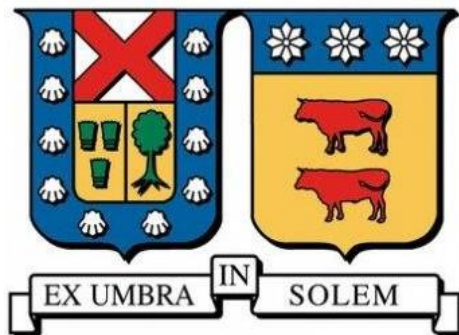




UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

**ANÁLISIS ECONOMETRICO DE LA DEMANDA DE CARBONATO DE LITIO Y
ESTUDIO DE COSTOS DE BATERÍAS DE ION DE LITIO.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERIA CIVIL INDUSTRIAL

AUTOR

EDUARDO ANDRES VALENZUELA RUIZ

PROFESOR GUÍA

MARIA ELISA FARIAS GORDON

SANTIAGO DE CHILE, 19 DE ENERO, 2024

Resumen Ejecutivo

Esta investigación tiene como objetivo central dos áreas de estudio en el contexto del litio y las baterías de ion de litio. En primer lugar, se enfoca en el análisis de la demanda de carbonato de litio mediante modelos econométricos, incluyendo el Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), el Modelo de Mínimos Cuadrados en Dos Etapas (MC2E) y el Modelo Autorregresivo Integrado de Medias Móviles (ARIMA). Los datos para este análisis se obtienen principalmente de las exportaciones de insumos necesarios para elaboración de baterías de ion de litio y otros productos derivados de este mineral.

El objetivo principal en esta parte de la investigación es determinar las elasticidades de la demanda de carbonato de litio y la relación entre sus variables, sin incluir pronósticos a largo plazo.

En segundo lugar, se aborda el estudio de costos de las baterías de ion de litio utilizando el modelo BatPaC, centrándose en estimar el costo por gramo de litio en una batería tipo níquel, cobalto y manganeso “NCM622” y el precio por gramo de litio que paga el usuario final de manera estimada. Es importante destacar que esta investigación no tiene como objetivo evaluar la viabilidad de proyectos de producción de baterías de ion de litio, sino proporcionar una aproximación a los costos y al valor agregado del litio en estas baterías.

Índice

1	Problema de investigación	6
2	Objetivos	9
2.1	Objetivo General	9
2.2	Objetivos Específicos.....	9
3	Marco Teórico	10
3.1	El volumen y Valor de las Exportaciones de Litio y sus Derivados de Chile y de los Principales Países Importadores.....	12
3.2	Los Productos Elaborados con Litio Importados y los Principales Países Exportadores	17
3.3	Los Precios de Venta de los Productos Exportados e Importados	19
3.4	La Estructura de Costos de Producción de los Productos Exportados e Importados, Incluyendo Costos Laborales, de Energía y Materias primas.....	20
3.5	La Tecnología Utilizada en la Producción de Litio y sus Derivados en Chile y en los Principales Países Exportadores e Importadores	21
3.6	Las Tendencias y Perspectivas del Mercado Mundial de Litio y sus Derivados.....	29
3.6.1	Consumo por uso final	31
3.6.2	Baterías de litio	32
3.6.3	Proyección de la demanda de litio	34
3.6.4	Proyección de la composición química de los derivados del litio	35
3.7	Análisis Pestel.....	37
3.7.1	Político.....	37
3.7.2	Social	43
3.7.3	Económico.....	51
3.7.4	Tecnológico.....	60
3.7.5	Medio ambiente.....	67
3.7.6	Legal	72
3.8	FODA	82
3.8.1	Fortalezas	82
3.8.2	Oportunidades	83
3.8.3	Debilidades.....	85
3.8.4	Amenazas	87
4	Metodología.....	88
4.1.1	(Introducción al modelo BaTPaC).....	97

