

Universidad Andina Simón Bolívar

Sede Ecuador

Área de Gestión

Maestría en Cambio Climático y Negociación Ambiental

¿Camino a la sostenibilidad? Impactos socioambientales de la extracción de litio vinculados a la transición hacia la electromovilidad

Análisis del caso argentino

Eduardo Emanuel Fernández Valdiviezo

Tutor: William Sacher Freslon

Quito, 2021



Cláusula de cesión de derecho de publicación

Yo, Eduardo Emanuel Fernández Valdiviezo, autor de la tesis titulada: “¿Camino a la sostenibilidad? Impactos socioambientales de la extracción de litio vinculados a la transición hacia la electromovilidad. Análisis del caso argentino”, mediante el presente documento de constancia de que la obra es de mi exclusiva autoría y producción, que la he elaborado para cumplir con uno de los requisitos previos para la obtención del título de Magíster en Cambio Climático y Negociación Ambiental en la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.

1. Cedo a la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, durante 36 meses a partir de mi graduación, pudiendo por lo tanto la Universidad, utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en los formatos virtual, electrónico, digital, óptico, como usos en red local y en internet.
2. Declaro que en caso de presentarse cualquier reclamación de parte de terceros respecto de los derechos de autor/a de la obra antes referida, yo asumiré toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.
3. En esta fecha entrego a la Secretaría General, el ejemplar respectivo y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

Julio de 2021

Firma: _____

Resumen

El sector del transporte contribuye con alrededor del 14% del total de las emisiones de GEI, existen acuerdos globales y nacionales que han promovido el reemplazo masivo de los MCI por EVs. La transición hacia la electromovilidad, requiere de la extracción y el procesamiento masivo de una sumatoria de minerales, con posibles impactos socioambientales severos. La demanda de los metales asociados a estos minerales (litio, cobalto, níquel, manganeso, cobre, aluminio, etc.) ha incrementado significativamente en los últimos años y se espera que se siga intensificando esta tendencia. Uno de los metales claves es el litio, cuyas reservas más importantes se encuentran en Sudamérica dentro del llamado Triángulo del Litio. La extracción del litio potencialmente lleva a impactos sociales y ambientales severos y de gran magnitud. Este trabajo explora y describe algunos de estos impactos, en particular en términos de la afectación al agua y las emisiones de CO₂, se caracteriza a estos impactos a partir del estudio de caso de los salares argentinos, analizando datos que provienen de documentos pertinentes sobre la extracción del metal en América Latina. Se concluye que la industria del litio en Argentina genera impactos ambientales considerables al recurso hídrico, pues para la producción de una tonelada de carbonato de litio se requiere de 46.000 litros de agua fresca y se extraen 2.000.000 de litros de salmuera. En cuanto a las emisiones de CO₂, su valor estimado es de 3,14 ton CO₂/ton LCE, estas corresponden a las fases de producción y transporte de LCE y son menores en comparación a las generadas durante la fabricación de baterías de ion litio. En cuanto a los impactos sociales se concluye que se ha generado alta conflictividad social, en donde comunidades afectadas denuncian la falta de consulta y consentimiento libre, previo e informado, e irregularidades en los procesos de socialización. Para un análisis más completo de las consecuencias socioambientales de la transición a la electromovilidad -y más satisfactoriamente comparable con las del uso de combustibles fósiles-, la tesis concluye acerca de la necesidad de estudios futuros analizando a todos los elementos que están presentes en la fabricación de las baterías, donde se consideren todas las etapas a las que están sujetas las materias primas.

Palabras clave: electromovilidad, cambio climático, vehículos eléctricos, baterías de ion litio, salares, carbonato de litio, impactos ambientales y sociales, emisiones de CO₂

En memoria de mis abuelitos.

A mi amada, por su comprensión, paciencia y amor.

A mis padres por su apoyo incondicional en este proceso.

A mis hermanos por sus consejos y ánimos.

A mi tutor William por su guía, apoyo y sus buenas recomendaciones.

A mis amigos por escucharme y darme su tiempo.

Tabla de contenidos

Figuras	11
Tablas	13
Abreviaturas.....	15
Introducción.....	17
Capítulo primero La electromovilidad como vector de “transición energética”	23
1. Emisiones de CO ₂ del sector transporte: la electromovilidad como aliada de la transición energética.....	23
2. Electromovilidad: actores, recursos y proyecciones.....	26
2.1. Iniciativas nacionales de promoción de la electromovilidad en el mundo... 30	30
2.2. Electromovilidad: ¿hacia una intensificación del extractivismo minero?.... 33	33
Capítulo segundo La industria del Litio en el mundo y en Argentina.....	37
1. Situación actual de la industria del litio a nivel mundial.....	37
1.1. Mercado mundial del litio	40
1.2. Cadena de suministro de las baterías de litio	42
2. Industria del litio en Argentina: pasado, presente y proyecciones para el futuro 43	43
2.1. Proyecto de Litio de Olaroz: Sales de Jujuy	46
Capítulo tercero Emisiones de CO ₂ asociadas a la extracción y el transporte de litio ... 51	51
1. Metodología utilizada	52
2. Estimaciones de las emisiones directas e indirectas de CO ₂ correspondientes al proyecto Sales de Jujuy	55
2.1. Emisiones directas de CO ₂ generadas en el proyecto Sales de Jujuy.....	55
2.2. Emisiones indirectas generadas por el transporte de litio a los sitios de producción de baterías	56
2.3. Emisiones totales de CO ₂ para las fases de extracción, producción y transporte de LCE del proyecto Sales de Jujuy	59
3. Proyecciones de las emisiones de CO ₂ en base a la producción de LCE estimada en Argentina para el año 2022 y a las reservas de litio en el subsuelo argentino	60
4. Balance de CO ₂ por la introducción de los vehículos eléctricos (EVs) en el parque automotriz en el año 2019	61
4.1. Datos y cálculos requeridos para realizar el balance de CO ₂	62

4.2. Cálculo del balance de CO ₂ por el funcionamiento de los EVs introducidos en el año 2019.....	65
Capítulo cuarto Impactos socioambientales derivados de la extracción en los salares argentinos	69
1. Características naturales de la región del Salar de Olaroz.....	69
2. Caracterización de los impactos ambientales en los salares de Olaroz producidos por la industria del litio	72
2.1. Impacto sobre el agua.....	73
2.2. Impacto sobre el suelo.....	76
2.3. Impacto sobre el aire	77
2.4. Impacto al paisaje.....	77
2.5. Impacto a la flora y fauna.....	77
3. Impactos sociales en las comunidades por las actividades extractivas de litio: el caso de Huancar y Pastos Chicos	79
3.1. Marco ambiental e institucional alrededor de los proyectos de extracción de litio	80
3.2. Las comunidades afectadas de los salares de Olaroz y Cauchari.....	81
3.3. Problemáticas en los territorios por la extracción de litio.....	82
3.4. Relaciones desiguales en torno al “oro blanco”	83
Conclusiones.....	87
Lista de referencias	91

Figuras

Figura 1 Salares de Bolivia, Chile y Argentina que conforman el llamado Triángulo del Litio, 2019.	19
Figura 2 Emisiones antropogénicas globales de CO ₂ , 2014.	25
Figura 3 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por sector económico, 2021.	26
Figura 4 Materia prima usada en la elaboración de vehículos eléctricos con batería (BEVs), 2018.	34
Figura 5 Distribución de las reservas mundiales de litio según su fuente, 2021.	38
Figura 6 Salares de Bolivia, Chile y Argentina que conforman el llamado Triángulo del Litio, 2019.	39
Figura 7 Países con las mayores reservas de litio a nivel mundial, 2021.	39
Figura 8 Principales productores de litio a nivel mundial, 2021.	40
Figura 9 Comercialización de litio a nivel mundial en miles de dólares, 2019.	40
Figura 10 Evolución del precio de las baterías de ion litio en el periodo 2010-2017 en \$/kWh, 2019.	43
Figura 11 Mapa de los principales proyectos de litio en Argentina, 2019.	45
Figura 12 Proyecto Litífero de Olaroz, piletas de evaporación, 2020.	47
Figura 13 Actividades principales que se realizan en la Planta de Litio de Olaroz, 2020.	48
Figura 14 Fases por los que pasa el litio en el marco de la electromovilidad.	54
Figura 15 Paisaje del Salar de Olaroz, 2019.	71
Figura 16 Paisaje de la Reserva Provincial de Flora y Fauna Olaroz-Cauchari, 2020. ...	72
Figura 17 Avifauna de la Reserva Provincial de Flora y Fauna Olaroz-Cauchari, 2020.	72
Figura 18 Actividades del proceso de explotación de LCE junto con los impactos ambientales generados, 2021.	79
Figura 19 Diagrama de las afectaciones ambientales que se generan por las actividades litíferas, 2021.	79

Tablas

Tabla 1 Estudios comparativos sobre las emisiones de CO ₂ que se generan durante el funcionamiento de los EVs frente a los MCIs	27
Tabla 2 Medidas aplicadas para la electromovilidad en diferentes países del mundo ..	31
Tabla 3 Principales productoras de EVs (miles de unidades vendidas)	32
Tabla 4 Materiales que componen una batería de ion-litio NMC de 27 kWh.....	43
Tabla 5 Indicadores claves de desempeño ambiental del Proyecto Sales de Jujuy	55
Tabla 6 Cálculo de las emisiones indirectas de CO ₂ para el transporte de LCE desde el sitio de extracción de LCE hasta el lugar de fabricación de baterías de ion litio, según el medio de transporte	57
Tabla 7 Factores de emisión (ton CO ₂ /ton LCE) según el medio de transporte.....	58
Tabla 8 Emisiones s totales de CO ₂ correspondientes a la producción de LCE para el año 2019 en el proyecto “Sales de Jujuy”	59
Tabla 9 Emisiones s totales de CO ₂ en base a las proyecciones del MINEM y del Deutsche Bank para el año 2022	60
Tabla 10 Emisiones totales de CO ₂ en base a las reservas de litio probadas en el subsuelo argentino	61
Tabla 11 Parámetros utilizados para calcular el balance de las emisiones de CO ₂ por el funcionamiento del parque automotor mundial de los EVs	63
Tabla 12 Emisiones totales de CO ₂ para las fases de extracción, producción y transporte de LCE en base a la demanda del año 2019	64
Tabla 13 Emisiones totales de CO ₂ por la producción de baterías de ion litio NMC con una capacidad de 27 kWh, para el año 2019	64
Tabla 14 Emisiones totales de CO ₂ para las fases de extracción, procesamiento, transporte de LCE y la producción de baterías de ion litio, para el año 2019	65
Tabla 15 Balance de las emisiones de CO ₂ por la introducción de los EVs nuevos en el año 2019	65
Tabla 16 Características naturales de la región del Salar de Olaroz	70
Tabla 17 Consumo promedio de agua para la extracción de LCE	74
Tabla 18 Consumo promedio de agua para la producción de otros minerales y metales	75

Tabla 19 Consumo promedio de agua para productos no minerales 75

Abreviaturas

CO₂: dióxido de carbono

CO₂-eq: dióxido de carbono equivalente

CRMs: critical raw materials

EEA: Agencia Europea de Ambiente

EVs: vehículos eléctricos

GEI: gases de efecto invernadero

IEA: Agencia internacional de energía

IFEU: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

JEMSE: Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado

LCE: carbonato de litio

MCI: vehículos con motor de combustión interna

MINEM: Ministerio de Energía y Minería de Argentina

REEs: elementos de tierras raras

USGS: Servicio Geológico de Estados Unidos

Introducción

Las emisiones de CO₂, el principal gas de efecto invernadero (GEI) de origen antrópico, pasaron de 40 Gton de CO₂eq¹ a 49 Gton de CO₂eq en el periodo 2000-2010 (IPCC 2014, 6), pese a las políticas de mitigación y a los acuerdos climáticos existentes a nivel mundial. Las emisiones de CO₂ generadas por los combustibles fósiles y los procesos industriales han contribuido con alrededor del 78% de las emisiones antrópicas de GEIs durante el periodo 1970-2010 (IPCC 2014, 7).

El sector del transporte es uno de los grandes responsables de estas emisiones. Abarcaba aproximadamente el 14%² de las emisiones totales de gases de efecto invernadero a nivel mundial en el 2010, equivaliendo a 7 Gton³ de CO₂eq, un incremento del 250% en comparación con el nivel de 1970 (2,8 Gton de CO₂eq). Dentro de este porcentaje se encuentra más específicamente el transporte terrestre, responsable del 72% de las emisiones o 5 Gton de CO₂eq. Si la tendencia actual se mantiene, se prevé que para el año 2050 las emisiones del transporte alcancen la cifra de 12 Gton de CO₂eq (IPCC 2014, 603-06).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en su informe especial sobre “Calentamiento Global de 1,5 °C” señala que se necesitan “transiciones rápidas y de gran alcance en los sistemas energético, terrestre, urbano y de infraestructuras (incluido el transporte y los edificios), e industrial” (IPCC 2019, 15) y “que si no se aumenta de forma urgente la ambición en materia de mitigación en los próximos años para reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero de aquí a 2030, el calentamiento global superará los 1,5 °C en los próximos decenios” (IPCC 2019, v). Según el organismo onusiano, estaría en juego la pérdida irreversible de los ecosistemas más frágiles y afectaciones severas a las personas y sociedades más vulnerables (IPCC 2014, 8-13) (IPCC 2019, 10-1).

¹ Las emisiones de gases de efecto invernadero se contabilizan como emisiones de CO₂-eq (IPCC 2014, 5).

² Los datos publicados por el Banco Mundial arrojan un valor aproximado del 20% del total de las emisiones de CO₂ correspondientes al sector del transporte, <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.CO2.TRAN.ZS?end=2014&start=1960&view=chart>.

³ Gton es la abreviación de giga toneladas y equivale a mil millones de toneladas, expresado de otra forma serían 1.000.000.000 de toneladas.

Una de las medidas promovidas por “la Declaración de París sobre movilidad eléctrica y cambio climático”⁴ y por numerosas organizaciones e instituciones es la transición hacia la generalización del uso de vehículos y sistemas de transportes eléctricos, es decir hacia la electromovilidad. En los últimos años, se ha intensificado la producción y venta de los vehículos eléctricos (EVs), con el objetivo de reemplazar a los automóviles con motores de combustión interna (MCI), como una medida de mitigación al cambio climático dentro del sector del transporte (Creutzig et al. 2015, 911) (Fornillo 2015, 25-6) (Dorn 2015, 66-7). Para el año 2019 el número de EVs que circularon alrededor del mundo fue de aproximadamente 7,2 millones (47% de estos circulan en China), esto equivale al 1% del parque automotor mundial y la venta de EVs para este año fue de 2,1 millones, siguiendo esta tendencia se espera que para el año 2030 circulen a nivel mundial un total de 140 millones de EVs (IEA 2020,10-20).

¿Electromovilidad y transición energética: una nueva ola extractivista global?

La generalización a nivel global de la transición hacia la electromovilidad significa una intensificación de la extracción de materias primas. Para satisfacer la demanda creciente del mercado de los EVs, numerosos minerales son necesarios (EEA 2018, 14). La principal diferencia con los vehículos con MCI, radica en la fabricación de baterías, componentes electrónicos y el motor eléctrico. Los EVs necesitan metales como: el cobre, el aluminio, el hierro, el litio, los CRMs (critical raw materials)⁵ y los elementos de tierras raras (REEs) (EEA, 2018:14). Para la producción de un EV se emplean mayores cantidades de cobre, níquel, CRMs y REEs, estos materiales son usados principalmente en la fabricación de las baterías y en los motores de tracción (EEA 2018, 22).

Las baterías de ion litio son las más usadas para el almacenamiento de energía en los EVs, los metales principales que se utilizan para la producción de estas baterías son: níquel, cobalto, manganeso y el litio. La cantidad de materia prima requerida para la fabricación de los EVs vendidos durante el año 2019 equivalió aproximadamente a: 19.000 toneladas de cobalto, 17.000 ton de litio, 22.000 ton de manganeso y 65.000 ton de níquel. Estas cantidades incrementarían para el año 2030 donde los requerimientos

⁴ Publicado el 29 de noviembre de 2015 por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), <https://unfccc.int/media/521376/paris-electro-mobility-declaration.pdf>.

⁵ “Critical Raw Materials”: definidos como los materiales que tienen una alta importancia económica, pero cuyo suministro conlleva alto riesgo. Estos materiales junto a los elementos de tierras raras, requieren el uso intensivo de energía para los procesos de extracción y refinamiento

anuales aproximados serían de: 180.000 ton de Co, 185.000 ton de Li, 177.000 ton de Mn y 925.000 ton de Ni (IEA 2020,24).

Uno de los metales particularmente central en la transición hacia la electromovilidad es el litio. En consecuencia, el litio se ha convertido en una de las materias primas más codiciada de los últimos años. Su precio subió de 2.000\$/ton a 13.000\$/ton en el periodo 2000-2019. Las reservas conocidas en el año 2020 son 80 millones de toneladas métricas (USGS 2020, 99) y los yacimientos de este metal, como es el caso de muchos otros, están ubicados en sitio muy específicos del planeta. El 59 por ciento de los recursos de litio a nivel mundial, se encuentran en América del Sur en el denominado *Triángulo del Litio*, Argentina posee 17 millones de toneladas identificadas, Bolivia 21 millones de toneladas y Chile 9 millones de toneladas, (ver figura 1) (USGS 2020, 99).



Figura 1 Salares de Bolivia, Chile y Argentina que conforman el llamado Triángulo del Litio, 2019.

Imagen de Barandiarán.

Los estudios en torno a la incidencia del cambio del parque automotor mundial a través del reemplazo de vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos suelen considerar a las emisiones de CO₂ como el eje central de sus investigaciones, en este sentido se encuentra en la literatura muchos trabajos orientados a comparar las emisiones de CO₂ que se generan durante el ciclo de vida de los vehículos eléctricos frente a las

emisiones que emiten los vehículos de combustión interna, entre estos destacan Quiao et al. (2017), EEA⁶ (2018), Kukreja (2018), IFEU⁷ (2019), Kelly et al. (2020). Sin embargo, salvo muy escasas excepciones, pocos son los trabajos que han analizado los impactos ambientales y sociales asociados a la extracción de la materia prima que requiere lo que conviene llamar el metabolismo global de la electromovilidad, a pesar de que la exploración, explotación y procesamiento de minerales a gran escala se encuentran entre las actividades productivas más contaminantes y generadoras de severos impactos ambientales y sociales (Sacher 2019, 124-66). De esta manera, en este trabajo se realiza el esfuerzo de caracterizar los impactos que ya se pueden evidenciar en los sitios de extracción de litio. Trabajaremos a partir del caso argentino, ya que dentro de los países que conforman el Triángulo del litio es el que cuenta con la mayor cantidad de datos, la industria del litio en este país ha adquirido mucha importancia en las dos últimas décadas, en la actualidad poseen las segundas reservas mundiales más grandes de litio, son los segundos productores más grandes de carbonato de litio a nivel mundial cuentan con dos proyectos litíferos a escala industrial con inversiones de capital extranjero (Zicari et al. 2019, 190) (Barandiarán 2019, 382) (López, et al. 2019, 12-38), entender la industria del litio desde un país del sur global ayuda a manejar una perspectiva distinta de la que manejan los organismos internacionales encargados de la problemática del cambio climático.

Dados estos antecedentes, resulta pertinente preguntarse ¿qué gana el medio ambiente con el abandono de los vehículos de combustión interna y una transición hacia un parque automotriz eléctrico? Esta pregunta remite a los trabajos realizados por Dorn⁸ (2019) Fornillo⁹ (2019), Kalantzakos¹⁰ (2019), Barandiarán¹¹ (2018), Anlauf¹² (2017) Bertinat et al.¹³ (2014) quienes cuestionan el carácter *sustentable* de la transición energética, tal como en su versión dominante la promueven los sectores económicos y políticos. Se asocia a esta visión al llamado *capitalismo verde* y se critica el hecho de que

⁶ European Environment Agency.

⁷ Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg.

⁸ Dorn, Félix (2019). Electro-Movilidad y el Triángulo Del Litio (Argentina, Bolivia, Chile): Tendencias globales en el marco del cambio climático.

⁹ Fornillo, Bruno (2019). Triángulo del Litio: Un área de disputa estratégica entre potencias globales en nombre de la transición energética.

¹⁰ Kalantzakos, Sophia (2019). The Geopolitics of critical minerals.

¹¹ Barandiarán, Javier (2018). Lithium and development imaginaries in Chile, Argentina and Bolivia.

¹² Anlauf, Axel. (2017). Greening the imperial mode of living? Socio-ecological (in)justice, electromobility, and lithium mining in Argentina.

¹³ Bertinat, P., Chemes, J, y Arelovich, L. (2014). Aportes para pensar el cambio del sistema energético ¿Cambio de matriz o cambio de sistema?.

con esta acepción más convencional del concepto de sustentabilidad solo se le considera al cambio climático como problema ecológico.

Dialogando con esta perspectiva crítica, y estudiando desde este punto de vista la propuesta de transición hacia la electromovilidad, el presente trabajo propone analizar los impactos a los ecosistemas y las comunidades de los sitios aledaños de los sitios de extracción y procesamiento del litio, a partir del estudio de caso del litio de los salares argentinos. Por lo tanto y más concretamente, nuestro objetivo es *caracterizar los impactos ambientales y sociales que se generan por las actividades de extracción y procesamiento de litio en los salares argentinos*. Para cumplir con este objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Caracterizar el estado de situación de la electromovilidad y el rol que se le presta en la transición energética a nivel global;
2. Elaborar un estado de situación de la industria argentina de litio;
3. Estimar las emisiones de CO₂ asociadas a la extracción, procesamiento y transporte de litio, y ponderar su incidencia dentro de las emisiones de CO₂ que se generan por la puesta en marcha de los EVs;
4. Caracterizar una serie de otros impactos ambientales y sociales derivados de la industria del litio en Argentina, a partir del análisis de las actividades asociadas a su extracción y procesamiento.

Aspectos metodológicos

Esta tesis es de tipo descriptiva y se realizó a partir de una revisión bibliográfica extensa que trata la extracción del litio en América Latina. Estos estudios abarcan varias disciplinas de las ciencias sociales y naturales, así como el uso de la información oficial publicada por organismos internacionales relacionados con la electromovilidad. Se analizaron los datos difundidos en los informes y sitios webs de las empresas encargadas de la extracción del litio y para la estimación de las emisiones de CO₂ de las etapas de extracción, procesamiento y transporte, se utilizaron las cifras de producción de litio disponibles en la literatura, así como los datos de circulación de vehículos eléctricos. Para la descripción de los impactos ambientales y sociales generados en los sitios de extracción de litio, se utilizaron las publicaciones de los organismos estatales argentinos, agencias

intergubernamentales, reportes de las empresas litíferas e investigaciones académicas de organizaciones que cuentan con una mirada crítica sobre la explotación del litio.

