilibrios económicos regionales: de la economía a la política, pasando por la antropología y la historia. *Desarrollo y Sociedad*, 1(62), 203-226.
- Mining Technology (2019, 30 de agosto). Top ten biggest lithium mines in the world. <https://www.mining-technology.com/features/top-ten-biggest-lithium-mines/>
- Moledo Froján, F. J. & Orbezua Fernández, G. (2019). La nanotecnología en las energías renovables: análisis de aplicaciones desarrolladas, reducción de costes y derechos de

- propiedad industrial. *Técnica industrial*, 1(322), 32-39.
<https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/112/6710/a6710.pdf>
- Montenegro Bravo, J. C. (2018). El modelo de industrialización del litio en Bolivia. *Revista de ciencias sociales*, 10(34), 69-82.
https://ridaa.unq.edu.ar/bitstream/handle/20.500.11807/1736/5-RCS_n34_dossier_4.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Morales, R. (2023, 25 de septiembre). Cancelación de concesión a Ganfeng Lithium se dirimirá en tribunales nacionales. *El economista*.
<https://www.economista.com.mx/economia/Cancelacion-de-concesion-a-Ganfeng-Lithium-se-dirimira-en-tribunales-nacionales-20230925-0040.html>
- Muñiz Toledo, R. (2021, 30 de octubre). El debate sobre el litio. *Aristegui Noticias*.
<https://aristequinoticias.com/3010/opinion/el-debate-sobre-el-litio-articulo/>
- Nacif, F. (2012). Bolivia y el plan de industrialización del litio: un reclamo histórico. *La revista del CCC*, 14/15(1), 1-21.
<http://www.centrocultural.coop/revista/exportarpdf.php?id=322.%20ISSN%201851-3263>
- Nanotechnology in Batteries (Nano Battery). (s. f.).
<https://www.understandingnano.com/batteries.html>
- National Nanotechnology Coordination Office (NNCO) (s.f). *Nanotechnology, Big Things from a Tiny World*.
https://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/Nanotechnology_Big_Things_Brochure_web_0.pdf
- North, D. C. (1955). *La teoría de la localización y el crecimiento económico regional*. Sede de la CEPAL en Santiago (Estudios e Investigaciones). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Obaya, M. (2021). *Una mirada estratégica sobre el triángulo del litio. Pensar los recursos naturales como motor de la innovación*. Fundar. [\(PDF\) Una mirada estratégica sobre el triángulo del litio Pensar los recursos naturales como motor de la innovación \(researchgate.net\)](#)
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (1987). *Nuestro futuro común*.
<https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N87/184/70/PDF/N8718470.pdf?OpenElement>
- Oztemel, E. & Gursev, S. (2018). Literature review of Industry. *J Intell Manuf*, 1(31), 127–182 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>
- Paredes Barceló, R. G. & Aviles Quintanar, D. A: (2023). Litio y desarrollo: aspectos teóricos. *Indicales*, 1(6), 13-20. <https://indiciales.unison.mx/index.php/Indicial/article/view/54>
- Pastrana, H. F., Ávila, A. & Moreno, G. (2012). Nanotecnología, patentes y la situación en América Latina. *Mundo Nano*, 5(9), 57-67.
<https://www.mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/45231>
- Peralta Abarca, J. C., Martínez Bahena, B. & Enríquez Urbano, J. (2020). *Industria 4.0. Inventio*, 1(39), 1-7. <https://doi.org/10.30973/inventio/2020.16.39/4>

- Perroux, F. (1974). *Consideraciones en torno a la noción de polo de crecimiento*. Sede de la CEPAL en Santiago (Estudios e Investigaciones). Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Ponce del Castillo, A., M. (2010). *The EU approach to regulating nanotechnology*. ETUI. <https://www.etui.org/sites/default/files/Nano-working-paper.pdf>
- Porter, M. E. (1990). *The competitive advantage of nations*. The Free Press.
- Porter, M. E. (1994). *Ventaja competitiva: creación y sostenimiento de un desempeño superior*. (M., A., C. Pérez Sevilla, trad., 10 ed.). Compañía editorial continental (trabajo original publicado en 1987).
- Poveda Bonilla, R. (2020). Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile. *serie Recursos Naturales y Desarrollo*, 195(1), p. 41 <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45683-estudio-caso-la-gobernanza-litio-chile>
- Quintero, J. & Sánchez, J. (2006). La cadena de valor: Una herramienta del pensamiento estratégico. *Telos*, 8(3), 377-389. <https://www.redalyc.org/pdf/993/99318788001.pdf>
- Reyes, G., E. (2001). Teoría de la globalización: bases fundamentales. *Tendencias: Revista de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas*, 1(2), 43-53. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rtend/article/view/704/865>
- Reyes, G. E. (2009). Teorías del desarrollo económico y social: articulación con el planteamiento de desarrollo humano. *Tendencias*, 10(1), 117-142. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rtend/article/view/616>
- Ricardo, D. (1973). *Principios de economía política y tributación* (E. Hazera, Trad.). Editorial Ayuso. (Obra original publicada en 1817).