5	Alcance.....	99
6	Resultados.....	101
6.1	Modelos de estimación de demanda de litio para Chile y el Mundo.	101
6.1.1	Modelo de Regresión Log-Lineal MCO:.....	102
6.2	Modelos de demanda mundial de litio.	104
6.2.1	[1] Log MCO:	105
6.2.2	[2] Log MC2E:	107
6.2.3	[3] ARIMA(2,1,0).....	111
6.3	Modelos para la demanda de Litio en Chile.....	114
6.3.1	[1] Log MCO	115
6.3.2	[2] Log MC2E	117
6.3.3	[3]ARIMA(1,0,0)	119
6.3.4	Conclusiones	122
6.4	Evaluación de costos	123
6.4.1	Descripción de la Estimación de Costos	123
6.4.2	Resultados de versión por defecto.....	127
6.4.3	Resultados para chile con litio a costo de producción	130
7	Conclusiones y recomendaciones	135
8	Referencias.....	140
9	ANEXOS	145
9.1	Anexo A:	145
9.2	Anexo B	175

Introducción

El litio se ha convertido en un activo estratégico a nivel global debido a su papel fundamental en la fabricación de baterías de iones de litio, esenciales para vehículos eléctricos, dispositivos electrónicos y sistemas de almacenamiento de energía renovable. Chile, como uno de los principales productores mundiales de litio, se encuentra en una posición única para aprovechar las oportunidades económicas que esto ofrece.

Examinaremos la demanda global de litio, sus usos en diversas industrias, y cómo el auge de la movilidad eléctrica está generando un crecimiento exponencial en la necesidad de este mineral. Además, se presenta un análisis utilizando un modelo econométrico log lineal multivariable para conocer los principales determinantes que influyen en la demanda.

Pero más allá de la exportación de litio en forma de carbonato, uno de los principales puntos de debate que exploraremos es la idea de si Chile debiese dar un paso más allá, agregando valor al litio al producir baterías de litio u otros productos derivados que son componentes esenciales en la cadena de suministro de baterías.

1 Problema de investigación

Chile hoy cuenta con uno de los principales yacimientos de litio en el mundo tal como indica U.S. Geological Survey “Cuatro operaciones minerales en Australia, dos operaciones de salmuera cada una en Argentina y Chile, y dos operaciones de salmuera y una operación mineral en China representaron la mayor parte de la producción mundial de litio.” (2022, p. 101), metal muy utilizado en la fabricación de baterías recargables, destinadas a almacenar y alimentar de energía eléctrica a vehículos, smartphones y otros dispositivos. Este contexto ubica al país en una posición fundamental en la cadena de suministros a nivel mundial de este mineral, más aún, dada la búsqueda de nuevas fuentes de energía sustentable como por ejemplo solar y eólica para generar electricidad que debe ser almacenada y estar disponible de forma rápida y eficiente.

El litio es un componente relevante, actualmente visto como un jugador valioso en la reducción de las emisiones de combustibles fósiles, dado el potencial de las baterías de litio para el almacenamiento de energía, en aplicaciones finales que van desde la electrónica de consumo hasta los vehículos eléctricos. (Moreno-Brieva y Marín, 2019, p. 232)

Materias primas como el litio y otros minerales, se exportan y son comercializados como insumos para la fabricación de productos más complejos y de mayor valor, dichos productos son fabricados por economías con mayor capacidad productiva por ejemplo China y otros países de Asia.

Actualmente, China alberga el 75 % de toda la capacidad de fabricación de celdas de batería y el 90 % de la producción de ánodos y electrolitos. El aumento de los precios del litio también ha llevado a mayores inversiones en instalaciones de refinería de carbonato e hidróxido en el país, lo que lo convierte en el principal refinador de metales para baterías a nivel mundial. (Henze, 2022 a, p. 1). Según lo anterior, dichos productos son posteriormente importados y consumidos en el

mercado nacional, en consecuencia, un producto de valor más alto que el obtenido inicialmente por el intercambio de la materia prima original.

La oferta de estas materias como recursos naturales no es infinita, existe un límite tanto es disponibilidad como en la creciente complejidad de los procesos de explotación.

El problema que se aborda en este estudio es determinar cuál es el valor agregado que se pierde por la exportación de litio en bruto y cuál es el valor que se podría agregar si se elaboraran productos derivados del litio en Chile. En este sentido ¿es factible que Chile pueda agregar valor a estos productos acortando la brecha entre la economía nacional y las grandes economías líderes? El costo de oportunidad al exportar el litio bruto se puede medir por los ingresos dejados de recibir y a la vez por el desarrollo económico que se pierde a través del aumento de valor agregado en el producto antes de exportarlo.