Estructura de la tesis

La tesis está conformada por cuatro capítulos. En el *primero* se presenta a la electromovilidad y su papel protagónico en la transición energética. Dentro del capítulo *segundo* se elabora un estado de situación de la industria del litio en Argentina, se describen los proyectos de extracción de litio en Argentina y las actividades que se realizan en estos, a partir de la información disponible del proyecto *Sales de Jujuy* en el Salar de Olaroz. En el capítulo *tercero* se realiza una estimación de las emisiones de CO₂ que se derivan de las actividades litíferas durante las fases de extracción, procesamiento y transporte de carbonato de litio en los salares argentinos y se pondera cuál es el impacto que tienen estas emisiones de CO₂ en términos cuantitativos dentro del balance de CO₂, bajo el contexto de la electromovilidad, a partir de la información publicada por organismos internacionales. El *cuarto* capítulo está orientado a la caracterización de los impactos ambientales y sociales que se han documentado en Argentina por la industria del litio, a partir de la información disponible en la literatura. El estudio ofrece en el apartado de la conclusión, una serie de reflexiones sobre las consecuencias de la transición energética y lo que plantea en términos ambientales para las décadas que vienen.

Capítulo primero

La electromovilidad como vector de “transición energética”

En este capítulo se describen las generalidades alrededor de la electromovilidad y su rol dentro de la transición energética, si bien es cierto que las emisiones de CO₂ generadas por los vehículos eléctricos (EVS) es menor, la producción de baterías que alimentan a estos EVs demanda una cantidad importante de materias primas (Dorn 2019, 115) (EEA 2018, 14).

Este primer capítulo fue dividido en dos secciones, la sección *primera* aborda la problemática alrededor de las emisiones de CO₂ que se generan por el sector del transporte a escala mundial y cuáles han sido las respuestas y directrices que han adoptado organizaciones mundiales como el IPCC¹⁴ y la IEA¹⁵. En la *segunda* sección se describen los actores principales de la electromovilidad, las políticas que han adoptado los países alrededor del globo en torno al reemplazo de los vehículos con motores de combustión interna (MCI) por EVs, las empresas que dominan el mercado de los EVs y cuáles son los minerales y metales que tienen mayor relevancia para la fabricación y funcionamiento de los EVs. En la segunda sección, se detallan los resultados de investigaciones previas que cuantificaron las emisiones de CO₂ que generan los EVs y las compararon con las generadas por los MCI, estas investigaciones han sido orientadas casi en su totalidad a las emisiones de CO₂ que generan los EVs y los MCI.

1. Emisiones de CO₂ del sector transporte: la electromovilidad como aliada de la transición energética

La *producción* y el aprovechamiento de energía presenta uno de los aspectos más importantes de las actividades humanas. Desde el punto de vista de numerosos analistas académicos y políticos, e incluso desde la sociedad civil, la conversión a una sociedad que no dependa de los combustibles fósiles se ha convertido en una tarea de interés máximo y gran urgencia para mitigar el cambio climático. Para ello, se impulsa la denominada *transición energética*, que puede ser entendida como el cambio hacia un

¹⁴ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

¹⁵ Agencia Internacional de Energía.

sistema energético¹⁶ mundial que no dependa principalmente -como es el caso hasta la actualidad- de los combustibles fósiles y en el cual se construyan procesos más democráticos, equitativos y justos, en relación a la generación y el aprovechamiento de energía (Mediavilla et al. 2011) (Kofler y Netzer 2014) (Bertinat 2016). Según el informe especial del IPCC *Calentamiento Global de 1,5°C* para que “las trayectorias limiten el calentamiento global a 1,5 °C ... se necesitarían *transiciones* rápidas y de gran alcance en los sistemas energético, terrestre, urbano y de infraestructuras (incluido el transporte y los edificios), e industrial” (IPCC 2019:15).

La transición energética implica transformaciones en muchos ámbitos de la producción y la vida cotidiana de la población. Por ejemplo, en Holanda, el *Dutch: Hoofdlijnen Klimaatakkoord*¹⁷ plantea como objetivo central la reducción de las emisiones de GEI en un 49% para el año 2030 (comparados a los niveles de 1990), “el objetivo para el sector de la movilidad es no superar las emisiones de CO₂ en la cantidad de 25 Mt¹⁸ en 2030”, en este sector uno de los enfoques es el cambio de vehículos que usen combustibles fósiles por vehículos eléctricos (para pasajeros) y el objetivo del gobierno es que todos los vehículos nuevos sean libres de emisiones de CO₂ para el año 2030, esta transición involucra la participación activa de: los ciudadanos, las autoridades públicas, organismos gubernamentales, el sector académico y científico, así como la colaboración de los países vecinos. Dentro de este acuerdo se busca además que los esfuerzos de estimulación estén orientados a la demanda de la energía más que en la oferta, que los recursos naturales sean usados de forma sustentable y que los costos que se asuman para cumplir con la transición sean los más bajos posibles (Klimaatakkoord 2018, 24-5). La presente tesis está enfocada en el sector de la movilidad, y más específicamente en el de los vehículos livianos, un sector que estaría sometido a numerosos ajustes en el marco de la *transición energética*.

En la actualidad, las emisiones de CO₂ siguen aumentando pese a las políticas de mitigación del cambio climático vigentes a nivel global. Las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión de combustibles fósiles y los procesos industriales han contribuido con alrededor del 78% de las emisiones antrópicas de gases de efecto

¹⁶ “El sistema energético no se reduce a la producción-consumo de determinados volúmenes físicos de energía, sino que incluye las políticas públicas, los conflictos sectoriales, las alianzas geopolíticas, las estrategias empresariales, los desarrollos tecnológicos, la diversificación productiva, las demandas sectoriales, los oligopolios y oligopsonios, la relación entre energía y distribución de la riqueza, o la Relación entre energía y matriz productiva, las relaciones con la tecnología, etc.” (Bertinat 2016, 6).

¹⁷ Acuerdo Climático de Holanda.

¹⁸ Mega toneladas (1.000.000 toneladas).

invernadero (GEI) durante el periodo 1970-2010 (IPCC 2014, 5). A continuación, en la figura 2 se presenta la evolución de las emisiones antropogénicas globales de CO₂:

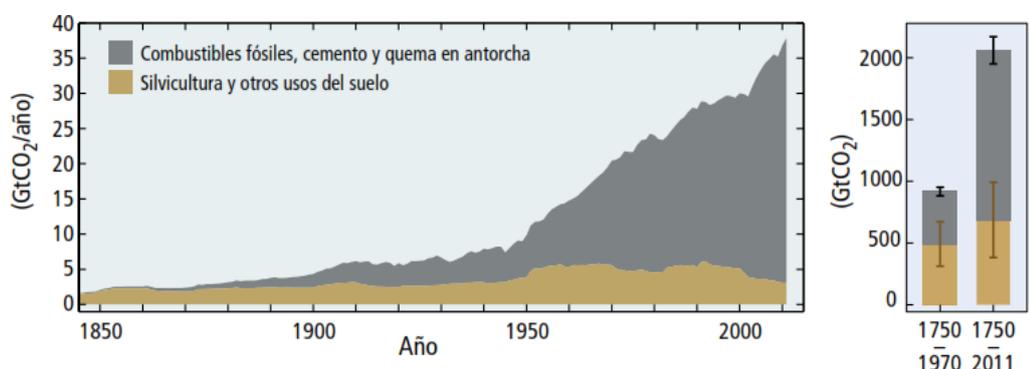


Figura 2 Emisiones antropogénicas globales de CO₂, 2014.
Imagen del IPCC

El sector transporte es el responsable de aproximadamente el 14% de las emisiones de GEI globales¹⁹ (ver figura 3). Durante el año 2010 este sector produjo 7 GtCO₂eq (esto supone un incremento del 250% comparado con las 2,8 GtCO₂eq registradas en el año 1970), además se prevé que estas emisiones alcanzarán la cifra de 12 GtCO₂eq anuales para el año 2050 si no se aplican políticas severas y sostenidas para el sector transporte (IPCC 2014, 603). Según los datos²⁰ del Banco Mundial y del portal web Datos Macro, a nivel mundial circulan alrededor de 1200 millones de vehículos. El sector transporte es responsable también de emisiones considerables de dióxido de nitrógeno, metano, monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, SO_x y material particulado que afectan a la salud y al ambiente, por lo que transitar a un transporte bajo en carbono no solo disminuiría las emisiones de CO₂ sino también mejoraría la calidad del aire de las urbes (Howey et al. 2010).

¹⁹ De este porcentaje, el 72% corresponde al transporte terrestre, es decir 5,0442 GtCO₂eq (IPCC 2014, 606).

²⁰ Los datos del Banco Mundial corresponden al año 2013 y los datos recopilados del portal web Datos Macro al año 2015. Estos datos fueron consultados el 03 de mayo de 2020.

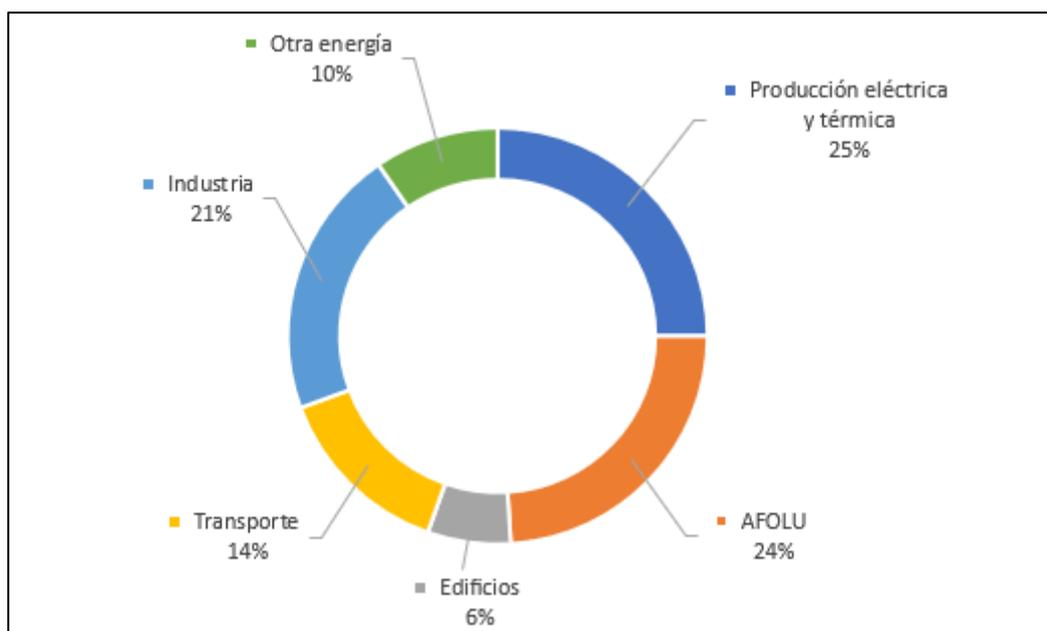


Figura 3 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por sector económico, 2021. Elaboración propia a partir de los datos publicados por Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Ante esta situación, desde numerosas voces, se ha planteado la necesidad urgente de implementar alternativas a los combustibles fósiles como fuente de energía. Entre las numerosas iniciativas asociadas a esta reducción, se encuentra el reemplazo de automóviles que utilizan combustibles fósiles por automóviles eléctricos como medida de mitigación al cambio climático dentro del sector del transporte (Creutzig et al. 2015, 911) (Fornillo 2015, 25-6) (Dorn 2015, 66-7).

2. Electromovilidad: actores, recursos y proyecciones

Un analista como Dulcich²¹ prevé que para el año 2040 los vehículos eléctricos (EVs) superen en número a los vehículos con motores de combustión interna (MCI), con un volumen de ventas globales de alrededor del 50% del total de vehículos livianos (Dulcich 2019). Sin embargo, según observadores, el ritmo de la transición es muy lento:

actualmente el parque automotor de vehículos eléctricos en el mundo es todavía muy pequeño en relación con los que usan un motor de explosión. En 2017 superaron la barrera de los dos millones, que supone tan solo el 0,2% del parque total de vehículos. Y aunque las ventas progresan, el ritmo actual no sería suficiente para alcanzar los objetivos fijados

²¹ Federico Dulcich es un economista e investigador argentino, especializado en tópicos relativos al desarrollo económico, ha publicado estudios sobre la situación actual de la cadena automotriz en Argentina y en MERCOSUR.

necesarios para reducir las emisiones de CO₂ y contener por debajo de dos grados centígrados la subida de temperatura por el efecto invernadero. (Soto 2018²²)

Al comparar los vehículos eléctricos frente a los de combustión interna desde el punto de vista de emisiones de CO₂, se piensa a priori que éstos son menos contaminantes, y se ha hecho común la idea que los vehículos eléctricos²³ emiten una cantidad menor de gases de efecto invernadero. Sin embargo, la pertinencia del reemplazo masivo de automóviles con motores de combustión interna por vehículos eléctricos²⁴ y su rol para la llamada *descarbonización* del sector del transporte, es un tema de debate (IFEU²⁵ 2019). En la tabla 1, se resumen los resultados obtenidos por varios autores a nivel mundial sobre esta cuestión²⁶. En todos estos estudios, el objetivo fue comparar las emisiones de CO₂ que emiten los EVs y los vehículos MCI.

Tabla 1
Estudios comparativos sobre las emisiones de CO₂ que se generan durante el funcionamiento de los EVs frente a los MCIs

Autor(es)	Año	Emisiones de CO ₂	Notas de los autores	Metodología empleada
Qiao et al. ²⁷ (China)	2017	Las emisiones de CO ₂ de la fase de producción de los EVs son un 60% más altas que las de un vehículo MCIs.	Esta diferencia se explicaría por la cantidad de emisiones de CO ₂ asociadas a la etapa de la producción de las baterías de ion litio ²⁸ .	Emplean el análisis de ciclo de vida (ACV) en un sistema de la cuna a la puerta, que incluye todos los procesos de la fase de producción, se incluye además el uso de combustibles que se utiliza durante la producción de EVs. Este estudio no incluye las fases de: distribución, uso y disposición final.

²² Soto, Juan. ¿Tenemos energía para tanto coche eléctrico?. 16 de noviembre de 2018. https://elpais.com/sociedad/2018/11/15/actualidad/1542301777_290729.html.

²³ Según Volkswagen “la huella de carbono que se produce durante todo el ciclo de vida de un vehículo eléctrico es un 17,6% inferior respecto a la de un modelo de combustión interna” (ABC, 2019).

²⁴ Según datos de la firma de analistas CRU se estima que para el año 2030 los vehículos eléctricos e híbridos ocupen el 30% del mercado global de vehículos.

²⁵ Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg.

²⁶ Estudios como: Battery Electric Vehicles vs. Internal Combustion Engine Vehicles: A United States based comprehensive assessment (2016), How good are electric cars? An environmental assessment of the electric car in Sweden from a life cycle perspective (2016).

²⁷ Comparative Study on Life Cycle CO₂ Emissions from the Production of Electric and Conventional Vehicles in China (2017).

²⁸ El impacto de producir una batería de ion litio varía entre 40 a 350 (kgCO₂/kWh de capacidad de la batería), siendo el promedio 110 (Messagie 2014).

Autor(es)	Año	Emisiones de CO ₂	Notas de los autores	Metodología empleada
EEA ^{29,30} (Unión Europea)	2018	Las emisiones de GEI para el ciclo de vida de un vehículo eléctrico usando la matriz energética europea promedio, es de 17-21% menos que las de un vehículo a diésel y de un 26-30% menos que los de un vehículo a gasolina	La extracción de la materia prima necesaria para la fabricación de vehículos eléctricos requiere grandes volúmenes de agua y energía, lo que hace que la fase de extracción de recursos minerales contribuya a la emisión de GEI ³¹ .	La investigación fue realizada desde el punto de vista del ACV, y se incluyeron las fases de: suministro de materia prima, producción de EVs, uso y fin de vida. Además, usaron estudios previos que fueron sintetizados en este reporte. Los impactos ambientales expuestos fueron agrupados en términos de: cambio climático, afectación a la salud y daños a los ecosistemas.
Kukreja ³² (Canadá)	2018	El EV tiene una emisión de CO ₂ más baja y un consumo energético menor por kilómetro frente al MCI. Los investigadores realizaron su investigación para un ciclo de vida de 150000 km (el MCI tuvo una tasa de emisión de 392.4 gCO ₂ eq/km y un consumo de energía de 4.2 MJ/km, versus los 203 gCO ₂ eq/km y los 2MJ/km del EV)	El enfoque del estudio fue estudiar los impactos ambientales (especialmente las emisiones de CO ₂ -eq y la energía usada) de dos vehículos de tamaño similar, uno corresponde a un EV y el otro a un MCI.	Los autores emplean el ACV donde consideraron las fases de: extracción de recursos, manufactura, transporte, operación y desmantelamiento. La unidad que usaron fue la del kilómetro recorrido (km).
IFEU ³³ (Alemania)	2019	En el escenario “business as usual” en el cuál no existe ningún cambio en la matriz	Los autores plantearon cinco escenarios donde midieron las emisiones de CO ₂ de los EVs y se compararon con los MCIs, en todos los	Los vehículos usados para el estudio incluyeron un EV con una batería de 35 kWh con un consumo de 16 kWh por 100 km de recorrido. El vehículo a

²⁹ European Environment Agency.

³⁰ Electric vehicles from life cycle and circular economy perspective. Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) (2018, 7-16).

³¹ GEI: gases de efecto invernadero.

³² Life Cycle Analysis of Electric Vehicles Quantifying the Impact (2018).

³³ Klimabilanz von Elektroautos Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial (2019).

Autor(es)	Año	Emisiones de CO ₂	Notas de los autores	Metodología empleada
		energética, el EV produce una cantidad 24% menor de CO ₂ y un 16% menor, si se compara con un vehículo a gasolina y diésel respectivamente.	escenarios las emisiones de los EVs fueron menores.	gasolina consumía 5.9 litros por 100 km y el vehículo a diésel 4.7 litros por 100 km. El total de recorrido del vehículo fue de 150000 km.

Fuente y elaboración propias

Los estudios comparativos expuestos en la tabla 1 demuestran el interés (a nivel global) por estudiar las emisiones de CO₂ que generan los EVs a lo largo de su ciclo de vida y la importancia de compararlos con los MCI. El factor común de los cuatro estudios es que analizan los impactos en base al análisis de ciclo de vida (ACV), aunque las metodologías y resultados difieren para cada estudio. Es importante señalar que los estudios provienen de tres continentes (América, Asia y Europa) y en todos ellos se concluyó que las emisiones de CO₂ generadas por los EVs son menores a la de los MCI, en base al estudio más reciente de la IFEU estas emisiones serían 16% menos si se comparan con vehículo a gasolina y un 24% menos si es un vehículo a diésel.

De esta forma podemos evidenciar que la fase extracción y producción de EVs es la de mayor impacto en términos de emisiones de CO₂ y GEI (pueden ser de 1,3 a 2 veces más altos si comparamos con las mismas fases para los MCI). Existen factores a tomar en cuenta al comparar los ciclos de vida de los EVs y los MCI, como: el tamaño del vehículo, el kilometraje de uso promedio, el mix energético donde es usado el EV, y el combustible (gasolina o diésel) que utiliza el vehículo con el que se va a comparar. Otros factores que influyen en la cantidad de emisiones de GEI son la cantidad de energía que se utiliza para la extracción de la materia prima y durante la fase de producción de las baterías, se debe tomar en cuenta el mix energético de los países que son los principales productores de baterías de ion-litio (China, Corea del Sur y Japón, tienen un uso de carbón intensivo dentro de su mix energético) (EEA 2018, 57-8).

Según el estudio publicado por Kelly et al. (2020) basado en el ACV de las baterías de ion-litio NMC (óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto), para estimar la variabilidad de los impactos generados (emisiones de GEI, consumo de energía y agua) por la fabricación de baterías NMC, se debe considerar el lugar de producción (Estados

Unidos, China, Japón, Corea del Sur y Europa) y su perfil energético. Los resultados indicaron que para la producción de una batería NMC de 27 kWh se generan 65 kg CO₂e/kWh si es producida en Europa y si su producción es de China se generan 100 kg CO₂e/kWh. Otro resultado de esta investigación arrojó que la generación de energía cien por ciento renovable para la producción de baterías, sería el escenario ideal en la que se lograría una reducción de emisiones de los GEI del 29%, esto al comparar con el mix energético de Estados Unidos el mismo que fue usado como línea base para este estudio (utilizaron el modelo Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation (GREET³⁴®), para determinar el efecto de los cambios de las condiciones de los sitios de producción).

2.1. Iniciativas nacionales de promoción de la electromovilidad en el mundo

Existen iniciativas regionales y nacionales orientadas a la disminución de los GEI mediante la difusión de la electromovilidad. Según el autor Federico Dulcich (2019) las políticas implementadas se pueden agrupar en:

- Regulaciones de economía de combustibles, orientadas a favorecer los vehículos híbridos;
- Regulaciones para la limitación de emisiones de gases contaminantes y de incentivos para la investigación y desarrollo (I+D);
- Impulsar el consumo privado de EVs, a través de incentivos monetarios que reduzcan la brecha que existe entre los precios de los vehículos eléctricos y los vehículos con motor de combustión interna;
- Regulaciones de compras públicas, orientadas al transporte público.

Hasta el año 2020, 17 países han anunciado la meta de vehículos cero emisiones o la eliminación de vehículos de combustión interna para el año 2050 (IEA, 2020:16). Entre los países que destacan en políticas de electromovilidad tenemos a: Estados Unidos, los países de la Unión Europea, Japón y China. El caso de China merece una especial atención, ya que cuentan con una política que plantea objetivos de producción de vehículos a partir de tecnologías no dependientes de los combustibles fósiles (entre ellos: vehículos

³⁴ GREET tiene una amplia cobertura de la producción de combustible, incluidos modelos para productos petrolíferos, gas natural, carbón, etc. (Kelly et al. 2020, 373).

eléctricos con batería (BEV), vehículos híbridos enchufables (PHEV), vehículos eléctricos de pila de combustible (FCEV)).