- Robles, R. & Foladori, G. (2024). Instrumentos de política pública para enfrentar los peligros e incertidumbres de las nanotecnologías. En G. Foladori & L. L. Villa (Coords.), *Perspectivas sociales de las nanotecnologías en México* (pp.50-66). Tirant Lo Blanch.
- Roco, M. C. (2005). International perspective on government nanotechnology funding in 2005. *Journal of Nanoparticle Research*, 1(7), 707-712. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11051-005-3141-5>
- Roncal Vattuone, X. & Villegas Moreno, A. (2023). México en la geopolítica del litio en la transición energética. *Conjeturas sociológicas*, 11(31), 149-167. <https://revistas.ues.edu.sv/index.php/conjsociologicas/article/view/2722>
- Rostow, W., W. (1961). *Las etapas del crecimiento económico*. Fondo de Cultura Económica.
- Rózga Luter, R. (1994). La polarización espacial en las teorías del desarrollo regional. *Gestión y política pública*, 3(1), 119-146.
- Ruiz Cedano, J. T. & Vázquez Ruiz, M. A. (2024). El litio en Sonora: hitos sobre el proyecto y perspectivas. *Indicales*, 1(7), 41-46. <https://indiciales.unison.mx/index.php/Indicial/article/view/65>
- Saldívar Tanaka, L. (2019). Regulando la nanotecnología. *Mundo Nano*, 12(22), 37-57. <http://dx.doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2019.22.63140>
- Salguero Cubides, J. (2006). *Enfoques sobre algunas teorías referentes al desarrollo regional*. Sociedad Geográfica de Colombia; Academia de Ciencias Geográficas. <http://www.economia.unam.mx/academia/inae/pdf/inae5/515.pdf>
- Sánchez Salinas, E. & Ortiz Hernández, M. (2021). Escenarios ambientales y sociales de la minería a cielo abierto. *Inventino*, 10(20), 27-34. <https://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/323>
- Sandoval Maturano, S. (1992). La minería en México: Siglo XVIII. En. F. J. Rodríguez Garza & L. Gutiérrez Herrera (Coords.), *Ilustración Española, Reformas Borbónicas y Liberalismo Temprano en México* (pp. 127-155). Universidad Autónoma Metropolitana.
- Sanin, M. E., Snyder, V., Walter, M. & Balza, L. (2023). *Del litio al vehículo eléctrico en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

- <https://publications.iadb.org/es/del-litio-al-vehiculo-electrico-en-america-latina-y-el-caribe>
- Sariego Rodríguez, J. L. (1992). Minería y territorio en México: Tres modelos históricos de implantación socioespacial. *Éría*, 1(29), 197–209. <https://doi.org/10.17811/er.0.1992.197-209>
- Secretaría de Economía (2020). *Perfil de mercado del litio*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/624816/15Perfil_Litio_2020_T.pdf
- Seoane, J. (2013). El agua vale más que el oro. Megaminería y movimientos sociales. En J. Seoane, E. Taddei & C. Algranati (Eds.), *Extractivismo, despojo y crisis climática* (pp. 131-156). El Colectivo.
- Sierra Praeli, Y. (2023, 25 de mayo). Bolivia: nuevos planes de gobierno para producción de litio despiertan incertidumbre ante falta de transparencia. Monogaby. <https://es.mongabay.com/2023/05/produccion-de-litio-incertidumbre-falta-de-transparencia-bolivia/>
- Sobrinho, J. (2002). Competitividad y ventajas competitivas: revisión teórica y ejercicio de aplicación a 30 ciudades de México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 17(2), 311-361. <http://www.jstor.org/stable/40315118>
- Stefanoni, P. (2007). Las tres fronteras de la “revolución” de Evo Morales. Nedesarrollismo, decisionismo, multiculturalismo. En M. Svampa & P. Stefanoni (Comps.), *Bolivia: memoria, insurgencia y movimientos sociales* (pp. 67-96). El Colectivo; Clacso.
- Sung Cho, D. & Chang Moon, H. (2002). *From Adam Smith to Michael Porter: evolution to competitiveness theory*. World Scientific Publishing. (Obra original publicada en 2000).