Además, China ha modificado los subsidios para para la compra de EVs, enfocándose en BEV con una autonomía mayor a 300 km, priorizando el subsidio en la densidad y eficiencia energética de los vehículos (Dulcich 2019). En este país la transformación podría ser mucho más importante, se espera una producción de 5 millones de vehículos eléctricos para el año 2020, lo que significaría un aumento de diez veces en comparación al año 2015 (Qiao et al. 2017, 3584). Objetivos similares existen en otros países, como los de la Unión Europea (EEA 2018, 6). En la tabla 2, se resumen las medidas que han aplicado ciertos países a nivel mundial:

Tabla 2
Medidas aplicadas para la electromovilidad en diferentes países del mundo

País	Medidas propuestas	Instituciones y actores involucrados
Brasil	<ul style="list-style-type: none"> No existe un programa específico para electromovilidad. Sin embargo, cuentan con un plan de desarrollo tecnológico energético llamado <i>Inova Energia</i>; Los vehículos eléctricos con batería (BEV) están exentos de aranceles de importación y los vehículos híbridos cuentan con una reducción arancelaria. 	Gobierno brasileño y sector privado
China	<ul style="list-style-type: none"> Política que impone objetivos de producción de vehículos basados en energía no proveniente de los combustibles fósiles; Créditos para la producción y/o importación de vehículos, dependiendo de la densidad y eficiencia energética. 	Gobierno chino y empresas privadas
India	Venta hasta el 2020 de 67 millones de vehículos eléctricos/híbridos. Además, declararon al litio como recurso estratégico.	Gobierno de la India
Estados Unidos	Inversión para I+D limitación de las emisiones de gases contaminantes orientado a la oferta. En este sentido destaca la empresa Tesla.	Empresas privadas y gobierno estadounidense
Japón	No existen programas de desarrollo de I+D específicos para vehículos eléctricos. Sin embargo, en Japón existe un financiamiento fuerte para el sector privado.	Gobierno japonés
Francia	<ul style="list-style-type: none"> Esquema “bonus-malus”, donde se incentiva la adquisición de vehículos de bajas emisiones de CO₂ y se realiza una carga impositiva a la venta de vehículos altas emisiones (igual o mayor a 120g CO₂). Incentivos en I+D de tecnologías para vehículos eléctricos. 	Gobierno francés y empresas privadas.

Fuente: Dulcich (2019) y Kazimierski (2018, 128)

Elaboración: propia

Por otro lado, tenemos a las principales empresas automotrices mundiales que están impulsando la fabricación de vehículos híbridos o BEVs, entre los que destacan las marcas alemanas como Volvo (que plantea vender más de un millón de EVs para el año 2025), BMW (estiman que las ventas de EVs para el año 2025 serán de alrededor del 15 al 25% del total de sus ventas) y Volkswagen (avizoran un volumen de ventas entre 2 a 3 millones de EVs anuales para el año 2025). La firma japonesa Toyota, planea vender 5,5 millones de EVs para el año 2030, mientras que su coterránea Honda prevé que para el año 2030 un 66% del volumen total de ventas corresponderá a EVs (Dulcich 2019).

A nivel mundial quien lidera las ventas de EVs es la firma Tesla con 245.000 unidades vendidas en el año 2018. En la tabla 3, se presentan las cantidades de unidades vendidas de EVs de las principales empresas alrededor del mundo:

Tabla 3
Principales productoras de EVs (miles de unidades vendidas)

N°	Empresa	País de origen	2018	2014	Ventas 2018/Ventas 2014
1	Tesla	Estados Unidos	246	32	7,8
2	BYD	China	227	18	12,4
3	BAIC	China	165	5	31,7
4	BMW	Alemania	129	18	7,3
5	Nissan	Japón	97	63	1,5
6	Roewe	China	93	s.d	s.d
7	Chery	China	66	9	7,7
8	Hyundai	Corea del Sur	53	s.d	s.d
9	Renault	Francia	53	18	2,9
10	Volkswagen	Alemania	52	10	5,3
11	Hawtai	China	52	s.d	s.d
12	Chevrolet	Estados Unidos	51	23	2,3
13	JAC	China	50	s.d	s.d
14	Geely	China	50	s.d	s.d
15	JMC	China	49	s.d	s.d
16	Toyota	Japón	46	21	2,2
17	Mitsubishi	Japón	43	37	1,2
18	Dongfeng	China	40	s.d	s.d
19	Kia	Corea del Sur	38	1	29,0
20	Volvo	Suecia	36	5	6,9

Fuente: Dulcich (2019).

Elaboración: propia

En la tabla 3, se puede apreciar que en el top 5 de las empresas que lideraron el número de EVs vendidos tenemos a dos empresas chinas, una estadounidense, una alemana y una japonesa. Además, China es el país que lidera con el mayor número de empresas que venden EVs a nivel mundial (con un total de 9 dentro de las 20 empresas

que mayor cantidad de EVs vendieron en 2018), esto es producto de las políticas de incentivo que el gobierno chino ha impulsado en el sector de la electromovilidad y que se mencionan en la tabla 2 del presente capítulo.

2.2. Electromovilidad: ¿hacia una intensificación del extractivismo minero?

Durante el año 2019 se registraron 2,1 millones de ventas de EVs a nivel mundial (número récord en la actualidad), se estima que el stock de EVs es de 7,2 millones (de los cuáles el 47% se encuentran en China, que también lidera los mercados de buses y vehículos de dos y tres ruedas eléctricas), esta cantidad representa el 1% del parque automotor global (IEA 2020,10). Para el año 2030 se espera que circulen alrededor de 245 millones de EVs bajo el “Escenario de Desarrollo Sostenible”³⁵ y 140 millones de EVs bajo el “Escenario de Políticas Estatales”³⁶ (IEA 2020, 10-20).

Por un lado, la introducción masiva de vehículos eléctricos incrementará la demanda de energía a nivel mundial y por otro reducirá la demanda de petróleo. Para el año 2019 la demanda eléctrica global para el funcionamiento de vehículos eléctricos fue de 80 TWh³⁷ y se espera que para el año 2030 este valor aumente hasta 550 TWh (en ambos casos se incluyen la carga de los vehículos eléctricos de dos y tres ruedas). En cuanto a la demanda de petróleo, esta se redujo en 0,6 millones de barriles de petróleo por día debido al uso de los EVs en el año 2019 y se espera un ahorro para el año 2030 de 2,5 millones de barriles de petróleo por día (IEA 2020, 22).

En el año 2019 la demanda de energía para el funcionamiento de los EVs significó una emisión de 51 Mt de CO₂-eq, lo que equivale aproximadamente a la mitad de las emisiones que se hubieran generado por la circulación de la misma cantidad de vehículos con motores de combustión interna, evitándose de esta manera la emisión a la atmósfera de 53 Mt de CO₂-eq (IEA, 2020:22).

Sin embargo, la producción de EVs requiere de un amplio rango de materias primas. La principal diferencia con los vehículos con MCI, radica en la fabricación de baterías, componentes electrónicos y el motor eléctrico. Los EVs necesitan metales como:

³⁵ Este escenario es compatible con las metas propuestas en el Acuerdo de París.

³⁶ Este escenario contempla las políticas de estado actuales con las que cuentan los gobiernos a nivel mundial

³⁷ Teravatio-hora: que equivalen a 10¹² vatios hora (Wh).

el cobre, el aluminio, el hierro, el litio, los CRMs³⁸ y los elementos de tierras raras (EEA, 2018:14). Para la producción de un EV se emplean mayores cantidades de cobre, níquel, CRMs y REEs³⁹, estos materiales son usados principalmente en la fabricación de las baterías y en los motores de tracción. Otras partes del cuerpo y los sistemas auxiliares no difieren entre los EVs y los MCIs, por ello los fabricantes suelen adaptar los cuerpos de los MCI para ahorrar tiempo y costos al momento de la producción de EVs (EEA, 2018:22). En la figura 4 se presentan los elementos principales que son utilizados para la fabricación de EVs:

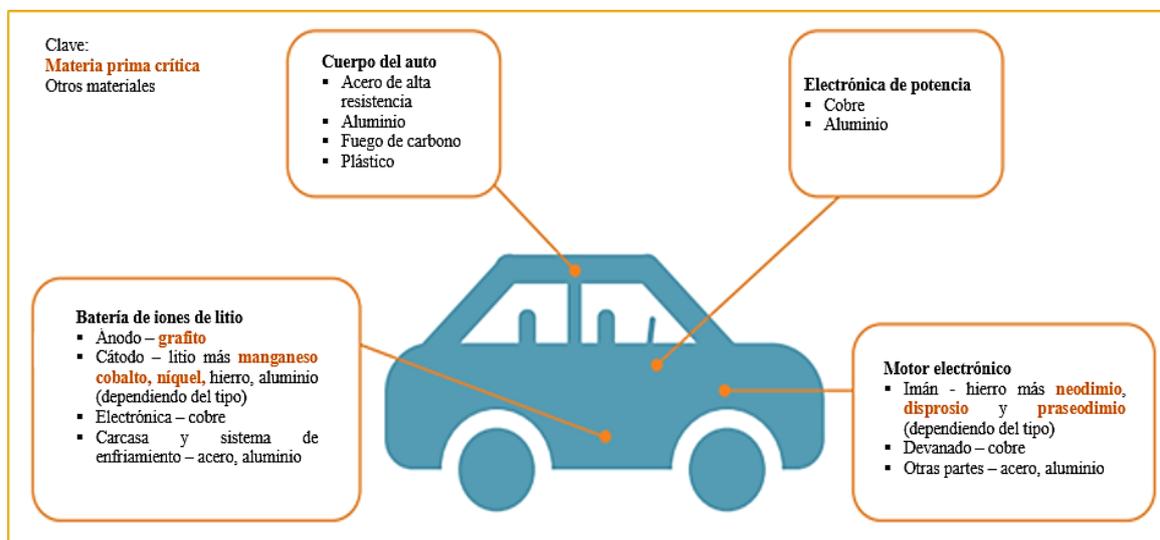


Figura 4 Materia prima usada en la elaboración de vehículos eléctricos con batería (BEVs), 2018. Imagen de la EEA, traducción propia.

La cantidad de materia prima requerida para la fabricación de los EVs vendidos durante el año 2019 equivalió aproximadamente a: 19.000 toneladas de cobalto, 17.000 ton de litio, 22.000 ton de manganeso y 65.000 ton de níquel. Estas cantidades incrementarían para el año 2030 donde los requerimientos anuales aproximados serían de: 180.000 ton de Co, 185.000 ton de Li⁴⁰, 177.000 ton de Mn y 925.000 ton de Ni (IEA 2020, 24). Estos metales fueron considerados por su importancia en la producción de baterías de ion litio.

³⁸ “Critical Raw Materials”: definidos como los materiales que tienen una alta importancia económica, pero cuyo suministro conlleva alto riesgo. Estos materiales junto a los elementos de tierras raras, requieren el uso intensivo de energía para los procesos de extracción y refinamiento

³⁹ Elementos de las tierras raras

⁴⁰ La EEA en su reporte “Raw Materials for Battery Applications” del 2018, expone que la demanda de litio para la elaboración de las baterías de los EVs para el año 2025 será de aproximadamente 200.000 ton de litio.

Los países que destacan en la aportación de recursos naturales estratégicos para la fabricación de EVs son: *China* y *Brasil* por los metales de tierras raras y, *Argentina*, *Australia* y *Chile* como productores de litio (Dulcich 2019). Para el caso de los minerales que se utilizan en las baterías ion-litio NMC tenemos que los principales productores son: *República Democrática del Congo* para el caso del cobalto, *Indonesia* para el níquel y *Sudáfrica* para el manganeso (los datos usados corresponden a los publicados por la USGS en sus hojas resumen para cada uno de estos minerales) (USGS 2020).

Conclusiones

La electromovilidad se ha erigido como una de las alternativas actuales de mayor relevancia para la mitigación del cambio climático, la transición hacia un parque automotor con mayor número de vehículos eléctricos busca disminuir la cantidad de emisiones de CO₂ que provienen del sector del transporte terrestre. Diversos organismos internacionales han demostrado su respaldo a las medidas y políticas que han adoptado distintos países a nivel mundial. Sin embargo, en la actualidad son 17 los países que se han adelantado en la *carrera* hacia la electromovilidad, los principales actores involucrados responden a países del *norte global* como es el caso de: Estados Unidos, Inglaterra, Francia, Alemania, Japón, Corea del Sur y China.

Los principales países productores de vehículos eléctricos son China, Estados Unidos y Alemania, entre ellos acapararon el 75% aproximadamente del mercado mundial de los EVs en el año 2018, siendo China el principal productor de EVs a escala global. El dominio de estos países se ve reflejado también en las investigaciones y publicaciones que se realizan alrededor del sector de la electromovilidad.

Las investigaciones arrojaron resultados menores para el caso de las emisiones de CO₂ que se generan por la fabricación y uso de los EVs al compararse con las emisiones de los vehículos que utilizan motores de combustión interna, las emisiones son 16% menores si se trata de un vehículo con motor a gasolina y un 24% en caso de un vehículo que usa diésel. Sin embargo, existen consideraciones importantes a tomar en cuenta al comparar los ciclos de vida de los EVs y los MCIs, como: el tamaño del vehículo, el kilometraje de uso promedio, el mix energético donde es usado el EV, y el combustible (gasolina o diésel) que utiliza el MCI investigado.

Es importante señalar que no se puede medir únicamente la eficacia de los EVs a partir de un balance de emisiones de CO₂, ya que para la fabricación de estos vehículos

es necesario extraer una cantidad importante de metales, en el año 2019 equivalieron aproximadamente a: 19.000 toneladas de cobalto, 17.000 ton de litio, 22.000 ton de manganeso y 65.000 ton de níquel. La extracción de estos metales generará una gran cantidad de impactos ambientales y sociales a los cuáles van a estar sujetos los territorios de donde son extraídos y se encuentran dentro de países del *sur global* como: la República Democrática del Congo para el caso del cobalto, Indonesia para el níquel, Sudáfrica para el manganeso y los países del *Triángulo del Litio* en Sudamérica para el caso del *litio* (Argentina, Bolivia y Chile). Este último metal es el objeto principal de nuestro estudio y el tema central del capítulo 2.

Capítulo segundo

La industria del Litio en el mundo y en Argentina

El litio es uno de los metales claves para la industria de la electromovilidad debido a su uso en la fabricación de baterías que son las encargadas de dotar de energía a los vehículos eléctricos (EVs) (USGS 2020, 98). En este sentido son las baterías de ion litio las que predominan en el mercado mundial de los EVs.

En este capítulo se describe la situación actual de la industria del litio, con un enfoque que va desde lo global a lo local. El capítulo está dividido en dos secciones, en la *primera* se realiza el análisis situacional de la industria litífera a nivel mundial, incluyendo a los principales actores alrededor de este recurso, se incluyen los valores de las reservas, datos de producción de litio, modos de extracción, además se identifican a los países que dominan el mercado global de las baterías de ion litio.

En la sección *segunda* se aterriza a la industria del litio en Argentina, haciendo un repaso de su historia, así como de sus proyecciones de producción y los sitios de exploración y explotación actuales. Al final de esta sección se detallan las principales características del proyecto *Sales de Jujuy*, que permiten describir las actividades que se realizan durante la producción de carbonato de litio, así como los costos de inversión y producción, se escogió a este proyecto en particular por el acceso de la información requerida.

1. Situación actual de la industria del litio a nivel mundial

El litio tiene múltiples usos a nivel industrial (fabricación de cerámicas y vidrios, en la elaboración de grasas y lubricantes, en sistemas de tratamiento de aire, etc.) (USGS 2017, K2). Sin embargo, el aplicativo de mayor interés es como materia prima para la elaboración baterías de ion litio (la demanda se ha cuadruplicado del 2008 al 2016) (López et al. 2019, 51). Aproximadamente el 65% de la producción global de litio está destinada a la fabricación de baterías (USGS 2020, 98), en gran medida por su utilización dentro de los vehículos híbridos y eléctricos, los mismos que están reemplazando de forma progresiva a los vehículos de combustión interna. En la actualidad las baterías de ion litio son las que tiene mayor eficiencia y menores costos de producción y se prevé un

incremento en los niveles de consumo globales de litio durante las próximas décadas (USGS 2017, K2).

El litio es extraído principalmente de salmueras⁴¹ (cuencas sedimentarias áridas) y de minerales de pegmatita graníticas (USGS 2017, K1) (ver figura 5), las reservas mundiales de litio estimadas a enero de 2020 alcanzan los 80 millones de toneladas métricas (USGS 2020, 99), suficientes para satisfacer las demandas proyectadas hasta el año 2100 (USGS 2017, K1).

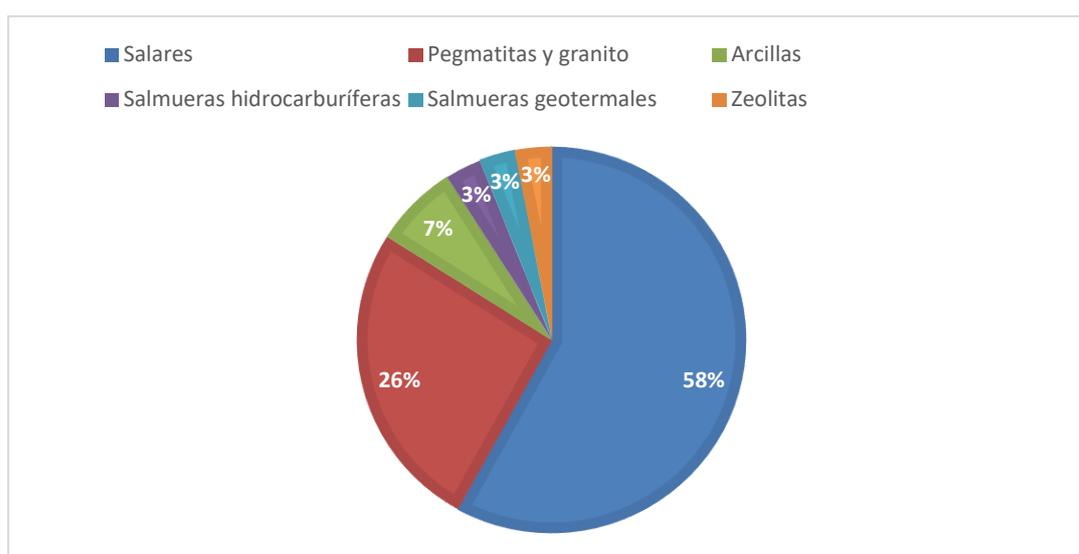


Figura 5 Distribución de las reservas mundiales de litio según su fuente, 2021. Elaboración propia a partir de los datos Ministerio de Energía y Minería de Argentina.

Alrededor del 59 por ciento de los recursos de litio nivel mundial, se encuentran en América del Sur en el denominado “Triángulo del Litio” (ver figura 6) (Argentina posee 17 millones de toneladas identificadas, Bolivia 21 millones de toneladas y Chile 9 millones de toneladas) (USGS 2020, 99), los países que completan el top 10 con las mayores reservas de litio en millones de toneladas son: Estados Unidos con 6,8, Australia con 6,3, China con 4,5, República Democrática del Congo con 3, Alemania con 2,5 y; Canadá y México con 1,7 cada uno (ver figura 7) (USGS 2020, 99). En la actualidad, Chile es el primer productor mundial de litio proveniente de salmueras y Australia lo es para el caso de litio presente en pegmatitas (USGS 2017, K1).

⁴¹ Depósitos naturales que tienen concentrado de litio que se ha disuelto en las aguas subterráneas de algunos salares (de la Hoz et al. 2013, 58).



Figura 6 Salares de Bolivia, Chile y Argentina que conforman el llamado Triángulo del Litio, 2019.

Imagen de Barandiarán.

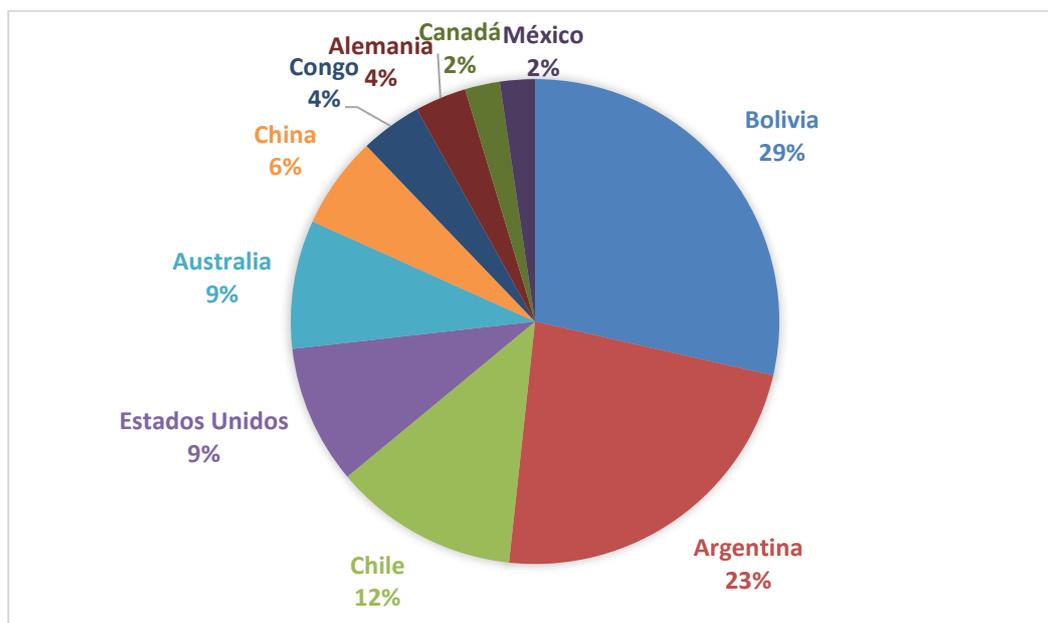


Figura 7 Países con las mayores reservas de litio a nivel mundial, 2021. Elaboración propia a partir de los datos de la USGS.

En cuanto a la producción de litio a nivel mundial, durante el año 2019 se produjeron alrededor de 77.200 toneladas métricas de litio. Australia es el principal productor mundial de litio con una cantidad aproximada de 42.000 ton, seguido de Chile con 18.000 ton, China produjo aproximadamente 7.500 ton y Argentina 6.400 ton (USGS 2020,

99). A continuación, en la figura 8 se presenta a los principales productores de litio a nivel mundial:

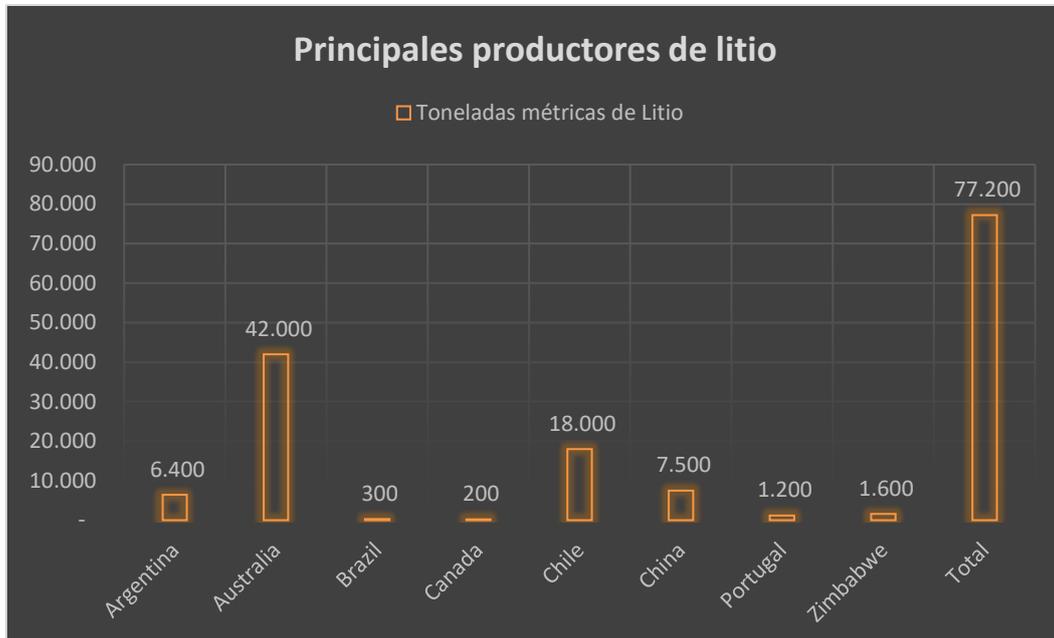


Figura 8 Principales productores de litio a nivel mundial, 2021. Elaboración propia a partir de los datos de la USGS.

1.1. Mercado mundial del litio

El mercado del litio ha tenido una tendencia alcista durante el periodo 2001-2017, durante estos años la comercialización de carbonato, hidróxido y óxido de litio se ha multiplicado por 14, siendo el periodo 2015-2017 el de mayor crecimiento (con crecimientos anuales del 45%, ver figura 9) (Zicari et al. 2019, 189).

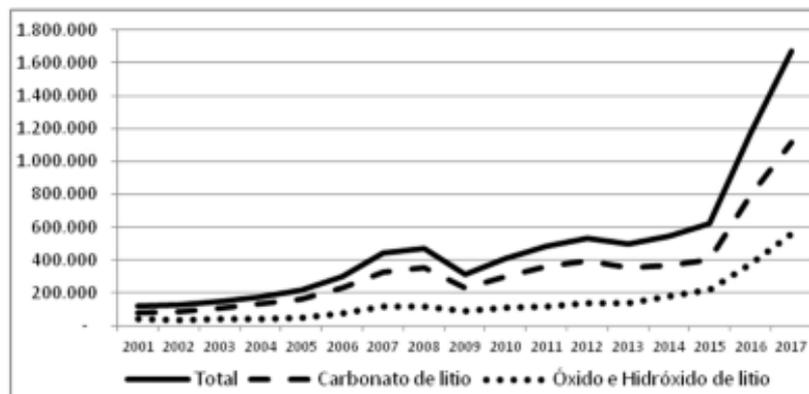


Figura 9 Comercialización de litio a nivel mundial en miles de dólares, 2019. Imagen de Zicari et al.

El carbonato de litio es uno de los insumos de mayor demanda dentro de las baterías de ion litio, en el periodo 2001-2017 Chile fue el país que tuvo la mayor cuota de exportación de carbonato de litio con un valor que osciló entre el 50% y el 65% según el año. Por otro lado, Argentina incrementó sus exportaciones del 1,18% al 19,54% en el periodo 2002-2016 (convirtiéndose de esta forma en el segundo exportador mundial de carbonato de litio), el caso opuesto es el de Estados Unidos que pasó del 13% al 2% en el periodo 2001-2017. Por último, el caso de Bolivia es especial en cuanto a su potencial en términos de reservas de litio (como podemos observar en la figura 8), si bien es cierto en la actualidad sus exportaciones son marginales, según datos del gobierno de este país proyectan unas exportaciones de alrededor de 15.000 toneladas anuales de litio (Zicari et al. 2019, 190). Es importante mencionar que existen cuatro corporaciones a nivel mundial que dominan las exportaciones del litio: SQM, Rockwood/Albermarle, FMC y Talison, aunque esta dinámica puede variar por el auge de los volúmenes de exportación de litio para satisfacer la demanda global (Zicari et al. 2019, 191).

Del otro lado, encontramos a los países que demandan mayores cantidades de litio y que pertenecen en su totalidad a naciones del norte global. Esto no significa que otros países no importen este recurso, sino que el requerimiento de este es despreciable. Las variaciones de los países que importaron carbonato de litio⁴², pasaron de manos de países occidentales a inicios del siglo 21 (Estados Unidos y Alemania) a países orientales (China y Corea del Sur). Para el “año 2026 se proyecta que el 70% del consumo tendrá como destino a las baterías, un 15% a vidrios y cerámicos, y el 15% restante a otros destinos” (Zicari et al. 2019, 192).

El mercado de las baterías de litio también ha evolucionado durante este siglo, Japón ocupaba en 2001 el 30% de las exportaciones seguido de Estados Unidos con un 15%, este año China tenía un puesto marginal y representaba el 1.46% de las exportaciones mundiales. Para el año 2016 China ocupó el primer puesto con una cuota del mercado del 14,53%, seguido de Estados Unidos con el 13,86%, Singapur con el 11,92% y de Hong Kong con el 9,53%. Vemos como los países del sudeste asiático dominan el mercado del litio, siendo la zona de mayor consumo de litio, pero además siendo los principales exportadores de bienes industriales y tecnológicos alrededor de este recurso a nivel

⁴² En esta investigación haré hincapié en el carbonato de litio al ser este el recurso principal encontrado en los salares argentinos.

mundial, desplazando así a los países occidentales que predominaban a inicios de siglo XXI.

Según el informe de 2018 de la firma consultora Roskill, la demanda global de litio aumentará en un 20% anual y la demanda de las baterías de litio se incrementará en un 25% anual durante la década del 2020-2030. Esta demanda trae consigo la consolidación de relaciones comerciales y ecológicamente desiguales entre los países del norte y del sur, convirtiendo a la región sudamericana como proveedora de materia prima para que los países del “norte global” puedan cumplir con sus metas propuestas en sus acuerdos climáticos. En el capítulo 4 se describirán los problemas ambientales que conlleva la extracción a gran escala de carbonato de litio en los salares argentinos (debido a la relevancia y por el gran número de investigaciones que se han publicado alrededor de las emisiones de CO₂ asociadas a los EVs, se ha separado a este impacto ambiental y se incluye dentro del capítulo 3).

1.2. Cadena de suministro de las baterías de litio

Según la USGS, una batería de ion litio contiene aproximadamente entre 1,4 kg a 3 kg de equivalente de litio (es decir 7,5 a 16,0 kg de carbonato de litio) (USGS 2012, 1). El costo de las baterías de ion litio ha disminuido en alrededor del 80% en el periodo 2010-2017, pasando de 1.000\$ a 209\$ por kilovatio hora (ver figura 10). El uso con mayor proyección de crecimiento es el de baterías recargables, en particular para el sector de transporte. En ciertos países, como por ejemplo los de la Unión Europea y China la transformación podría ser mucho más importante; para el caso de China, se espera una producción de 5 millones de vehículos eléctricos para el año 2020, lo que significaría un aumento de diez veces en comparación al año 2015 (Qiao et al. 2017, 3584).



Figura 10 Evolución del precio de las baterías de ion litio en el periodo 2010-2017 en \$/kWh, 2019.

Imagen de Bloomberg New Energy Finance, Lithium-ion Battery Price Survey.

Durante la década 2020-2030 las baterías de ion-litio seguirán dominando el mercado, donde destaca la batería ion litio NMC (óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto). Para el año 2030 se espera que las tecnologías de las baterías de ion-litio mejoren y puedan mejorar sus costos, densidades, ciclo de vida (se esperan baterías de: litio metal en estado sólido, litio-sulfuro, ion-sodio) (IEA⁴³ 2020, 25).

Las baterías de ion litio requieren para su manufactura de otros materiales como: cobalto, manganeso, níquel y grafito, la demanda de estos materiales al igual que la del litio se incrementará en los próximos años (DOE⁴⁴ 2019, 3). Las baterías de litio pueden ser agrupadas en tres grupos según su empaque: celda de bolsa, celda cilíndrica y celdas prismáticas (USGS 2012, 8).

A continuación, en la tabla 4 se presentan la composición de materiales para una batería de ion-litio NMC de 27 kWh, de acuerdo con la información del Argonne National Laboratory (2018).

Tabla 4
Materiales que componen una batería de ion-litio NMC de 27 kWh

Material	Masa (kg por batería)
Material activo	47,49
Grafito/carbón	29,71
Aglutinante	4,06
Cobre	22,14
Aluminio forjado	45,01
Electrolito: LiPF ₆	3,04
Carbonato de etileno	8,50
Dimetil Carbonato	8,50
Polipropileno	2,08
Polietileno	0,68
Tereftalato de polietileno	0,39
Acero	1,17
Aislamiento térmico	0,92
Glicol	8,12
Partes electrónicas (BMS)	6,90

Fuente: Kelly (2020, 375)

Elaboración propia

2. Industria del litio en Argentina: pasado, presente y proyecciones para el futuro

⁴³ International Energy Agency

⁴⁴ U.S. Department of Energy

En Argentina, la explotación de litio inició en la década de los 90s del siglo pasado (Barandiarán 2019, 382). Las reservas argentinas de litio se encuentran principalmente en tres provincias: Catamarca (22% del total de reservas), Jujuy (37%) y Salta (41%) (López, et al. 2019, 12). La actividad litífera ha evolucionado durante los últimos años y se ha cuadruplicado en el periodo 2010-2017, esta actividad representa apenas el 0.3% del volumen total de las exportaciones argentinas y dentro del sector minero ocupa el 5.4% de las exportaciones totales. Sin embargo, para las provincias de Jujuy y Catamarca las exportaciones de litio representan el 16% y el 10% respectivamente (López et al. 2019, 35).

Existen dos emprendimientos de extracción de litio a escala industrial en Argentina, el Salar de Olaroz que se encuentra en la provincia de Jujuy (está en marcha desde el año 2015) y el Salar del Hombre Muerto que se encuentra en la provincia de Catamarca (en marcha desde el año 1998) (López et al. 2019, 12). Además, según los datos del Ministerio de Energía y Minería de la República Argentina (MINEM) existen 47 proyectos de litio que aún no entran en la fase de explotación, de los cuales: 21 se encuentran en fase de prospección, 23 en fase de exploración, 2 en fase de factibilidad y 1 en fase de construcción (López et al. 2019, Anexo II), en la figura 11 se incluyen los proyectos de litio que se encuentran en fase de operación y de avanzada, en base a las publicaciones realizadas por el Ministerio de Producción y Trabajo de Argentina (2019). El crecimiento de los volúmenes de producción ha sido muy significativo en los años pasados y se estima según el MINEM que “de acuerdo con el ritmo con el que las empresas llevan adelante sus proyectos, el incremento en la capacidad de producción de litio será de 388% entre 2017 y 2022 –de 37.500 a 145.500 ton de carbonato de litio equivalente (LCE⁴⁵)” (López et al. 2019, 38). Según los datos obtenidos por las publicaciones anuales de la USGS, en el periodo 2015-2019, Argentina ha producido 27.900 toneladas métricas de litio⁴⁶, es decir un aproximado de 148.483 toneladas de LCE.

⁴⁵ Carbonato de litio equivalente. Su fórmula química es Li_2CO_3 y el contenido de litio metálico es del 18,79%.

⁴⁶ Una tonelada métrica de litio equivale a 5,28 toneladas de LCE.



Figura 11 Mapa de los principales proyectos de litio en Argentina, 2019. Imagen del Ministerio de Producción y Trabajo de Argentina.

La provincia de Jujuy ha sido la que más ha destacado en cuanto a los impactos positivos que pueden obtener de la explotación de litio, mejorando las condiciones de apropiación de la renta minera y fomentando el desarrollo de las capacidades tecnológicas y productivas alrededor del litio a través de la creación de institutos como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET) y el Centro de Investigación y Desarrollo en Materiales Avanzados y Almacenamiento de Energía de Jujuy (CIDMEJU) (López et al. 2019, 39).

La extracción de litio; al igual que otras actividades extractivas, genera impactos socioambientales, “el litio se encuentra por debajo de salares alto-andinos en zonas extremadamente áridas, la preocupación más grande se encuentra vinculada al consumo del agua, recurso escaso en la zona conocida como Puna” (Anlauf 2015, 171). El método comúnmente empleado en los salares argentinos para la extracción y obtención de litio (carbonato de litio), consiste en bombear la salmuera a piletas para la evaporación del agua mediante el aprovechamiento de la radiación solar y velocidades altas de viento (Anlauf 2015,172). “Bombear grandes cantidades de agua ... para la producción del carbonato de litio interviene en las redes de aguas subterráneas con el riesgo de cambiar los flujos de agua y disminuir las napas freáticas” (Anlauf 2015, 173).

Para motivos de la presente investigación se tomó en consideración el proyecto litífero *Sales de Jujuy*, al ser uno de los dos proyectos donde se produce carbonato de litio en Argentina y por la información oficial que comparten a través de canales oficiales

(páginas web: <https://salesdejujuy.com/> y <https://www.orocobre.com/operations/salar-de-olaroz/>). La información de este estudio permite comprender de forma general cuáles son las actividades que se realizan en las fases de extracción y procesamiento de litio en los salares argentinos, recordando que existen dos grandes emprendimientos en la actualidad y se ubican en el Salar de Olaroz y en el Salar del Hombre Muerto. Por su parte, el proyecto Fénix manejado por la empresa Minera del Altiplano S.A. (Argentina) y la empresa Livent⁴⁷ de Estados Unidos, opera desde el año 1998 en el salar del Hombre Muerto en el departamento de Antofagasta de la Sierra, y se encuentra ubicado en la provincia de Catamarca, según información del Bnamericas (2018) tienen planificado ampliar su producción de 15.000 ton de LCE a 40.000 ton de LCE.

2.1. Proyecto de Litio de Olaroz: Sales de Jujuy

El proyecto de litio de salmuera se consolidó de un acuerdo de operación conjunta entre la empresa australiana Orocobre Limited, la sociedad comercial japonesa Toyota Tsusho Corporation (TTC) y la Empresa de Minería del Gobierno de la provincia de Argentina de Jujuy (JEMSE). Según los datos publicados cuentan con un recurso medido de 6,4 Mt⁴⁸ de LCE (carbonato de litio equivalente) proyectados para una producción continua de 40 años aproximadamente ([https://salesdejujuy.com/espanol/proyectos, 2020](https://salesdejujuy.com/espanol/proyectos,2020)). La producción de LCE⁴⁹ para el año 2018 fue de 12.470 toneladas y para el año 2019 fue de 12.605, cuentan con una fase de expansión denominada Fase 2 que permitirá la producción de 25.000 ton de LCE con una inversión que alcanzará los 295 millones de dólares (Orocobre 2019,14-20).

La planta de litio de Olaroz se encuentra ubicada en la provincia de Jujuy, a aproximadamente 230 kilómetros de distancia de la ciudad capital de Jujuy. Las instalaciones del proyecto se encuentran a una altura promedio de 3.900 metros sobre el nivel del mar (ver figura 12). Las condiciones climáticas han favorecido a las actividades del proceso de evaporación de salmuera, cuentan con gasoducto y los principales puertos estratégicos para el servicio de transporte son Buenos Aires en Argentina y Antofagasta e Iquique en Chile ([https://salesdejujuy.com/espanol/proyectos, 2020](https://salesdejujuy.com/espanol/proyectos,2020)).

⁴⁷ Hasta el año 2019 Livent formaba parte de la empresa FMC Lithium.

⁴⁸ “1.752 millones de metros cúbicos de salmuera, con 690 mg/l de litio, 5.730 mg/l de potasio y 1.050 mg/l de boro en la Planta de Olaroz equivale a 6,4 millones de toneladas de carbonato de litio y 19,3 millones de toneladas de potasa (cloruro de potasio) con base en que 5,32 toneladas de carbonato de litio es equivalente a 1 tonelada de litio, y 1,91 toneladas de potasa es equivalente a una tonelada de potasio.” ([https://salesdejujuy.com/espanol/proyectos, 2020](https://salesdejujuy.com/espanol/proyectos,2020))

⁴⁹ Estos datos fueron publicados en el Orocobre 2019 Annual Report



Figura 12 Proyecto Litífero de Olaroz, piletas de evaporación, 2020.
Imagen de Sales de Jujuy

Según los datos publicados por Orocobre en su Reporte Anual del año 2019, el costo operativo para la producción de una tonelada de carbonato de litio fue de \$4.302, lo que los convierte en una de las compañías con mejores costos de producción a nivel mundial⁵⁰. El método de procesamiento de manera sucinta consiste en lo siguiente:

- **Extracción de la salmuera:** a través de pozos de perforación en el Salar de Olaroz;
- **Evaporación:** el material extraído es transportada hacia piletas o piscinas, el efecto de la radiación solar y el viento permiten la evaporación y concentración de la salmuera;
- **Recuperación:** la salmuera concentrada se transporta hacia la planta de carbonato de litio donde se llevan a cabo procesos de precipitación, filtrado y secado del producto.
- **Empaquetado:** el carbonato de litio es empaquetado y separado según sus características y necesidades de los clientes (puede ser purificado, primario, micronizado). El producto purificado es usado por lo fabricantes de cátodos para la fabricación de baterías de ion litio (<https://salesdejujuy.com/espanol/proyectos>, 2020). Los consumidores de este producto se encuentran ubicados en Asia, América del Norte y Europa.

⁵⁰ Es importante mencionar que en Argentina el proyecto de litio “Sales de Jujuy” es el único que ha transparentado los datos de producción, costos, consumo de agua y energía, emisiones de CO₂-eq, principales mercados e inversionistas.

A continuación, en la figura 13 se presenta el esquema del proceso de la Planta de Litio de Olaroz publicado por Orocobre y Sales de Jujuy:

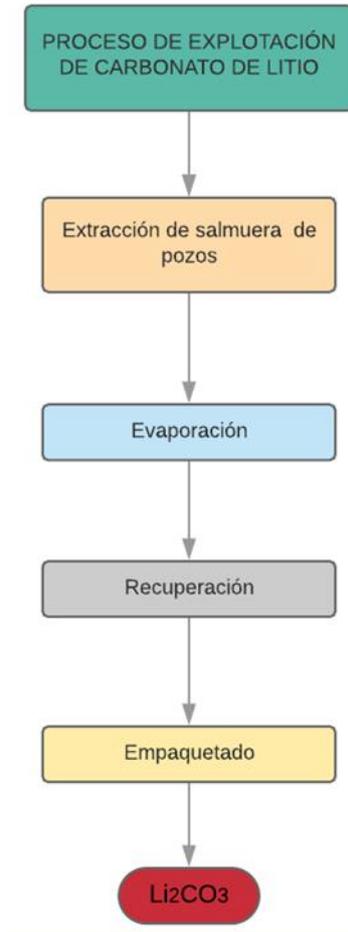


Figura 13 Actividades principales que se realizan en la Planta de Litio de Olaroz, 2020. Imagen de elaboración propia.

Conclusiones

La industria del litio ha ido al alza las últimas décadas en gran medida por su uso extendido en las baterías de ion litio presentes en los vehículos eléctricos, se espera que en el periodo 2020-2030 la demanda del litio crezca en un 20% anual. Alrededor del 65% del litio extraído en el año 2019 fue utilizado para la fabricación de baterías. Aproximadamente el 59% de las reservas mundiales de litio se encuentran en el “Triángulo de Litio” conformado por Argentina, Bolivia y Chile. En este sentido, Chile es el primer productor mundial de litio proveniente de salmueras y Australia lo es para el caso de litio presente en pegmatitas.

En cuanto al mercado de las baterías de ion litio, este es dominado por los países del sudeste asiático como China, Singapur y Hong Kong, se prevé que la demanda global de las baterías de litio incremente en un 25% anual durante la década del 2020-2030. Por otro lado, el costo de estas baterías se ha reducido considerablemente pasando de de 1.000\$ a 209\$ por kilovatio hora.

En cuanto a la industria del litio en Argentina, esta inició a cabalidad en la década de los 90s del siglo anterior. Las reservas de litio se encuentran principalmente en tres provincias: Catamarca (22%), Jujuy (37%) y Salta (41%), durante el periodo 2015-2019 se han producido un total de 148.483 toneladas de LCE, y se espera que para el año 2022 la producción de LCE sea de 145.500 ton LCE anuales. En la actualidad existen únicamente dos emprendimientos a escala industrial en los salares argentinos y son el proyecto Fénix en el salar del Hombre Muerto y *Sales de Jujuy* en el *salar de Olaroz*. Usando la información de este último, se realizan en el capítulo siguiente una serie de cálculos que nos permiten estimar la cantidad de emisiones de CO₂ asociadas a las actividades de extracción, producción y transporte de LCE, además se estimarán las proyecciones de las emisiones de CO₂ en base a los datos de producción de LCE que reporta Orocobre y el estado argentino.

Capítulo tercero

Emisiones de CO₂ asociadas a la extracción y el transporte de litio

En el capítulo 1 se describió los desafíos a los que está sometido actualmente el sector del transporte terrestre, pues representa el 10% de las emisiones de CO₂ globales con una cantidad de 5,044 GtCO₂eq (IPCC 2014, 603). Asimismo, vimos como existe una carrera de las marcas de automóviles (entre las que destacan: Tesla, BYD, BAIC, Toyota, BMW y Volkswagen) a nivel mundial por ver quién acapara el efervescente mercado de los vehículos eléctricos. Según Dulcich (2019), se espera que los vehículos eléctricos superen en venta a los vehículos de combustión interna para el año 2040 y según los datos proyectados por la IEA para el año 2030 existirá un total de 140 millones de Evs⁵¹ (hoy se estima que se encuentran en circulación 7,2 millones de EVs). Según la misma IEA, en el año 2019 se registraron un total de 2,1 millones de ventas de EVs y se dejaron de emitir 53 Mton⁵² de CO₂-eq por el funcionamiento del total del parque automotor de EVs a nivel mundial. Estos datos son importantes para los cálculos y proyecciones que se realizan en el presente capítulo.

Las actividades extracción y procesamiento de litio y otros minerales (como el Co, Ni, Mn) se encuentran en una posición dual en cuanto a las emisiones de CO₂. En términos de balance de CO₂ su uso en las baterías de ion-litio presentes en los EVs significa una disminución de las emisiones globales de GEI. Pero, por otro lado, las actividades extractivas para la obtención de estos *commodities* claves para la *transición energética* potencialmente generan cantidades significativas de CO₂, además de otros impactos ambientales que son descritos en el capítulo 4 para el caso del litio.