- Sztulwark, S. (2005). *El estructuralismo latinoamericano: fundamentos y transformaciones del pensamiento económico de la periferia*. Prometeo libros; Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Tamayo Flores, R. (1998). Crecimiento económico regional: una sinopsis de la teoría y su conexión explícita con las políticas públicas. *Gestión y Política Pública*, 7(1), 5-24. https://www.gestionypoliticapublica.cide.edu/ojs/cide/num_anteriores/Vol.VII_No.I_1er_sem/TFR_Vol.7_No.I_1sem.pdf
- Tetreault, D. (2013). La megaminería en México. Reformas estructurales y resistencia. *Letras Verdes: Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 1(14), 214-231. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.14.2013.1045>
- The Royal Society & The Royal Academy of Engineering (RSEng) (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. <https://royalsociety.org/media/policy/publications/2004/9693.pdf>
- U.S. Geological Survey (2023). *Data release for mineral commodity summaries 2023: U.S. Geological Survey data release*. <https://doi.org/10.5066/P9WCYUI6>
- Urquilla, A. (2019). Impacto de la nanotecnología como revolución industrial a nivel mundial. *Realidad y Reflexión*, 19(49), 66-78. <https://doi.org/10.5377/ryr.v49i49.8063>
- Valdez Rodríguez, M., Cabanillas de la Cruz, A. & Patiño Guarneros, X. V. (2023). Perspectivas de la extracción de litio en México y sus impactos socioambientales. *Producción agropecuaria y desarrollo sostenible*, 12(1), 83-96. <https://doi.org/10.5377/payds.v12i1.17418>
- Velasco Ávila, C., Flores Clair, E., Parra Campos A. L. & Gutiérrez López, E. O. (1988a). *Estado y Minería en México (1767-1910)*. Fondo de Cultura Económica.
- Velasco Ávila, C., Flores Clair, E., Parra Campos, A., & Gutiérrez López, E. O. (1988). Nuevo auge minero: el porfiriato. En I. Herrera Canales (coord.), *La minería mexicana, De la Colonia al siglo XX* (pp. 160-181). Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.

- Veltmeyer, H. (2021). *América Latina en la vorágine de la crisis: extractivismos y alternativas*. Editorial Universidad de Guadalajara: Centro María Sibylla Merian de Estudios Latinoamericanos Avanzados en Humanidades y Ciencias Sociales
- Vidal Correa, L. V. (2020). *Nanomedicina: aspectos regulatorios y socioeconómicos*. Universidad Autónoma de México; Instituto de investigaciones jurídicas.
- Vidal, L. (2015). El despertar del dragón: Tendencias globales en nanotecnología. *Ola Financiera*, 8(21), 78–93. <https://doi.org/10.22201/fe.18701442e.2015.21.50572>
- Von Mentz, B. (1998). Coyuntura minera y protesta campesina en el centro de Nueva España, siglo XVIII. En I, Herrera Canales (Coord.). *La minería mexicana. De la colonia al siglo XX* (pp. 23-45). Instituto Mora; El Colegio de Michoacán; El Colegio de México; Instituto de Investigaciones Históricas-UNAM.
- Von Mentz, B. (2015). La plata y la conformación de la economía novohispana. En S. Kuntz Ficker (Coord.). *Historia económica general de México: de la Colonia a nuestros días* (pp. 113-142). El Colegio de México; Secretaría de Economía (obra original publicada en 2010).
- Wences Aguirre, E. (2022). Investigación y análisis de la Reforma a la Ley Minera: el litio en México y su contexto histórico. En A. Jalife Rhame (Coord.). *El litio y su dimensión geopolítica. Implicaciones para México y el triángulo sudamericano Bolivia Argentina Chile* (pp. 93-128). Orfilia Valentini.
- Zarza Díaz, R. (2024). El litio y su cadena de valor. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 21(11), 48-60. <https://doi.org/10.29057/escs.v11i21.11695>
- Záyago-Lau E. & Foladori, G. (2010). La nanotecnología en México: un desarrollo incierto. *Economía, Sociedad y Territorio*, 10(32), 143-178. <https://www.scielo.org.mx/pdf/est/v10n32/v10n32a6.pdf>
- Záyago, E. & Foladori, G. (2012). La política de Ciencia y Tecnología en México y la incorporación de las nanotecnologías. En G. Foladori, N. Invernizzi, & E. Záyago Lau (Coords.), *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina* (pp.127-134). Universidad Autónoma de Zacatecas; Miguel Ángel Porrúa.
- Záyago Lau, E., Foladori, G., Villa Vázquez, L., Appelbaum, R. P. & Arteaga Figueroa, R. (2015). *Análisis Económico Sectorial de las Empresas de Nanotecnología en México*. Instituto de Estudios Latinoamericanos; Universidad de Alcalá. <http://ricaxcan.uaz.edu.mx/xmlui/handle/20.500.11845/285>
- Zícarí, J. (2015). El mercado del litio desde una perspectiva global: de la Argentina al mundo. Actores, lógica y dinámicas. En B. Fornillo (coord.), *Geopolítica del litio: Industria, Ciencia y Energía en Argentina* (pp. 19-56). El Colectivo.