En este capítulo se utiliza la información publicada por la empresa Orocobre, datos presentados por la IEA en el *Global EV Outlook 2020*, los resultados del estudio de Kelly et al. (2020) sobre el análisis de ciclo de vida de las baterías de ion litio, la metodología propuesta en las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero y datos complementarios de las emisiones de CO₂ del Salar de Atacama publicados por SQM y los valores publicados por Vulkan Energy Resources⁵³. Con esta información se podrá realizar los cálculos y proyecciones

⁵¹ Vehículos eléctricos

⁵² Abreviatura de mega toneladas equivalentes a un millón de toneladas.

⁵³ Empresa australiana que pretende fabricar baterías de ion litio con “balance cero de carbono”.

de las emisiones de CO₂ que se van a generar en los salares argentinos bajo el marco de la esperada transición hacia electromovilidad, en función de las reservas de litio estimados en el subsuelo de Argentina, considerando las fases de extracción, procesamiento y transporte de LCE hacia los sitios de fabricación de baterías de ion litio.

La estructura de este capítulo incluye las siguientes secciones: en la *primera* se explica la metodología utilizada para la generación de los datos y proyecciones, en la *segunda* sección se realizan los cálculos de las estimaciones de las emisiones directas e indirectas de CO₂ correspondientes al proyecto *Sales de Jujuy*, en la *tercera* sección se realizan las proyecciones de las emisiones de CO₂ en base a la producción de LCE⁵⁴ estimada en Argentina en el año 2022 y a las reservas de litio que se encuentran en el subsuelo argentino, en la *cuarta* sección se incluye la estimación balance de CO₂ por la circulación de los vehículos eléctricos (EVs) en el parque automotriz en base a los datos publicados para el año 2019 de la IEA, al final de este capítulo se incluye una sección para las conclusiones en base a los datos obtenidos.

1. Metodología utilizada

Para estimar las emisiones de CO₂ para la producción de carbonato de litio (LCE) y proyectar estas emisiones en el contexto de la electromovilidad, fue necesario distinguir entre emisiones directas e indirectas. Se hace esta distinción porque ayuda a entender de mejor manera el origen de las emisiones, las *emisiones directas* son las que se generan en los sitios de extracción de litio e incluyen todas las actividades que se llevan a cabo para la producción de LCE, en cuanto a las *emisiones indirectas*; estas son las que se originan por el transporte de este producto a los sitios de fabricación de baterías de ion litio.

La metodología utilizada en este capítulo nos permitió estimar la cantidad de emisiones de CO₂ que se van a generar en los salares argentinos en función de los datos de la producción de LCE ofrecidos por el gobierno argentino a través del MINEM⁵⁵ y de las reservas de litio estimadas en base a la publicación de la USGS⁵⁶.

En la sección 2, para estimar las emisiones directas de la producción de LCE, se utilizaron los valores de las emisiones de CO₂ publicados en los Reportes de Sostenibilidad anuales (ofrecen datos de los años 2017, 2018 y 2019) de la empresa

⁵⁴ Carbonato de litio

⁵⁵ Ministerio de Energía y Minería de Argentina

⁵⁶ Servicio Geológico de Estados Unidos, se utilizan los datos publicados en el año 2020 para el litio donde se estiman las reservas de Argentina en 17 millones de toneladas (USGS 2020, 99).

Orocobre que está presente en los Salares de Olaroz a través del proyecto litífero Sales de Jujuy. En cuanto a las emisiones indirectas de CO₂ generadas en este proyecto, fue necesario seguir las Directrices del IPCC del año 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero en las que se detallan los valores de consumo promedio de combustible (diésel) para el transporte marítimo y el factor de emisión de CO₂ de este combustible, se incluyó el recorrido terrestre y marítimo para la entrega de LCE, en la sección 2 se detallan las rutas y las distancias que recorre este producto.

Una vez calculados los datos de emisiones directas e indirectas, fue necesario obtener el valor total de las emisiones de CO₂ asociadas a la producción de carbonato de litio en el Salar de Olaroz, por lo que se realizó la sumatoria de las emisiones directas e indirectas de CO₂ (la unidad obtenida es ton CO₂/ton LCE). Este valor se compara con los publicados por la empresa SQM en su Reporte de Sostenibilidad del año 2019 y por los datos⁵⁷ publicados por Vulkan Energy Resources.

En la sección 3 se utiliza el valor de las proyecciones de la producción de LCE en Argentina para el año 2022 y el cálculo obtenido en la sección 2 del total de las emisiones de CO₂ del proyecto Sales de Jujuy en ton CO₂/ton LCE, al relacionar estos dos valores se puede estimar las emisiones totales de CO₂ en el territorio argentino a raíz de la extracción de sus recursos de litio. Por otro lado, se calculó las emisiones de CO₂ que se generarían en Argentina por la extracción de todas sus reservas de litio probadas hasta la fecha en base a los datos publicados por la USGS⁵⁸. Los valores calculados de las emisiones de CO₂ para el año 2022 y de las emisiones por la extracción total del litio en los salares argentinos, fueron comparados con las emisiones totales de CO₂ que reportó Argentina en el año 2016, así se pudo obtener el valor porcentual que representan las emisiones de CO₂ de la actividad litífera.

En la sección 4 se realiza el balance de CO₂ al relacionar las emisiones que se generan en los sitios de extracción de litio versus las emisiones que se evitan por la circulación de vehículos eléctricos. Para lograr esto se utilizaron los valores presentados por la Agencia Internacional de Energía (IEA) en el reporte Global EV Outlook 2020, los datos presentados en la investigación de Kelly et al. (2020) y el promedio del factor de emisión expresado en ton CO₂/ton LCE, a partir del valor obtenido en la sección 2 y los valores de los reportes de SQM y Vulkan Energy Resources.

⁵⁷ Según la página web de la empresa los datos publicados se obtuvieron de Minviro Life Cycle Analysis, 2020.

⁵⁸ Servicio Geológico de Estados Unidos, se utilizan los datos publicados en el año 2020 para el litio donde se estiman las reservas de Argentina en 17 millones de toneladas (USGS 2020, 99).

El cálculo del balance de CO₂ permite estimar un alcance más *justo* de la *disminución* de las emisiones de CO₂ por la introducción de los vehículos eléctricos (EVs) en el parque automotor mundial mediante el reemplazo de los vehículos de combustión interna (MCI). Es importante recalcar que el litio se ve sometido a varios procesos antes de su uso dentro de un vehículo eléctrico y cada uno de estos procesos genera emisiones de CO₂. El alcance de esta tesis incluye la proyección de las emisiones de CO₂ de las fases de *extracción, procesamiento y transporte* de LCE (que es uno de los insumos que requiere una batería de ion litio NMC) y no considera las emisiones de CO₂ que se generan en la *distribución y disposición final* de las baterías de ion litio, para la fase de *fabricación de baterías* se utiliza la información publicada por Kelly et al. (2020) sobre las emisiones de CO₂ que se generan en esta etapa, en cuanto a la fase de *uso de los EVs* se consideran los valores de las emisiones de CO₂ que se dejaron de emitir por el funcionamiento de los EVs en el año 2019 y que fueron publicados por la IEA, de esta manera se trató de abarcar la mayor cantidad de fases por las que pasa el litio en el marco de la electromovilidad, a partir de la información y recursos disponibles (en la figura 14 se incluye un esquema de estas fases).

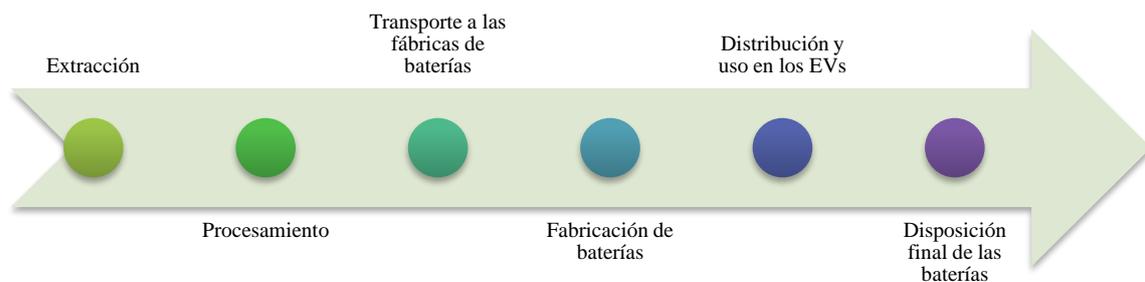


Figura 14 Fases por los que pasa el litio en el marco de la electromovilidad.
Elaboración propia

En las secciones siguiente se presentan los resultados para cada uno de los literales descritos en este acápite.

2. Estimaciones de las emisiones directas e indirectas de CO₂ correspondientes al proyecto Sales de Jujuy

Las emisiones derivadas de las actividades extractivas de litio en el Salar de Olaroz fueron divididas en dos: *directas* e *indirectas*. Empezaremos por las emisiones directas que son las que tienen relación directa (correspondiente a la fase de extracción y producción) con la obtención de carbonato de litio (LCE). Para el caso de las emisiones indirectas se calcularon en base a la fase de transporte desde el sitio de extracción y producción hasta el sitio de fabricación de baterías de ion litio.

2.1. Emisiones directas de CO₂ generadas en el proyecto Sales de Jujuy

El proyecto Sales de Jujuy ha sido el único que a la fecha ha publicado en Argentina los datos de sus indicadores claves de desempeño ambiental (incluidos en su reporte de sostenibilidad del año 2019 y a los que se puede acceder a través de su página web⁵⁹). En la tabla 5 se detallan estos valores, siendo la intensidad de las emisiones durante la fase de operación la que se utilizará en las secciones siguientes.

Tabla 5
Indicadores claves de desempeño ambiental del Proyecto Sales de Jujuy

Indicador	Año		
	2017	2018	2019
Producción de carbonato de litio (ton)	11.862	12.470	12.605
GEI totales (ton CO ₂ -eq) para la fase de operación	29.375	39.228	39.507
Intensidad de las emisiones en la fase de operación (ton CO₂-eq/ton LCE)	2,48	3,15	3,14
Consumo de agua (m ³)	485.300	607.609	607.057
Intensidad de consumo de agua durante la fase de operación (m ³ /ton LCE)	40,91	48,73	48,16
Desechos generados (ton)	108,95	126,67	181,50

Fuente: Orocobre (2020)

Elaboración propia

Estos indicadores muestran un aumento de los valores de producción de carbonato de litio anuales durante el periodo 2017-2019 (no cuentan con datos anteriores), con el aumento de la producción también se puede evidenciar un incremento en las emisiones de GEI⁶⁰, así como del consumo de agua y generación de desechos (éstos dos últimos

⁵⁹ <https://salesdejujuy.com/espanol/sostenibilidad/>

⁶⁰ El aumento de las emisiones de CO₂ corresponde al 35% para el periodo 2017-2019.

datos fueron LCE se detallan en el capítulo 4). Es importante señalar que se encuentran en la fase de construcción de la llamada *Etapa 2*, en la cual se espera una tasa de producción anual de 25.000 toneladas de LCE adicionales a la producción actual.

En el reporte de sostenibilidad del año 2019 se manejaron dos escenarios para el manejo de los valores anuales de GEI (expresados en ton de CO₂ equivalente). Para el escenario 1 contemplaron las actividades directas que se realizan para la obtención de carbonato de litio en el proyecto Sales de Jujuy y en el escenario 2 incluyeron las actividades referentes al consumo de energía de actividades complementarias al proceso principal (como la energía utilizada por el campamento y oficinas con las que cuenta el proyecto) (Orocobre 2019, 49).

Además del valor de las emisiones directas de CO₂, es necesario determinar cuál es el valor de las emisiones indirectas de CO₂ derivadas del transporte de LCE.

2.2. Emisiones indirectas generadas por el transporte de litio a los sitios de producción de baterías

Para la estimación de las emisiones indirectas de CO₂ se eligió como sitio de extracción al proyecto Sales de Jujuy ubicado en el Salar de Olaroz en la provincia de Jujuy y como sitio de recepción del LCE a la planta de Hidróxido de Litio de Naraha⁶¹ instalada en Japón.

En el capítulo 2 se mencionó que los puertos estratégicos usados por Sales de Jujuy son Buenos Aires en Argentina y Antofagasta e Iquique en Chile, sin embargo, los datos publicados no determinan la cantidad de LCE que se exporta por cada uno de los puertos mencionados ni las cantidades que reciben los clientes a nivel mundial, por lo que se eligió el puerto marítimo más cercano al proyecto que es el de Antofagasta en territorio chileno, el recorrido que deben emplear los vehículos cargados de carbonato de litio es de 1.845⁶² km aproximadamente.

La distancia aproximada entre Chile y Japón es de 16.713 km (distancia entre los puertos de Antofagasta y el de Soma en la prefectura de Fukushima). Para el cálculo de emisiones de CO₂ que corresponde al transporte de LCE se utiliza la metodología propuesta en las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de

⁶¹ Esta planta pertenece a Toyota Tsusho Company (TTC) y forma parte de la joint Venture *Sales de Jujuy*.

⁶² Según la información de Orocobre, a veces usan tramos en tren para el transporte de carbonato de litio, sin embargo, en la presente investigación solo se toma en cuenta el trayecto en carretera

efecto invernadero (volumen 2, Capítulo 3: Combustión móvil, puntos 3.2 Transporte Terrestre (Nivel 1) y 3.5 Navegación marítima y fluvial (Nivel 1)).

En promedio, la capacidad de carga de un volquete es de alrededor de 30 toneladas y la de los barcos graneleros es de 70.000 a 200.000 toneladas (al considerar la capacidad de carga de estos barcos versus el total de la producción de carbonato de litio, se evidencia que con un solo viaje se movilizaría el total de la producción anual). El combustible que se utiliza en ambos medios de transporte es diésel.

- ***Cálculo de las emisiones indirectas de CO₂***

Los cálculos que se presentan a continuación se realizaron en base a la información publicada por el proyecto Sales de Jujuy, cuya producción anual de LCE para el año 2019 fue de 12.605 toneladas.

A partir del valor de producción anual de LCE se detalla en las columnas de la tabla 6 lo siguiente: medios de transporte que se usan para la movilización, distancia promedio que recorren, el combustible utilizado (en este caso diésel), el consumo promedio de combustible, el poder calorífico y el factor de emisión de CO₂ del diésel. Con estos datos claves se pudo determinar el valor total de las emisiones de CO₂ en toneladas para la transportación de las 12.605 toneladas de carbonato de litio (LCE). A continuación, se presentan los resultados de la tabla 2:

Tabla 6

Cálculo de las emisiones indirectas de CO₂ para el transporte de LCE desde el sitio de extracción de LCE hasta el lugar de fabricación de baterías de ion litio, según el medio de transporte

Medio de transporte	Distancia recorrida (km)	Combustible	Consumo promedio kg diésel/km	Poder calorífico (TJ/kg diésel)	Factor de emisión ⁶³ de CO ₂ (kg/TJ)	Emisiones CO ₂ (ton)
Terrestre	1.845	Gasóleo o	0,36 ⁶⁴	4,23x10 ⁻⁵	74.100	2
Marítimo	16.713	diésel	44,4 ⁶⁵			2.270

⁶³ Cuadro 3.2.1 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Se tomó como referencia el valor por defecto y coincide con el del transporte ferroviario y marítimo al usar el mismo combustible.

⁶⁴ Se tomó como datos referenciales los propuestos en la “Guía para la gestión del combustible en las flotas de transporte por Carretera”. Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Energética y Fluido mecánica, 2006

⁶⁵ Este valor fue calculado utilizando la información del consumo promedio de los barcos transportadores en el cuadro 3.5.5 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de

Medio de transporte	Distancia recorrida (km)	Combustible	Consumo promedio kg diésel/km	Poder calorífico (TJ/kg diésel)	Factor de emisión ⁶³ de CO ₂ (kg/TJ)	Emisiones CO ₂ (ton)
Total						2.272

Elaboración propia

De la tabla 6 se obtiene lo siguiente:

- Para el transporte terrestre se generan un total de 2 ton de CO₂ por cada viaje que se realiza hasta el puerto de Antofagasta. Por lo que, si la capacidad de carga promedio de un camión es de 30 toneladas se requerirían 420 viajes para transportar la producción de anual de LCE. Al multiplicar el número de viajes por las emisiones de CO₂ obtenemos un valor de 840 ton de CO₂, al relacionar este valor con la producción anual de LCE de 12.605 ton de LCE se obtiene un factor de emisión de 0,07 ton CO₂/ton LCE;
- Para el transporte marítimo se generan un total 2.270 ton de CO₂. La capacidad de carga promedio de un buque granelero excede con creces al total de la producción de LCE de Sales de Jujuy, por lo que para este caso se utilizaron las 12.605 toneladas de LCE producidas en el año 2019 y no la capacidad de carga de los buques que transportan este producto. De esta manera se relaciona las emisiones de CO₂ del transporte versus la producción anual de LCE obteniendo un factor de emisión de 0,18 ton CO₂/ton LCE⁶⁶.

La tabla 7 resume los valores de los factores de emisión en ton CO₂/ton LCE:

Tabla 7

Factores de emisión (ton CO₂/ton LCE) según el medio de transporte

Medio de transporte	Factor de emisión (ton CO ₂ /ton LCE)
Terrestre	0,07
Marítimo	0,18

Elaboración propia

gases de efecto invernadero. Para esto se consideró la distancia del recorrido marítimo y la velocidad promedio de este tipo de embarcaciones.

⁶⁶ Si se utiliza la capacidad promedio de carga de los barcos graneleros (135000 toneladas), el factor de emisión sería 0,017 t CO₂/t LCE. Este valor puede ser usado para proyecciones en los que las toneladas de LCE superen la capacidad de carga de los barcos graneleros.

Resumiendo, los datos obtenidos en las tablas 6 y 7, tenemos que para el caso transporte terrestre el factor de emisión es de 0,07 ton CO₂/ton LCE y para el transporte marítimo de 0,18 ton CO₂/ton LCE. De la tabla 6 obtuvimos que para el año 2019 las emisiones totales indirectas de CO₂ por el transporte de LCE producido en la planta de Sales de Jujuy es de 2.272 ton de CO₂.

Es importante señalar que los valores calculados para las emisiones de CO₂ son datos referenciales y no se pretende que estos cálculos sean exactos ya que existe información reservada sobre los clientes de la empresa Orocobre, así como de los medios de transporte terrestres y marítimo que utilizan. Dentro de su Reporte de Sostenibilidad del año 2019 mencionan que las emisiones indirectas de CO₂ por el transporte de LCE no se contemplan en sus informes anuales, por lo que los datos presentados en esta sección son importantes para visibilizar las emisiones de CO₂ que representa transportar el carbonato de litio desde los sitios de extracción en Argentina.

2.3. Emisiones totales de CO₂ para las fases de extracción, producción y transporte de LCE del proyecto Sales de Jujuy

Recopilando la información publicada por la empresa Orocobre (emisiones directas de CO₂) y usando los datos obtenidos de los cálculos de las emisiones indirectas de CO₂ por el transporte de LCE de la producción del año 2019, se recapitula en la tabla 8 los valores de las emisiones de CO₂ y se incluye una columna del porcentaje correspondiente para cada tipo de emisión en base al total calculado.

Tabla 8

Emisiones s totales de CO₂ correspondientes a la producción de LCE para el año 2019 en el proyecto “Sales de Jujuy”

Tipo de emisiones	Emisiones de CO₂ (ton)	% de emisiones de CO₂
Directas (operación)	39.507	94,6
Indirectas (terrestre y marítimo)	2.272	5,4
Total	41.779	100

Elaboración propia

En la tabla 8 se pudo evidenciar que durante la fase de operación para la obtención de LCE se emite la mayor cantidad de CO₂ y representa el 94,6% y durante la fase de

transporte se generan el 5,4% de las emisiones de CO₂ restantes. El total de emisiones para el año 2019 fue de 41.779 ton de CO₂.

3. Proyecciones de las emisiones de CO₂ en base a la producción de LCE estimada en Argentina para el año 2022 y a las reservas de litio en el subsuelo argentino

Según lo descrito en el capítulo 2 se espera que en el año 2022 en Argentina se produzcan alrededor de 145.500 ton de LCE (datos del MINEM⁶⁷), aunque otros datos sugieren una producción de 45.000 ton de LCE (datos del Deutsche Bank) (López, et al., 2019: 38). Para el siguiente ejercicio en la tabla 9 se utilizaron los valores de producción mencionados previamente, de forma que se abarquen dos escenarios posibles en base a la información disponible. Para realizar estas proyecciones se utilizaron los datos calculados en las tablas 5 y 7, correspondientes a la *intensidad de las emisiones en la fase de operación (ton CO₂-eq/ton LCE)* y a los *factores de emisión de CO₂* respectivamente. Se excluyen de este cálculo las emisiones indirectas del transporte marítimo de LCE en un esfuerzo de *focalizar* las emisiones de CO₂ al territorio argentino.

Tabla 9

Emisiones s totales de CO₂ en base a las proyecciones del MINEM y del Deutsche Bank para el año 2022

Escenario	Tipo de emisiones		Factor de emisión (ton CO ₂ /ton LCE)	Toneladas de LCE	Emisiones de CO ₂ (ton)
MINEM	Directas (operación)		3,14	145.500	456.870
	Indirectas (transporte)	Terrestre	0,07		10.185
Total					467.055
Deutsche Bank	Directas (operación)		3,14	45.000	141.300
	Indirectas (transporte)	Terrestre	0,07		3.185
Total					144.485

Elaboración propia

Si se consideran las emisiones de CO₂ por la producción de LCE en base a las proyecciones del MINEM (467.055 toneladas) y se comparan con las emisiones de CO₂

⁶⁷ Ministerio de Energía y Minería de Argentina

que reportó Argentina en el año 2016⁶⁸ (364.440.000 toneladas), obtenemos que estas representan apenas el 0,13% del total de las emisiones.

En la tabla 10 se incluyen los valores de la proyección de las emisiones de CO₂ en base a las reservas argentinas de litio probadas a partir de la información publicada por la USGS (2020).

Tabla 10

Emisiones totales de CO₂ en base a las reservas de litio probadas en el subsuelo argentino

Escenario	Tipo de emisiones		Factor de emisión (ton CO ₂ /ton LCE)	Toneladas métricas de litio ⁶⁹	Toneladas de LCE	Emisiones de CO ₂ (ton)
Explotando las reservas totales probadas	Directas (operación)		3,14	17.000.000	89.760.000	281.846.400
	Indirectas (transporte)	Terrestre	0,07			6.283.200
Total						288.129.600

Elaboración propia

Las emisiones totales de CO₂ que se producirían por la extracción total de las reservas de litio en Argentina ascenderían a 288.129.600 toneladas. Esto representa el 79% de las emisiones de CO₂ que Argentina emitió en el año 2016. Estas proyecciones son netamente referenciales y están orientadas a visibilizar las emisiones de CO₂ que no son tomadas en cuenta por parte del gobierno argentino ni por entidades internacionales⁷⁰ afines a la temática de la electromovilidad.

4. Balance de CO₂ por la introducción de los vehículos eléctricos (EVs) en el parque automotriz en el año 2019

En la actualidad los estudios y publicaciones⁷¹ en torno a la incidencia del cambio del parque automotor mundial a través del reemplazo de vehículos de combustión interna

⁶⁸ Según los datos publicados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (MADS 2020:29-31).

⁶⁹ La información publicada por la USGS incluye el valor de las toneladas métricas de litio por lo que se utiliza el factor de 1 ton métrica de litio que equivale a 5,28 toneladas de LCE

⁷⁰ En la presente investigación se han tomado como referencia estudios publicados por la Agencia Internacional de Energía, el Comité Económico y Social de Europa y la Agencia Europea de Ambiente.

⁷¹ Los estudios y sus autores fueron descritos en la tabla 1 del capítulo 1 dentro de la sección 2.

por vehículos eléctricos, no consideran las emisiones de CO₂⁷² que se generan en los sitios de extracción de la materia prima⁷³ (en el presente estudio solo se toman en cuenta los vehículos livianos eléctricos y no se consideran las fases de uso y disposición final de las baterías de ion litio).

Por este motivo, en esta sección se presenta el cálculo de las emisiones de CO₂ que se dejan de emitir a la atmósfera por la puesta en marcha de los EVs⁷⁴ a nivel mundial incluyendo las emisiones de CO₂ que se generan por la extracción, procesamiento y transporte de LCE a los sitios de fabricación de baterías de ion litio y tomando en cuenta las emisiones de CO₂ promedio que genera producir una batería de ion litio NMC⁷⁵ (que es el componente diferencial entre un EV y un MCI) a partir del estudio de Kelly et al. (2020).

4.1. Datos y cálculos requeridos para realizar el balance de CO₂

Para calcular el balance de las emisiones de CO₂ se utilizó la siguiente información:

- El promedio de la intensidad de emisiones de CO₂ para la producción y transporte de LCE, para esto se usaron los valores de los factores de emisión de CO₂ presentados en las tablas 1 y 3 en la sección número 2, y los datos publicados por la empresa SQM y Vulkan Energy Resources;
- El estudio de Kelly et al.⁷⁶ (2020), en el que se determinaron los valores de las emisiones de CO₂ generadas durante la fase de producción de baterías de ion-litio NMC;
- Los datos publicados en el Global EV Outlook 2020 sobre el número de EVs que circularon en el año 2019 y la proyección de estos para el año 2030. La cantidad de CO₂ que se dejó de emitir en el año 2019 en base al consumo energético por el funcionamiento de los EVs a nivel mundial.

⁷² A excepción del estudio de “Life Cycle Analysis of Electric Vehicles Quantifying the Impact” Kukreja publicado en el año 2018 que toma en cuenta la fase de extracción de las materias primas para la producción de un vehículo MCI y un EV. Este estudio utiliza la intensidad energética que requiere la producción de un kilogramo de materia prima y la relaciona con el factor de emisión del mix energético del país que produce los vehículos.

⁷³ En el capítulo 1, sección 2.2 se detallan los principales componentes de los EVs y de las baterías de ion litio.

⁷⁴ Vehículos eléctricos

⁷⁵ Baterías de ion litio que contienen: óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto.

⁷⁶ “Globally regional life cycle analysis of automotive lithium-ion nickel manganese cobalt batteries”.

En la tabla 11 se incluyen los parámetros que fueron utilizados como inputs para el cálculo del balance de las emisiones de CO₂ para el año 2019:

Tabla 11
Parámetros utilizados para calcular el balance de las emisiones de CO₂ por el funcionamiento del parque automotor mundial de los EVs

Nº	Parámetros	Unidad	Valor	Referencias
1	LCE utilizado a nivel mundial en las baterías de ion-litio NMC	Ton	17.000	IEA 2020,179
2	Emisiones de CO ₂ que se evitaron en el año 2019 por el funcionamiento de los EVs	Mton CO ₂ eq	53	IEA 2020,173
3	Número de EVs vendidos en 2019	u	2.100.000	IEA 2020, 44
4	Número de EVs en circulación en 2019	u	7.200.000	IEA 2020, 44
5	Emisiones de CO ₂ que se evitaron en el año 2019 por la introducción de los nuevos EVs	Mton CO ₂ eq	16	Elaboración propia a partir de los parámetros 2, 3 y 4
5	Emisiones de CO ₂ durante la fase de producción de baterías ⁷⁷ de ion-litio NMC	kg CO ₂ eq/kWh	65	Kelly et al. 2020, 371
6	Emisiones de CO ₂ para la producción de baterías de ion-litio NMC	kg CO ₂ eq	1.755	Elaboración propia a partir de Kelly et al. 2020, 371
7	Factor de emisión del proyecto “Sales de Jujuy” para la obtención de LCE	ton CO ₂ /ton LCE	3,14	Orocobre, 2019
8	Factor de emisión del salar de Atacama-SQM para la obtención de LCE	ton CO ₂ /ton LCE	5,17	Elaboración propia a partir del Reporte de Sostenibilidad de SQM para el año 2019
9	Factor de emisión para la obtención de LCE publicado por Vulkan Energy Resources	ton CO ₂ /ton LCE	5	https://v-er.com/zero-carbon-lithium/
10	Promedio de los factores de emisión para la obtención de LCE	ton CO ₂ /ton LCE	4,44	Elaboración propia a partir de los parámetros 7,8 y 9
11	Factor de emisión para el transporte terrestre y marítimo de LCE	ton CO ₂ /ton LCE	0,07 y 0,18	Elaboración propia, ver tabla 7

Elaboración propia

Previo a determinar el balance de CO₂ por el uso de los EVs que fueron introducidos al parque automotor mundial en el año 2019 fue necesario calcular lo siguiente:

⁷⁷ La capacidad de la batería es de 27 kWh según el estudio de Kelly.

- **Emisiones totales de CO₂ en base a la demanda de LCE para el año 2019**

Para este cálculo es importante recalcar que estamos suponiendo que el LCE proviene en su totalidad del Salar de Olaroz, por este motivo se utilizan los factores de emisión de las emisiones indirectas de CO₂. Si la demanda de LCE para el año 2019 fue de 17.000 toneladas obtenemos lo siguiente:

Tabla 12

Emisiones totales de CO₂ para las fases de extracción, producción y transporte de LCE en base a la demanda del año 2019

Tipo de emisiones		Factor de emisión (ton CO ₂ /ton LCE) *	Toneladas de LCE	Emisiones de CO ₂ (ton)
Directas (operación)		4,44 ⁷⁸	17.000	75.480
Indirectas (transporte)	Terrestre	0,07		1.190
	Marítimo	0,18		3.060
Total				79.730

Elaboración propia

Adicionalmente, se necesita calcular la cantidad de emisiones de CO₂ que se generan por la producción de baterías de ion litio. Las baterías más utilizadas a nivel mundial para los vehículos eléctricos son las de ion-litio NMC, en base a esto se asume que los EVs vendidos durante el año 2019 tienen dentro de sus componentes una batería NMC de 27 kWh. De esta manera podemos utilizar los resultados de la investigación de Kelly et al. (2020).

Tabla 13

Emisiones totales de CO₂ por la producción de baterías de ion litio NMC con una capacidad de 27 kWh, para el año 2019

Número de EVs	Factor de emisión (ton CO ₂ /EV) *	Emisiones de CO ₂ (ton)
2.100.000	1,755	3.685.500

Elaboración propia

⁷⁸ Utilizamos el valor del promedio de los factores de emisión para la obtención de LCE, ya que el alcance de las emisiones de CO₂ por el uso de los EVs es global.

Al integrar los valores de las emisiones de CO₂ totales de las tablas 8 y 9 obtenemos lo siguiente:

Tabla 14

Emisiones totales de CO₂ para las fases de extracción, procesamiento, transporte de LCE y la producción de baterías de ion litio, para el año 2019

Fase de las emisiones	Emisiones de CO ₂ (t)	% de emisiones de CO ₂
Extracción, procesamiento y transporte de LCE	79.730	2,1
Producción de baterías ion litio NMC	3.685.500	97,9
Total	3.765.230	100

Elaboración propia

En términos porcentuales las emisiones de CO₂ generadas durante las fases de extracción, procesamiento y transporte de LCE, representan apenas un 2,1% del total de las emisiones frente al 97,9% de emisiones que se generan durante la producción de baterías. De esta forma, se corrobora lo que exponen los estudios en torno a la comparación de las emisiones de CO₂ entre los EVs y los MCI y que fueron descritos en la sección 2 del capítulo 1. Estos estudios concluyeron que la fase donde se generan la mayor cantidad de emisiones de CO₂ corresponde a la de la producción de baterías de ion-litio.

4.2. Cálculo del balance de CO₂ por el funcionamiento de los EVs introducidos en el año 2019

Finalmente, para realizar el balance de las emisiones de CO₂ se utilizan los valores de emisión de las tablas 11, 12 y 13. De esta forma se presenta en la tabla 15 una nueva sumatoria de los valores que se reportaron en el Global EV Outlook 2020 de la IEA.

Tabla 15

Balance de las emisiones de CO₂ por la introducción de los EVs nuevos en el año 2019

Fase de las emisiones	Emisiones de CO ₂ (ton)
Extracción, procesamiento y transporte de LCE	79.730
Producción de las baterías	3.685.500
Circulación de los EVs	-16.000.000
Total	-12.234.770

Elaboración propia

Se puede observar que el valor de las emisiones a la atmósfera de CO₂ que se evitan por la circulación de los EVs en el año 2019 es menor al publicado por la IEA, ya que se incluyeron los valores de las emisiones que se generaron durante la fase de producción de las baterías y de las fases de extracción, producción y transporte de LCE. Existe una diferencia de 3.765.230 toneladas de CO₂ que no se toman en cuenta en el reporte publicado por la Agencia Internacional de Energía y que aumentaría si se tomaran en cuenta las fases de distribución y disposición final de las baterías de ion litio NMC. De igual forma, si consideramos las emisiones de CO₂ que se generan para obtener las otras materias primas que conforman una batería de ion-litio NMC (en especial níquel, manganeso y cobalto), observaríamos como las emisiones de CO₂ que se dejan de emitir por la puesta en marcha de los EVs son menores en el contexto de la electromovilidad.

Conclusiones

En este capítulo se utilizó información publicada en estudios anteriores, entre los que destacaron los de la IEA (2020), la investigación de Kelly et al. (2020), los Reportes de Sostenibilidad de las empresas Orocobre y SQM. Las estimaciones de las emisiones totales de CO₂ para el proyecto Sales de Jujuy se calcularon en base a la información publicada por Orocobre para el caso de las emisiones directas y para las emisiones indirectas se utilizaron las directrices del IPCC del año 2006. Los resultados para las emisiones directas fueron de 3,14 ton CO₂/ton LCE, las emisiones indirectas fueron de 0,07 y 0,18 ton CO₂/ton LCE para el transporte terrestre y marítimo, respectivamente.

Las proyecciones de las emisiones de CO₂ para la producción de LCE se realizaron en base a dos escenarios: el primero en base a la información oficial publicada por el gobierno argentino para el año 2022 y el segundo se calculó utilizando los datos de la USGS en su publicación referente a las reservas de litio probadas en el subsuelo argentino. Los resultados demuestran que las emisiones de CO₂ derivadas de la producción de LCE no son relevantes si se las comparan con las emisiones de CO₂ de Argentina en el año 2016, representando apenas el 0,13% del total de las emisiones.

En cuanto al balance de CO₂ por la introducción de los vehículos eléctricos (EVs) en el parque automotriz en el año 2019, se utilizó la información compilada de todos los estudios mencionados en este capítulo y se usaron también los valores calculados en las secciones 2 y 3. Este esfuerzo permitió evidenciar que los datos publicados por la IEA en su reporte del año 2020 no contemplan un total de 3.765.230 toneladas de CO₂ que son

emitidas para la producción de baterías de ion litio NMC y durante la fase de extracción, procesamiento y transporte de LCE.

Los resultados presentados en las secciones de este capítulo no son definitivos y están sujetos a modificaciones a medida que se presenten mayores evidencias del desempeño y rendimiento en términos de emisiones de CO₂ de los vehículos eléctricos a escala global. Sin embargo, la generación de emisiones de CO₂ es solo uno de los impactos ambientales que genera la minería de litio, por lo que en el capítulo siguiente se presentan los demás impactos ambientales a los que están sometidos los ecosistemas y comunidades alrededor de los sitios de producción de carbonato de litio.

Capítulo cuarto

Impactos socioambientales derivados de la extracción en los salares argentinos

Al final del capítulo 2 se mencionó que la extracción de agua para la producción de carbonato de litio es uno de los principales impactos ambientales derivados de las actividades litíferas. En la actualidad en Argentina, el proyecto *Sales de Jujuy* es el único emprendimiento de minería de litio que cuenta con información cuantitativa acerca del consumo de recursos y los desechos que se generan durante sus actividades.

El proyecto Sales de Jujuy es una *joint venture* entre las empresas Orocobre Limited (Australia), la sociedad comercial japonesa Toyota Tsusho Corporation (TTC) y la Empresa de Minería del Gobierno de la provincia de Argentina de Jujuy (JEMSE). Según comunicado de las empresas, los recursos medidos ascienden a un total de 6,4 millones de toneladas de carbonato de litio (LCE) y según su reporte del año 2019 la producción de LCE para el año 2018 fue de 12.470 toneladas y para el año 2019 fue de 12.605. La fase de expansión denominada Fase 2, sin embargo, permitirá la producción anual de 25.000 toneladas de LCE con una inversión que alcanzará los 295 millones de dólares (Orocobre 2019,14-20).

El presente capítulo cuenta con tres secciones, en la *primera* se realiza una pequeña descripción de los componentes físicos y bióticos del Salar de Olaroz, en la *segunda* sección se presenta la caracterización de los impactos ambientales asociados a la extracción y el procesamiento de LCE. En esta misma línea en la *tercera* sección se realiza una caracterización breve sobre los impactos sociales que han generado las empresas de extracción del litio en el salar de Olaroz y que han afectado a las comunidades que se encuentran asentadas en esta zona.

1. Características naturales de la región del Salar de Olaroz

Para poder estudiar los impactos ambientales de la minería de litio es necesario conocer su entorno natural y los componentes que interactúan sobre el mismo. Para esta descripción se utilizó la información publicada dentro del “*Estudio de Impacto Ambiental de la Instalación de Planta de Tratamiento de Aguas Servidas del Campamento de*

Operaciones en Proyecto Cauchari-Olaroz” (publicado en enero de 2020) y la tesis sobre *Una minería del agua: Análisis espaciotemporal de la región del Salar de Olaroz: Implicancias ambientales, estrategias de sustentabilidad y crecimiento económico local ante la minería del litio* (presentada en diciembre de 2018). Se tomaron en cuenta los siguientes componentes: geología y geomorfología, suelo, hidrología, clima, flora y fauna, y se exponen a continuación en la tabla 16:

Tabla 16
Características naturales de la región del Salar de Olaroz

Componente	Características principales	Referencias bibliográficas
Geología y geomorfología	Se encuentra ubicado dentro de la Puna Argentina que “constituye la terminación austral de la alta plataforma de los Andes Centrales conocida como Altiplano” La Puna se caracteriza por la presencia y desarrollo de cuencas endorreicas (sin salida al mar), que reciben el drenaje de las áreas montañosas colindantes, formándose en sus depocentros: salinas y salares.	GT Ingeniería S.A. 2020,32
Suelo	Se clasifican según su taxonomía en aridisoles (suelos de regiones áridas con muy bajo contenido de materia orgánica y escasa fertilidad), debido a la ausencia de nutrientes estos suelos presentan colores claros y sus materiales son erosionados fácilmente (Aranda, 2018:21).	Aranda 2018, 21
Hidrología	Las condiciones climáticas y geológicas de la Puna, se han generado numerosas cuencas endorreicas con altas tasas de evaporación, esto ha dado como resultado a los salares de la zona. Pertenece a la cuenca hidrográfica Cauchari-Olaroz, la misma que se extiende en sentido norte-sur principalmente, los cuerpos de agua que alimentan esta cuenca son en su mayoría estacionales (durante la época estival).	GT Ingeniería S.A. 2020,38; Aranda 2018, 20
Clima	Es frío y seco, corresponde a una zona semiárida con periodos de lluvia durante el verano y con radiaciones solares intensas, con una nubosidad casi nula, vientos intensos y frecuentes, y con amplitudes térmicas diarias altas (temperaturas máximas de 30°C y mínimas de -10°C). Las precipitaciones son escasas y se distribuyen de forma irregular a lo largo del año y sus valores varían entre 500 y 200 mm por año.	GT Ingeniería S.A., 2020:31; Aranda, 2018:19
Flora y Fauna	La vegetación dominante es la estepa arbustiva (vegetación espesa y dispersa de pequeñas gramíneas y arbustos), las formaciones vegetales incluyen las siguientes: las vegas, los tolares (entre 3600 y 4200 msnm) y los pajonales (4200 y 5000 msnm).	Aranda, 2018, 21-2

	<p>La fauna de la Puna argentina no es muy variable en números de especies (en comparación con otras regiones circundantes de menor altitud), sin embargo, existen especies endémicas que se han adaptado a las condiciones climáticas extremas. Los mamíferos herbívoros más representativos incluyen: el guanaco, la vicuña y la llama</p>	
<p>Importancia ecológica</p>	<p>Forman parte de la Reserva Provincial de Flora y Fauna Olaroz-Cauchari. Debido a la rigurosidad climática de la Puna argentina, esto se expresa en factores ambientales negativos: déficit de agua, precipitaciones irregulares, humedad atmosférica baja, radiación solar alta, temperaturas negativas durante la noche y variaciones térmicas amplias durante el mismo día.</p> <p>Las vegas de la zona se transforman en oasis de alta productividad primaria, transformándose en fuentes de agua y alimento para la biomasa animal. Además, son fuente de agua dulce para las comunidades locales para sus actividades domésticas y agropecuarias de subsistencia (ver figuras 15,16 y 17).</p>	<p>Aranda 2018, 28</p>

Elaboración propia



Figura 15 Paisaje del Salar de Olaroz, 2019.
Imagen de GT Ingeniería S.A..



Figura 16 Paisaje de la Reserva Provincial de Flora y Fauna Olaroz-Cauchari, 2020. Imagen del Ministerio de Ambiente de Jujuy.



Figura 17 Avifauna de la Reserva Provincial de Flora y Fauna Olaroz-Cauchari, 2020. Imagen del Ministerio de Ambiente de Jujuy.

2. Caracterización de los impactos ambientales en los salares de Olaroz producidos por la industria del litio

Para una mejor comprensión de los impactos ambientales se tomó en cuenta el proceso de producción de carbonato de litio del proyecto litífero *Sales de Jujuy*. Para las

afectaciones sobre el recurso hídrico, se usaron como referencia los datos de consumo de agua de la empresa Orocobre⁷⁹ y en cuanto a la afectación al suelo se usaron los valores de los volúmenes de desecho reportados por esta misma empresa.

Para la descripción de los impactos ambientales derivados de cada una de las actividades se utilizó la información de las publicaciones del Grupo de Estudios en Geopolítica y Bienes Comunes⁸⁰ que relatan los impactos ambientales de las actividades litíferas (aunque son muy generales y no cuentan con análisis cuantitativos de los impactos ambientales), un artículo de la Revista del Centro de Estudios sobre Ingeniería y Sociedad de la Pontificia Universidad Católica Argentina denominado “*Acciones y Consecuencias de la explotación de litio en Jujuy: Un estudio desde la ecofilosofía*” y la tesis presentada en la Universidad Nacional de Plata sobre “*Una minería del agua: Análisis espaciotemporal de la región del Salar de Olaroz: Implicancias ambientales, estrategias de sustentabilidad y crecimiento económico local ante la minería del litio*”.

A partir de la información recabada, se sintetizan y describen a continuación los potenciales impactos ambientales generados por la producción de carbonato de litio en el Salar de Olaroz.

2.1. Impacto sobre el agua

Los impactos ambientales al agua se pueden dividir en dos grandes tipos de afectaciones: a la cantidad por un consumo masivo y a la calidad por la contaminación de aguas superficiales y subterráneas (Sacher 2019, 145). En la subsección siguiente se incluye información de dos empresas que han publicado los datos de consumo de agua: la primera es la multinacional SQM de origen australiano que explota LCE en el Salar de Atacama, la segunda es Lithium Americas a través de la Minera EXAR S.A.⁸¹ presente en el Salar de Olaroz-Cauchari.

- ***Afectaciones a la cantidad de agua***

⁷⁹ Orocobre publicó estos valores en su “Reporte de Sostenibilidad del año 2019”

⁸⁰ Se utiliza la información publicada en 2019 en el libro “Litio en Sudamérica Geopolítica, Energía, Territorios” de Bruno Fornillo (et al.)

⁸¹ Esta empresa minera es una joint Venture (JV), cuyo propietario principal es Lithium Americas. Según los datos publicados en su página web <https://www.lithiumamericas.com/> las labores de explotación iniciarían a principios del año 2022.

Debido a las características áridas y a las bajas precipitaciones en la región del Salar de Olaroz (éstas varían entre 200 mm/año a 500 mm/año), se considera al agua como un recurso escaso. La presencia de agua dulce subterránea está condicionada por la severidad climática que determina su baja recarga; además su calidad no siempre es apta para el consumo humano debido a excesos de arsénico, boro, magnesio y sílice (Aranda, 2018: 41). La extracción de litio provoca una disminución de los niveles freáticos del agua subterránea y disminuye la presión del agua dulce que sale a la superficie, “esto podría llevar a la desaparición de humedales y lagunas, que se nutren principalmente de aguas subterráneas en lugar de aguas lluvia” (Anlauf 2017, 172).

En cuanto a los volúmenes de agua requeridos para la producción de carbonato de litio, estos varían según el proyecto analizado. La empresa canadiense Lithium Americas señala que para la producción de 20.000 t/año de LCE se requieren extraer aproximadamente 12,6 millones de m³ de salmuera y el uso de 2,2 millones de m³ de agua dulce. Por otro lado, la empresa australiana Orocobre propone la extracción de 7.568.640 m³ de salmuera y 630.720 m³ de agua dulce para producir 17.500 t/año de carbonato de litio, según lo planteado en el estudio de impacto ambiental (Anlauf 2015, 176).

Los datos de consumo de agua (en metros cúbicos, m³) presentados por la empresa Orocobre a partir de sus Reportes Anuales de Sostenibilidad son los siguientes: 485.300 para el año 2017, 607.609 en el 2018 y 607.057 en el 2019 (Orocobre 2020), si consideramos los valores de producción anuales de toneladas de LCE de los años 2018 y 2019 obtenemos lo descrito en la tabla 17.

Tabla 17
Consumo promedio de agua para la extracción de LCE

Año	Consumo de Agua (m ³)	Producción LCE (t)	Intensidad de consumo de agua (m ³ /t)
2017	485.300	11.862	41
2018	607.609	12.470	49
2019	607.057	12.605	48
Promedio			46

Fuente Orocobre (2019)
Elaboración propia

En base a los datos ofrecidos por el proyecto “Sales de Jujuy”, se obtuvo un promedio de consumo de agua de 46 m³ (o 46.000 litros) por cada tonelada de LCE producida. Es importante comparar estos valores con los del consumo de agua promedio para la producción de otros minerales o metales, en la tabla 18 se presentan estos valores.

Tabla 18
Consumo promedio de agua para la producción de otros minerales y metales

Mineral o metal	Consumo de agua promedio (litros/tonelada de mineral o metal)
Cobre	172.000
Oro	716.000.000
Níquel	107.000
Metales del grupo platino	260.000
Uranio (U3O8)	505.000

Fuente Sacher (2019, 150)

Elaboración propia

Al comparar los valores de consumo de agua promedio de otros minerales o metales de la tabla 18, podemos evidenciar que los datos de consumo para la producción de una tonelada de LCE son ligeramente más bajos, inclusive al comparar con el níquel que es otro de los metales que se utilizan en la fabricación de baterías de ion litio.

Comparamos las cifras de consumo de agua con otras actividades productivas. En la tabla 19 se incluyen estos valores. Se incluyen los valores para la producción de vegetales, frutas, cereales, carne de res, huevos en el sector alimenticio y para combustibles se incluyó al etanol de maíz y petróleo:

Tabla 19
Consumo promedio de agua para productos no minerales

Productos	Consumo de agua promedio (litros de agua)
1 T de vegetales	322.000
1 T de frutas	962.000
1 T de cereales	1.644.000
1 T de carne de res	15.415.000
1 T de huevos	3.265.000
1000 l de petróleo	10.000 – 324.000
1000 l de etanol de maíz	1.000 – 6.000

Fuente: Sacher (2019,151) y Hoekstra (2015, 43)

Elaboración: propia

Con los datos de la tabla anterior se puede determinar que el consumo de agua fresca para la producción de LCE no es muy alta si se compara con otras actividades productivas. Sin embargo, en primer lugar, hay que señalar que esta tabla no toma en cuenta el nivel de contaminación de los volúmenes de agua usados. En segundo lugar, la disponibilidad física del agua en el sitio de extracción es otro aspecto que hay que tomar en cuenta, y como se ha mencionado a lo largo de este capítulo la falta de agua en los

ecosistemas de los salares argentinos es uno de los mayores problemas de la zona. Otra particularidad del proceso de obtención de LCE.

- ***Afectaciones a la calidad del agua***

La afectación que se pueda generar sobre la calidad del agua no ha sido documentada o publicada dentro de textos científicos o académicos, esto implica que no se puede determinar cualitativamente cuáles han sido los impactos que ha generado las actividades de extracción y producción de LCE.

Sin embargo, si se conoce la concentración de litio en los salares de los cuáles es extraído se puede proyectar la cantidad de salmuera que será bombeada para obtener el concentrado de litio. De esta manera consideramos una concentración promedio de litio de 500⁸² ppm⁸³, se requiere extraer aproximadamente 2.000.000 de litros de salmuera (2.000 m³) para obtener una tonelada de litio (equivalentes a 5,32 toneladas de LCE). En base a la producción de LCE que reportó el proyecto Sales de Jujuy en el año 2019 de 12.605 ton, obtenemos que fue necesario extraer una cantidad de 4.740.000 de m³ de salmuera, por este motivo en palabras del geólogo Fernando Días “la minería del litio en salares es una minería del agua” (Aguilar y Zeller 2012, 31).

2.2. Impacto sobre el suelo

El método utilizado en la explotación de carbonato de litio es el evaporítico, este se realiza por la exposición de la salmuera a condiciones ambientales de temperatura, presión y radiación. La minería del litio a diferencia de otra minería, no requiere del uso de explosivos, sin embargo, para obtener el carbonato de litio se requieren de altos volúmenes de agua y reactivos tóxicos como carbonato de sodio, bases y ácidos. La fuga de estos productos por lixiviación o derrames pone en riesgo la alteración de la calidad del suelo. (Romeo 2019, 232). En referencia a los altos volúmenes de agua requeridos, no únicamente influye en la disponibilidad de aguas de baja salinidad, también influye en la saturación del suelo y la inundación de terrenos aledaños poniendo en riesgo los sembríos de chacras y la actividad pastoril (Enriquez 2019, 65).

⁸² Este valor se utiliza en base a lo expuesto por el geólogo Fernando Días (Aguilar y Zeller 2012, 31).

⁸³ Ppm: partes por millón, equivalentes a una concentración de 1 mg de soluto/l de solvente.

Otro potencial impacto ambiental de la producción de carbonato de litio sobre el suelo, es el riesgo de subsidencia o asentamiento diferenciales. La extracción de agua de los acuíferos, genera que esos espacios sean reemplazados por aire, un fluido que puede ser comprimido, reduciendo la fuerza que sostiene el suelo, provocando hundimientos y una posible ruptura del sello arcilloso somero que es responsable de la formación de las salinas actuales.

Por otra parte, una gran problemática es la generación de desechos producto del proceso de separación del carbonato de litio, estos desechos son calcio, magnesio, boro, hierro y trazas de otros metales que se disponen en montículos al aire libre convirtiéndose en una potencial fuente de contaminación para el recurso agua (Aranda, 2018: 42). Si usamos los valores publicados por la empresa “Orocobre”, obtenemos la generación de 181,50 toneladas de desechos en el año 2019.

2.3. Impacto sobre el aire

Como se indicó en el ítem anterior, en la explotación de carbonato de litio es necesario el uso de productos tóxicos como carbonato de sodio, bases y ácidos, la fuga de estos productos puede generar emisiones atmosféricas. De igual forma, en la explotación de litio se utiliza maquinaria de perforación, que generan emisión de gases y material particulado que ponen en riesgo la calidad del aire.

2.4. Impacto al paisaje

Los impactos generados por la explotación de carbonato de litio en el paisaje natural están asociados con la erosión de caminos, el montaje de instalaciones de operación, la utilización de maquinaria de perforación, la presencia de vehículos extraños al paisaje y la alteración del paisaje por la construcción de las piletas de evaporación.

2.5. Impacto a la flora y fauna

De acuerdo con lo indicado por el doctor Fernando Días, geólogo forense y ambiental, la extracción de salmuera para la producción de litio ocasiona una reducción del nivel de agua subterránea de la cuenca y del agua dulce de los bordes provocando la ausencia de humedales y lagunas que se forman allí, estos cuerpos hídricos son fundamentales para el desarrollo de la flora y fauna local (Nieves et al. 2014, 107).

Por otro lado, la fuga de reactivos tóxicos usados para la explotación de carbonato de litio mediante derrames, lixiviados o emisiones atmosféricas ponen en riesgo la calidad de los recursos naturales ocasionando deterioro de la flora y fauna circundante a las zonas de explotación.

A continuación, en la figura 18 se resume las actividades que se realizan para la obtención de carbonato de litio en el proyecto “Sales de Jujuy” junto con los impactos ambientales que se generan durante este proceso. Se presenta también un diagrama donde se recapitulan los impactos ambientales, el componente afectado y los autores que han publicado esta información (ver figura 19).

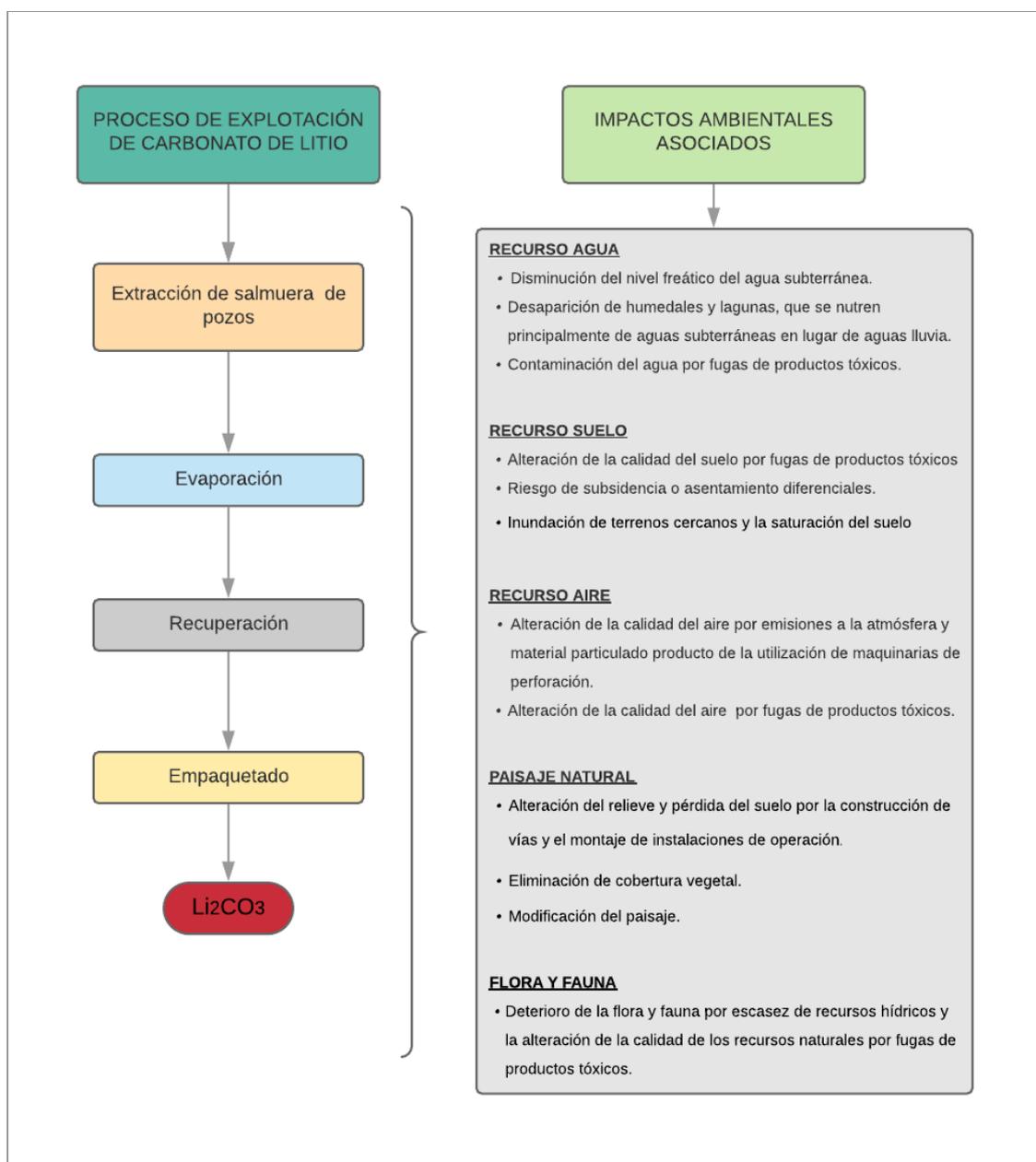


Figura 18 Actividades del proceso de explotación de LCE junto con los impactos ambientales generados, 2021.

Elaboración propia.

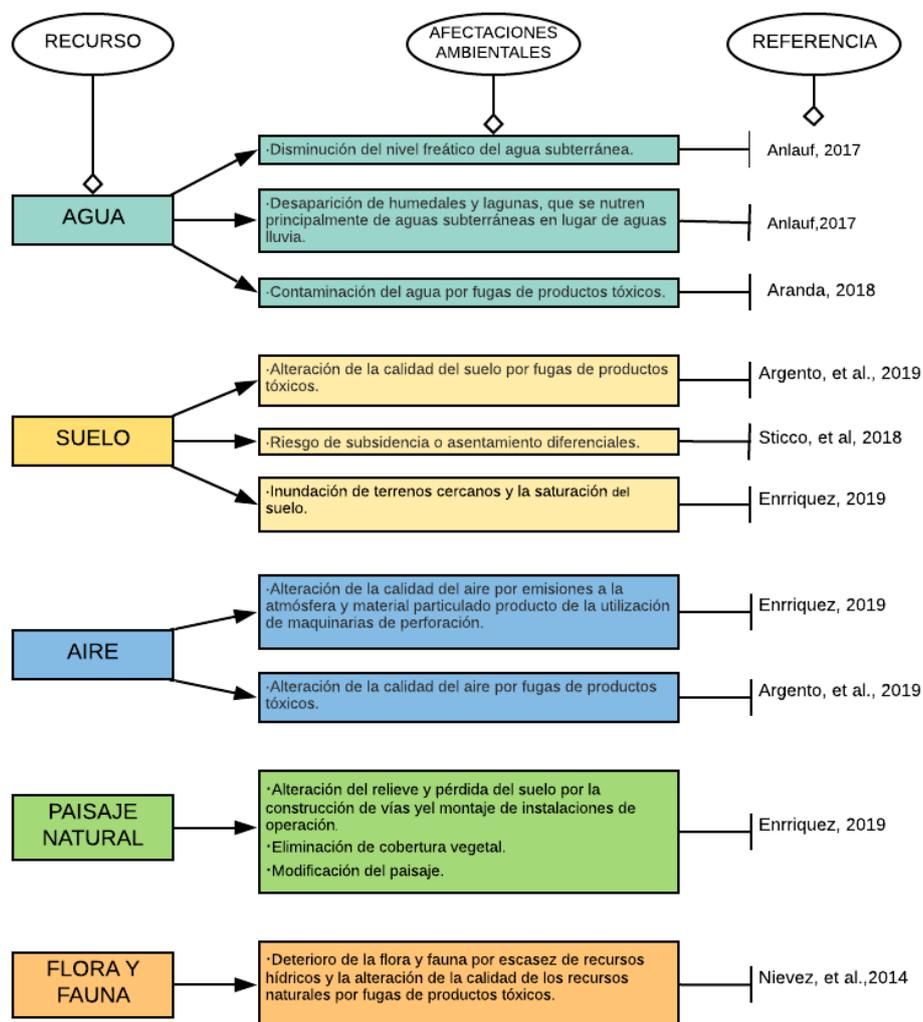


Figura 19 Diagrama de las afectaciones ambientales que se generan por las actividades litíferas, 2021.

Elaboración propia.

3. Impactos sociales en las comunidades por las actividades extractivas de litio: el caso de Huancar y Pastos Chicos

La extracción de litio ha generado impactos sobre las comunidades aledañas a los sitios de producción⁸⁴ (Salares de Jujuy y Minera Exar S.A.). En los sitios de extracción

⁸⁴ De igual forma se han evidenciado conflictos en los Salares de Atacama (Chile) y de Uyuni (Bolivia), dejando en evidencia la imposición dentro de los territorios de las actividades extractivas de la

existe una relación empresa-comunidad-Estado problemática debido a los recursos de los ecosistemas de los salares (se encuentran dentro de la Reserva Provincial de Flora y Fauna Olaroz-Cauchari) (Argento y Puente 2019, 173-211). Los recursos naturales argentinos son “propiedad” de cada provincia, este núcleo subnacional es el responsable de la toma de las decisiones en lo relacionado a la minería, para lo cual se emplean las regulaciones nacionales y provinciales para los proyectos de exploración, extracción y producción de litio (Marchegiani et al. 2019, 14).

3.1. Marco ambiental e institucional alrededor de los proyectos de extracción de litio

Los proyectos de extracción de litio deben presentar el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) respectivo, la constitución argentina en su artículo 41 garantiza el derecho a vivir en un ambiente sano y el gobierno nacional es el que ejerce la autoridad legal para establecer los estándares mínimos para la regulación ambiental que se aplicarán en todo su territorio. (Marchegiani et al. 2019, 14).

En Argentina cuentan con la Ley General del Ambiente (LGA), donde se establecen los instrumentos o herramientas para la gestión del ambiente. Por lo tanto, se debe realizar un EIA antes de autorizar cualquier obra o actividad que pueda producir impactos significativos en el ambiente o en la calidad de vida de la población. En la provincia de Jujuy la autoridad máxima ambiental es el Ministerio de Ambiente de Jujuy (Marchegiani et al. 2019, 14).

Dentro del EIA destaca la fase de participación pública (puede ser consulta o audiencia pública). Durante esta etapa se pueden presentar las objeciones o comentarios por escrito acerca del EIA presentado. La participación pública deberá garantizar la participación efectiva de los ciudadanos, estos deberán tener el acceso oportuno y adecuado de todo el contenido del Estudio de Impacto Ambiental relacionado con el proyecto. Sin embargo, esta etapa no es vinculante respecto a la aprobación del proyecto (Marchegiani et al. 2019, 15).

En la provincia de Jujuy, la autoridad encargada de los proyectos de litio (declarado como recurso natural estratégico de Jujuy mediante Decreto 7592/2011) es la Dirección de Minería y Recursos Energéticos. Esta dirección cuenta con la asesoría de la Unidad de

minería del litio y como los intereses de los capitales transnacionales desdibujan las garantías, políticas y normativas que deberían proteger a las comunidades indígenas y campesinas afectadas (Argento y Puente 2019, 173-4)

Gestión Ambiental Minera Provincial que cuenta con representantes de entidades: gubernamentales, no gubernamentales, sector académico, empresas mineras, autoridades municipales y comunidades indígenas (Marchegiani et al. 2019, 15).

En Argentina se ha ratificado el Convenio 169 de la OIT sobre pueblos indígenas y tribales y la Carta Interamericana de Derechos Humanos y la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas (DNUDPI). Además, existe el reconocimiento de los derechos sobre las tierras de los pueblos originarios desde 1994. Sin embargo, en la práctica los procesos de consulta y consentimiento libre, previo e informado (CLPI) no se realizan, y en los casos que, si se realizan, existen barreras como: falta de información ambiental, ausencia de representantes estatales durante el proceso y uso de un lenguaje técnico que dificulta la comprensión del tema para las comunidades. (Marchegiani et al. 2019, 16-8).

3.2. Las comunidades afectadas de los salares de Olaroz y Cauchari

La intensificación de las actividades de exploración de los proyectos de litio en la primera década del siglo XXI en Salinas Grandes y en los salares de Olaroz y Cauchari, han generado que las comunidades de las zonas aledañas de los sitios de exploración y explotación de litio sufran de la intervención minero-empresarial en sus territorios (Argento y Puente 2019, 174-6).

Los procesos de demanda asociados a la regularización de tierras se realizaron a partir del año 1994 por parte de las comunidades de los salares. En este sentido, Jujuy fue una de las primeras provincias en firmar un convenio con el Estado Nacional para la ejecución de programas de regularización de títulos comunitarios. De esta forma se obtuvieron títulos comunitarios de tierra al realizarse las negociaciones entre la provincia de Jujuy y el Estado Argentino (Argento y Puente 2019, 176-7).

Para las comunidades de Salinas Grandes, el proceso de titulación de tierras ha tenido varios obstáculos, entre ellos: legales, burocráticos, formas de ocupación del lugar (que implica el uso de la tierra de manera rotativa y la múltiple pertenencia comunitaria) y los criterios de censos que no contemplan estas especificidades (Argento y Puente 2019, 178). Esto explica las diferentes posturas de las comunidades frente a la llegada de las empresas Exar y Sales de Jujuy (Orocobre y JEMSE⁸⁵), por un lado, las comunidades de

⁸⁵ Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado

Salinas Grandes se han resistido a la presencia e instalación de las empresas mineras⁸⁶; y por otro, las comunidades de las zonas de los salares Olaroz y Cauchari otorgaron sus licencias sociales⁸⁷ al proyecto Sales de Jujuy (Argento y Puente 2019, 179).

3.3. Problemáticas en los territorios por la extracción de litio

Los salares presentan ecosistemas frágiles, dónde el recurso hídrico es el más importante para las comunidades asentadas en estas zonas. La extracción de la salmuera de los salares para la obtención del litio por parte de las empresas mineras, ha generado presión sobre los pobladores, ya que estos utilizan estas fuentes acuíferas para actividades de sembrío y pastoreo. Además, el uso de los recursos de los salares ha desplazado la actividad de cosecha de sal de manera artesanal que realizaban las comunidades (Argento y Puente 2019, 183-4). La confluencia que presenta la región de: precipitaciones escasas, altos índices de evaporación, largos de periodo de sequías, calentamiento global y la extracción de agua para satisfacer la demanda de minería de litio, han agudizado la problemática ambiental alrededor del uso del agua a la que están expuestas las poblaciones de las comunidades de los salares de Olaroz Cauchari y Salinas Grande (Argento y Puente 2019, 184).

Además de verse obligados a dejar de trabajar de la sal, las comunidades han visto reducidas las zonas de pasturas y pastoreo campo arriba, debido a la sequía de los cuerpos de agua.

... la minería del litio constituye una amenaza concreta al salar en tanto fuente directa de ingresos para los pequeños productores, que integran un cúmulo de comunidades situadas en los alrededores de los tres salares, fundamentalmente en las zonas donde la sal que se extrae es apta para consumo humano (Argento y Puente 2019, 185).

Por estas razones, las comunidades en un proceso organizativo de resistencia a la minería del litio y con la colaboración de profesionales, técnicos, abogados y ONGs, presentaron un informe que relaciona la privación de acceso al agua y a los salares como

⁸⁶ Nace un actor colectivo denominado la Mesa de las 33 comunidades de Salinas Grandes y Laguna Guayatayoc (Argento y Puente 2019, 179).

⁸⁷ Comuneros con escasa o nula información tenían la facultad de ceder sus derechos o licencias sociales. El colectivo Apacheta denunció los métodos fraudulentos con que la empresa obtuvo en 2012 la licencia ambiental. (Argento y Puente, 2019:179).

una violación de los derechos humanos fundamentales de acuerdo con lo señalado por el Pacto Internacional de Derechos Humanos (Argento y Puente 2019, 184-5).

No existen estudios hidrológicos que abarquen la totalidad de las cuencas que se ven afectadas por las actividades mineras, generando preocupación acerca de las consecuencias por el uso del agua en estos territorios. Existe además una desconfianza de los EIA presentados a las autoridades ambientales, ya que estos estudios son realizados por las propias empresas mineras. Los actores alrededor de la minería de litio presentan posiciones contrarias, los comisionados municipales sostienen que las actividades realizadas durante la extracción de litio no son invasivas porque no se utilizan explosivos o cianuro, en cambio los habitantes de las comunidades aledañas a los sitios de extracción denuncian que existe afectación a las actividades de subsistencia que ellos realizan y que están estrechamente asociadas a los salares de la región (Argento y Puente 2019, 185).

Para el año 2019 en los territorios Salinas Grandes y Laguna de Guayatayoc se reactivaron las resistencias en contra de la explotación de litio, esto en respuesta a una iniciativa del gobierno provincial de Jujuy a través de JEMSE. El resultado de las movilizaciones fue la expulsión de dos multinacionales que fueron adjudicadas para la explotación de los salares (Ekekos S.A. y ASI Resources Limited). A pesar de la oposición de las comunidades, el gobierno provincial se ha negado a dialogar con estas, ya que sostiene que los proyectos mineros han cumplido con lo estipulado en la normativa ambiental vigente (Argento y Puente 2019, 208).

3.4. Relaciones desiguales en torno al “oro blanco”

El litio es considerado como el *oro blanco*⁸⁸ debido a la gran importancia que tiene como materia prima dentro de electromovilidad. En el contexto actual, no se puede demostrar que exista una “transición justa” en torno a las actividades litíferas en los salares argentinos, debido a que los grandes movimientos de dinero fluyen principalmente hacia las empresas que explotan y comercializan el carbonato de litio. Al alejar la lupa de los salares argentinos podemos identificar grandes actores en torno al litio, entre los que

⁸⁸ Esta denominación la podemos encontrar en los titulares de los grandes diarios a nivel mundial como la BBC de Londres y El País de España. Además, esta denominación ha sido acogida por institutos argentinos y bolivianos que están relacionados con la innovación y tecnología (como la Fundación Argentina de Nanotecnología).

destaca Tesla (cuyo dueño es el tercer hombre más rico del planeta⁸⁹ y es la empresa que vende la mayor cantidad de EVs a nivel mundial) y a BYD conocida como la *Tesla China* (es la segunda empresa con el mayor volumen de ventas de EVs y se proyecta que en los años venideros forme parte de las 500 empresas más grandes del mundo) (Parin 2017, 5). Si consideramos que los principales actores son multinacionales que dominan la industria automotriz (General Motors, Ford, Stellantis, Toyota, Volkswagen, entre otros), podemos identificar como el litio resulta un ejemplo más de las relaciones desiguales *Norte-Sur* en torno a la extracción de recursos naturales. Estas desigualdades han sido estudiadas para otros commodities (como el oro, cobre, soja, trigo, petróleo) por autores como Alberto Acosta en su libro *La Maldición de la Abundancia* y Marisvella Stampa en su ensayo *Consenso de los Commodities* y sirven de muestra de las consecuencias sociales y ambientales que tiene la intensificación de actividades primarias extractivas con escaso valor agregado.

En este sentido, la industria de litio en los salares argentinos ha mostrado una asimetría entre las empresas litíferas y las comunidades locales. Esto en gran medida por el bajo nivel de educación de la población, así como los presupuestos limitados para proyectos orientados a mejorar la capacidad de los actores locales para aumentar su participación en la provisión de servicios de ingeniería y consultoría, así como de actividades de transporte, logística, alimentación, mantenimiento, lavandería entre otros (124).

Los esfuerzos del Estado central han sido mayormente orientados a la fabricación de baterías y se han visto mermados por las dificultades que presenta esta actividad. Por un lado, existe la carencia de materiales (el litio representa apenas entre el 4% y 10%), además de brechas operativo-tecnológicas y la complejidad de ingresar a un mercado altamente competitivo y complejo dominada principalmente por empresas asiáticas (122).

Sin embargo, desde la perspectiva del Estado jujeño, este cuenta con la participación accionaria del 8,5% en los salares que estén presentes dentro de su jurisdicción, y para el caso del proyecto Sales de Jujuy, JEMSE tiene prioridad de venta sobre el 5% de la producción de carbonato de litio (CEPAL 2020, 458). Además, la exportación de carbonato de litio representa alrededor del 16% de las exportaciones totales de esta provincia, por lo que esta industria es de gran importancia para Jujuy y por ello sus autoridades instan a cuidar e impulsar las actividades litíferas (138).

⁸⁹ <https://www.semana.com/economia/empresas/articulo/ni-jeff-bezos-ni-elon-musk-este-es-el-nuevo-hombre-mas-rico-del-mundo/202136/>

Conclusiones

Los impactos ambientales que se han generado en los salares argentinos han sido poco documentados y a la fecha no existe información que permita describir de forma detallada cuáles han sido las afectaciones al ambiente en términos cualitativos y cuantitativos.

Las condiciones naturales y ecosistémicas de los salares determinan que son lugares donde: la precipitación es escasa e intermitente, la radiación solar es alta, la humedad atmosférica es baja y la variación térmica diaria es amplia. Estas particularidades han ocasionado una alta sensibilidad del recurso hídrico en la zona. Para la producción de una tonelada de LCE se requiere del uso 46.000 litros de agua fresca y se extraen aproximadamente 376.000 litros de salmuera, esto genera una fuerte presión sobre los volúmenes de agua de las cuencas es alta. Esto a su vez ha ocasionado que exista rechazo por parte de las comunidades asentadas alrededor de los salares en contra de las empresas mineras.

La presencia y las actividades de las empresas mineras de litio han generado tensiones con las comunidades de la zona, por los procesos conflictivos que se han llevado a cabo desde que iniciaron la extracción de litio en los salares argentinos. Estos se encuentran asociados: al desplazamiento y expropiación de las tierras usadas por las comunidades, a la falta de consulta y consentimiento libre, previo e informado (CLPI) a las comunidades de las zonas de influencia de los proyectos litíferos e irregularidades en los procesos de socialización. Para el caso de las comunidades asentadas en el Salar de Olaroz, se ha reclamado por la pérdida de las tierras que antes usaban para labores agropecuarias y el desplazamiento de las actividades de cosecha artesanal de sal, en ambos casos eran actividades de subsistencia por lo que los problemas económicos se han visto agravados en estas zonas.

Se requieren de estudios exhaustivos sobre los impactos ambientales y por ende sociales, además de la ejecución de monitoreos de los componentes bióticos y abióticos para de esta forma obtener información más rigurosa que permita plantear medidas para evitar, minimizar y mitigar cualquier tipo de impacto negativo que ocasionen las actividades litíferas en los ecosistemas y comunidades de los salares argentinos y sus áreas colindantes.

Argentina podría tomar en consideración lo ocurrido en otros países de Sudamérica en torno a la explotación de recursos naturales no renovables (como el petróleo, cobre,

oro, entre otros) y darle un giro más favorable a través de una mayor participación estatal central (no solo provincial) en los sitios de extracción de litio. Esto con la finalidad de lograr una transición más *justa* para las comunidades y los ecosistemas que son afectados por los impactos de la industria litífera que es requerida en el contexto de la electromovilidad cuya puesta en marcha no tiene indicios de detenimiento.

Conclusiones

A nivel mundial las emisiones de CO₂ han aumentado a un ritmo acelerado a pesar de las políticas nacionales y globales en marcha en varios países alrededor de nuestro planeta. Uno de los sectores económicos que más contribuye al cambio climático por la cantidad de emisiones de CO₂ que se emiten a la atmósfera es el del transporte. La actual crisis climática es resultado de las actividades antropogénicas, y de la relación directa entre acumulación de capital, crecimiento económico y emisiones de CO₂. En este sentido la transición hacia un parque automotor eléctrico no está exenta de generar emisiones de CO₂ y otros impactos ambientales y sociales a los que se encuentran sometidos los ecosistemas y comunidades de los territorios de donde se extrae los recursos estratégicos necesarios para alimentar a la electromovilidad, siendo uno de estos el litio (Dorn 2019, 125). Por estos motivos, en esta tesis se planteó como objetivo general *caracterizar los impactos ambientales y sociales que se generan por las actividades de extracción y procesamiento de litio en los salares argentinos*.

Siguiendo esta línea se plantearon cuatro objetivos específicos el primero fue *caracterizar el estado de situación de la electromovilidad y el rol que se le presta en la transición energética a nivel global*, la electromovilidad se ha presentado como una de las alternativas para mitigar el Cambio Climático a partir de la disminución de las emisiones de CO₂ generadas por el sector del transporte (responsable del 14% de las emisiones de CO₂ mundiales). Se estima que a nivel mundial circularon aproximadamente 7,2 millones de EVs y se espera que para el año 2030 existan en el parque automotor mundial unos 140 millones de EVs. Las emisiones de CO₂ que generan los vehículos eléctricos (EVs) son menores a las emitidas por los vehículos con motores de combustión interna (MCI), las emisiones son 16% menores si se trata de un vehículo con motor a gasolina y un 24% en caso de un vehículo que usa diésel. A través de los estudios presentados en la sección 2 del capítulo 1 se evidenció que la fase de extracción de materia prima y la fase de producción de EVs son las que mayor impacto generan en términos de emisiones de CO₂.

El segundo objetivo específico planteó *elaborar un estado de situación de la industria argentina de litio*. Se realizó un análisis descriptivo de la industria del litio en Argentina, a través de la presentación actual de la situación de este mineral a nivel

mundial, aquí se identificaron a los principales productores de litio que son Chile y Australia, el primero en base a la extracción de litio de salares y el segundo por la explotación de pegmatitas. Argentina cuenta con las segundas reservas más grandes de litio a nivel mundial con un 23% y es el segundo exportador mundial de carbonato de litio e incrementaron sus exportaciones del 1,18% al 19,54% en el periodo 2002-2016.

Del subsuelo argentino se han extraído alrededor de 150.000 toneladas de carbonato de litio (LCE) en el periodo 2015-2019, y se espera que se extraigan 145.500 ton de LCE en el 2022 según cifras oficiales que estas alcancen las 145.500 ton en el año 2022. En la actualidad en Argentina cuentan con dos grandes emprendimientos litíferos manejados por empresas con capital extranjero, el primero está ubicado en el Salar del Hombre Muerto y el segundo en el Salar de Olaroz. Para esta investigación se usaron los valores publicados por la empresa Orocobre para el proyecto Sales de Jujuy en sus reportes de sostenibilidad.

El tercer objetivo específico planteó *estimar las emisiones de CO₂ asociadas a la extracción, procesamiento y transporte de litio, y ponderar su incidencia dentro de las emisiones de CO₂ que se generan por la puesta en marcha de los EVs*. Para cumplirlo se calcularon las emisiones directas (fase de producción de LCE) e indirectas (transporte de LCE hacia los sitios de fabricación de baterías) del proyecto Sales de Jujuy, las emisiones directas son de 3,14 CO₂/ton LCE y las indirectas corresponden a 0,07 CO₂/ton LCE para el recorrido terrestre y de 0,018 CO₂/ton LCE para el recorrido marítimo (desde el puerto de Antofagasta hasta el puerto de Soma). Las emisiones de CO₂ correspondientes a la fase de producción de LCE son por lo tanto mayores que las emitidas por el transporte de este mineral.

Para estimar las emisiones de CO₂ que se generarían por la producción de LCE, se utilizaron los valores de las proyecciones de producción esperadas para el año 2022 (publicadas por el Ministerio de Energía y Minería de Argentina) y se usaron los valores de las emisiones directas e indirectas, de esta forma se obtuvo un valor de 467.055 toneladas de CO₂ que representa apenas el 0,1-0.2% de las emisiones anuales argentinas del año 2016.

En cuanto al balance de CO₂ por la introducción de los vehículos eléctricos (EVs) en el parque automotriz en el año 2019, se pudo evidenciar que los datos publicados por la IEA en su reporte del año 2020 no contemplan un valor aproximado de 3.765.230 toneladas de CO₂ que son emitidas durante las fases de extracción, procesamiento y transporte de LCE y en la fase de producción de baterías de ion litio, esta diferencia

aumentaría si se tomaran en consideración las fases de distribución y disposición final de las baterías de ion litio NMC. De igual forma, si consideramos las emisiones de CO₂ que se generan para obtener las otras materias primas que conforman una batería de ion-litio NMC (en especial níquel, manganeso y cobalto), observaríamos como las emisiones de CO₂ que se dejan de emitir por la puesta en marcha de los EVs son menores en el contexto de la electromovilidad, sin que esto signifique que exista una ganancia real en términos de evitar las emisiones de CO₂ por el funcionamiento de los EVs.

El cuarto y último objetivo específico fue *caracterizar una serie de otros impactos ambientales y sociales derivados de la industria del litio en Argentina, a partir del análisis de las actividades asociadas a su extracción y procesamiento*. Para cumplir con éste, se recopiló la información publicada por organismos gubernamentales, sector académico, grupos militantes y los reportes de las empresas presentes en los sitios de extracción de litio en los salares argentinos. De esta forma se trató de involucrar al mayor número de actores posibles, sin embargo, los impactos ambientales que se han generado en los salares argentinos han sido poco documentados y a la fecha no existe información que permita describir de forma detallada cuáles han sido las afectaciones al ambiente en términos cualitativos y cuantitativos.

El consumo de agua fresca (se utilizan alrededor de 46.000 litros de agua por cada tonelada de LCE producida) es uno de los impactos ambientales que mejor se puede caracterizar en los sitios de extracción de carbonato de litio, zonas que además sufren de escasez de agua debido a las bajas precipitaciones de la región. Por otro lado, para la producción de una tonelada de LCE se extraen aproximadamente 2 millones de litros de salmuera⁹⁰.

La presencia y las actividades de las empresas mineras de litio han generado tensiones con las comunidades de la zona, desatando una intensa conflictividad social desde que iniciaron la extracción de litio en los salares argentinos al final de la década de los 90s. Los determinantes de esta conflictividad son en particular la expropiación de las tierras usadas por las comunidades, la cuales denuncian la falta de consulta y consentimiento libre, previo e informado (CLPI) e irregularidades en los procesos de socialización.

Reflexiones finales

⁹⁰ Depósitos naturales que tienen concentrado de litio que se ha disuelto en las aguas subterráneas (de la Hoz et al. 2013, 58)

En la actualidad uno de los problemas centrales es que las investigaciones relacionadas al litio y sus impactos están orientadas casi en su totalidad a las emisiones de CO₂ que se generan durante las fases de fabricación y uso de los EVs. Bajo estas condiciones se están invisibilizando los demás impactos ambientales que se generan por la extracción de las materias primas que alimentan a la electromovilidad. Por esta razón se deben sumar esfuerzos para realizar estudios exhaustivos sobre los impactos ambientales y por ende sociales que se generan por la industria del litio, además de la ejecución de monitoreos de los componentes bióticos y abióticos afectados por las actividades litíferas en los ecosistemas y comunidades de los salares argentinos y sus áreas colindantes.

En cuanto al saldo socioambiental que deja la electromovilidad, es necesario que se consideren en estudios futuros a todos los elementos que están presentes en la fabricación de las baterías de ion litio (como es el caso del cobalto, níquel, manganeso, aluminio, etc) que alimentan a los vehículos eléctricos, así como todas las etapas - extracción/producción-comercialización y consumo- a las que están sometidas estas materias primas. De esta forma se buscaría una comparación más acertada al momento de ofrecer un análisis del saldo *ecológico* de la transición a la electromovilidad. Todo este conjunto y acumulación de impactos ambientales y sociales son los que deberían compararse frente a los impactos socioambientales que se generan durante todas las etapas de producción y consumo de los combustibles fósiles en el sector del transporte terrestre.

Lista de referencias

- Aguilar Franco y Zeller Laura. 2012. *Litio: El Nuevo Horizonte Minero Dimensiones Sociales, Económicas y Ambientales*. Córdoba: Centro de Derechos Humanos y Ambiente (CEDHA).
- Anlauf, Axel. (2017). “Greening the imperial mode of living? Socio-ecological (in)justice, electromobility, and lithium mining in Argentina”. En *Fairness and Justice in Natural Resource Politics*. Pichler, Melanie et al., 164-80. New York: Routledge.
- . 2015. “¿Secar la tierra para sacar el litio? Conflictos Socio-Ambientales en la minería del Litio”. En: Nacif, Federico; Lacabana, Miguel. *ABC del litio sudamericano: Soberanía, ambiente, tecnología e industria*, 171-192. Buenos Aires: Centro Cultural de la Cooperación Floreal Gorini.
- Aranda, María. 2018. *Una minería del agua: Análisis espaciotemporal de la región del Salar de Olaroz: Implicancias ambientales, estrategias de sustentabilidad y crecimiento económico local ante la minería del litio*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- Argento Melisa y Puente Florencia. 2015. “Conflictos territoriales y construcción identitaria en los salares del noroeste argentino”. En: Fornillo, Bruno. *Geopolítica del Litio: Industria, Ciencia y Energía en Argentina*, 123-56. Buenos Aires: Editorial El Colectivo.
- . 2019. “Entre el boom del litio y la defensa de la vida. Salares, agua, territorios y comunidades en la región atacameña”. En: Fornillo, Bruno. *Litio en Sudamérica Geopolítica, Energía, Territorios*, 173-211. Buenos Aires: El Colectivo; CLACSO; IEALC - Instituto de Estudios de América Latina y el Caribe.
- Barandiarán, Javiera. 2019. *Lithium and development imaginaries in Chile, Argentina and Bolivia*. Elsevier.
- Bertinat Pablo, Chemes Jorge y Arelovich Lisandro. 2014. *Aportes para pensar el cambio del sistema energético ¿Cambio de matriz o cambio de sistema?.* Quito: CAAP.
- . 2016. *Transición energética justa. Pensando la democratización energética*. Bonn: Friedrich Ebert Stiftung.

- de la Hoz Mauro, Martínez Verónica, Vedia José. 2013. *El litio: desde los salares a nuestros celulares*. Buenos Aires: Conicet-IBIGEO.
- CEPAL. 2020. La gobernanza del litio y el cobre en los países andinos. Naciones Unidas.
- DOE. 2019. *Research Plan to Reduce, Recycle, and Recover Critical Materials in Lithium-Ion Batteries*. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.
- Dorn, Felix. 2015. *Limitations to Social-Ecological Transformations: The Case of Soybean Cultivation and Lithium Mining in Argentina*. Innsbruck: University of Innsbruck.
- . 2019. *Electro-Movilidad y el Triángulo Del Litio (Argentina, Bolivia, Chile): Tendencias globales en el marco del cambio climático*. Innsbruck: University of Innsbruck.
- Enriquez, Armando. 2019. *Acciones y consecuencias de la explotación del litio en Jujuy. Un estudio desde la ecofilosofía*. Buenos Aires. Revista Tecnología & Sociedad.
- European Environment Agency 2018. *Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM)*. Reporte oficial, Luxembourg.
- Felix Creutzig, Patrick Jochem, Oreane Y. Edelenbosch, Linus Mattauch, Detlef P. van Vuuren, David McCollum y Jan Minx. 2015. *Transport: A roadblock to climate change mitigation?*. Berlin: Science.
- Fornillo, Bruno. 2019. *Litio en Sudamérica Geopolítica, Energía, Territorios*. Buenos Aires: El Colectivo; CLACSO; IEALC - Instituto de Estudios de América Latina y el Caribe.
- GT Ingeniería S.A.. 2020. *Estudio de Impacto Ambiental de la Instalación de Planta de Tratamiento de Aguas Servidas del Campamento de Operaciones en Proyecto Cauchari-Olaroz*.
- Hoekstra, Arjen. 2015. *The Water Footprint: The Relation*. Springer International Publishing Switzerland.
- Howey David, North Robin, Martinez-Botas Ricardo. 2010. *Road transport technology and climate change mitigation*. London: Grantham Institute for Climate Change.
- IFEU. 2019. *Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial*.
- International Energy Agency. 2020. *Global EV Outlook*. Reporte, Francia: IEA Publications.

- IPCC. 2014. *Cambio Climático 2014 Informe de Síntesis Resumen para responsables de políticas*.
- . 2014. *CAMBIO CLIMÁTICO 2014 Mitigación del cambio climático Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico*.
- . 2014. *Transport*. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- . 2019. *Calentamiento global de 1,5 °C Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza*.
- Kalantzakos, Sophia. 2019. *The Geopolitics of critical minerals*. Roma: Istituto Affari Internazionali.
- Kazimierski, Martín. 2018. *Almacenamiento energético frente al inminente paradigma renovable: el rol de las baterías ion-litio y las perspectivas sudamericanas*. Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales.
- Kelly, Jarod, Qiang Dai, y Michael Wang. 2020. *Globally regional life cycle analysis of automotive*. Springer.
- Kofler Barbel, Netzer Nina. 2014. *Una transformación energética mundial*. Bonn: Friedrich Ebert Stiftung.
- Kukreja, Balpreet. 2018. *Life Cycle Analysis of Electric Vehicles Quantifying the Impact*. Vancouver: The University of British Columbia.
- López Andrés, Obaya Martín, Pascuini Paulo y Ramos Adrián. 2019. *Litio en la Argentina: oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor*. Argentina: Banco Interamericano de Desarrollo.
- MADS. 2020. *Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional de la República Argentina*.
- Marchegiani Pía, Hellgren Jasmin, y Gómez Leandro. 2019. *Extracción de litio en Argentina: un estudio de caso sobre los impactos sociales y ambientales*. Fundación Ambiente y Recursos Naturales.
- Mediavilla Margarita, Miguel Luis, de Castro Carlos. 2011. *Un modelo marco para la transición energética*. Valladolid: Universidad de Valladolid.

- Message, Maarten. 2014. *Life Cycle Analysis of the Climate Impact of Electric Vehicles*. Bruselas: Mobility and Automotive Technology Research Centre (MOBI).
- Nacif, Federico. 2018. *El abc del litio*. Revista de ciencias sociales.
- Narins, Thomas. 2017. The battery business: Lithium availability and the growth of the global electric car industry. Elsevier.
- NE Klimaatakkoord. 2018. *Proposal for key points of the Climate Agreement*.
- Nieves Andrea, Domínguez Samuel, y Tarifa Enrique. 2014. *Análisis técnico-ambiental de la producción de carbonato de litio en el NOA*. Revista Argentina de Ingeniería.
- OROCOBRE. Sustainability Report 2019: Environmental Performance. Jujuy, 2019.
- Qiao, Qinyu, Fuquan Zhao, Zongwei Lui, Shuhua Jiang, y Han Hao. 2017. Comparative Study on Life Cycle CO₂ Emissions from the Production of Electric and Conventional Vehicles in China. Science Direct.
- Romeo, Gustavo. 2019. Riesgo ambiental e incertidumbre en la producción del litio en salares de Argentina, Bolivia y Chile. En: Fornillo, Bruno. *Litio en Sudamérica Geopolítica, Energía, Territorios*, 223-52. Buenos Aires: El Colectivo; CLACSO; IEALC - Instituto de Estudios de América Latina y el Caribe.
- Sacher, William. 2019. Segunda Contradicción del Capitalismo y Megaminería. Tesis doctoral, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- U.S. Geological Survey. 2012. *Lithium in batteries*.
- . 2017. *Chapter K. Critical Mineral Resources of the United States—Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply*.
- . 2020. *Mineral Commodity Summaries: Lithium*.
- Zicari Julián, Fornillo Bruno, Gamba Martina. 2019. *El mercado mundial del litio y el eje asiático. Dinámicas comerciales, industriales y tecnológicas (2001-2017)*. Polis, Revista Latinoamericana.