La región de América latina posee casi el 40% de la producción de minas de litio, tal como se observa en el reporte del mercado de litio y sus proyecciones a 2030 según la Dirección de Estudios y Políticas Públicas de Cochilco de (González y Cantallopé, 2021): “Australia es el principal productor a nivel mundial, contribuyendo cerca de la mitad de la producción mundial (46%). Le sigue Chile (32%), China (10%) y Argentina (8%)” Por tanto, se encuentra en una posición bastante atractiva para negociar estas materias y sus productos derivados, ¿Existen oportunidades de mercado que permitan al país competir y comercializar productos de litio de mayor valor agregado y que aporten al desarrollo?, a priori la respuesta parece ser positiva.

El ciclo ascendente del precio del litio es un proceso traccionado por fuerzas que están fuera del alcance de los países que cuentan con recursos abundantes. El principal impulso proviene de una mayor demanda originada en la aceleración de la transición hacia la electromovilidad, que

tiene lugar en el marco de los compromisos internacionales que tienen como propósito reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Obaya y Céspedes, 2021, p. 127).

En este sentido, se espera entregar un análisis base para la comprensión y estimaciones de órdenes de magnitud en las diferencias de valor entre factores productivos en el intercambio de bienes, con la intención de aportar una nueva mirada en la comparación de las economías con los países socios y la detección de nuevas oportunidades de desarrollo.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Analizar y comparar el valor agregado y elasticidad de la demanda, de las exportaciones de litio y sus derivados en Chile versus los productos importados elaborados con este mineral, para detectar oportunidades de negocio, desarrollo técnico y económico.

2.2 Objetivos Específicos

Evaluar la demanda global de productos elaborados con litio, incluyendo baterías de litio, y lo minerales asociados a la producción.

Evaluar la elasticidad de la curva de demanda de carbonato de litio mundial vs la demanda de litio de Chile, comparar modelos y determinar el de mejor ajuste.

Realizar un análisis de costo-beneficio de la producción de productos elaborados con litio en Chile, en términos de costos de producción.

Comparar los costos y beneficios de importar productos elaborados con litio versus producirlos localmente.

Identificar las oportunidades y desafíos que enfrenta la industria de productos elaborados con litio en Chile, proponer que acciones serian recomendables para fomentar la industria nacional.

3 Marco Teórico

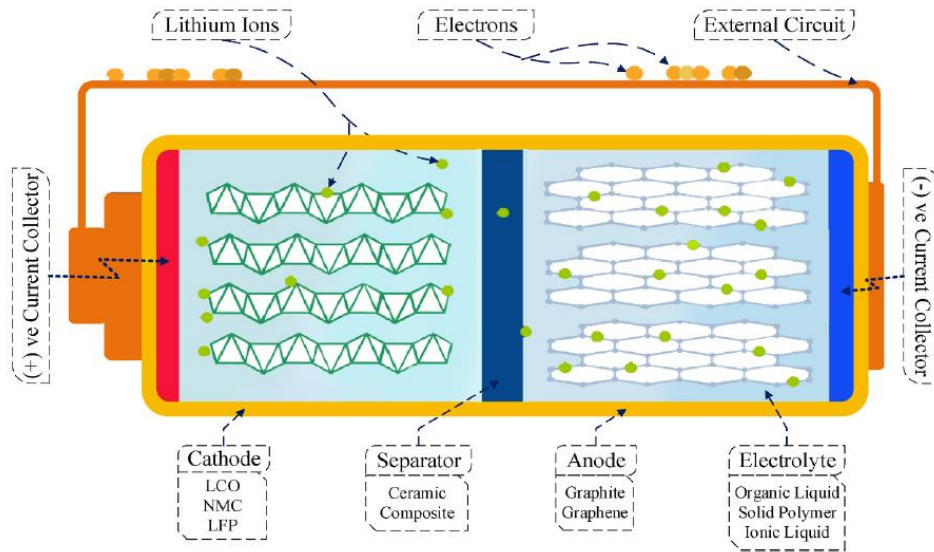
El mercado del litio y en particular del carbonato de litio ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, situación que en gran medida ha sido impulsada por la demanda de baterías de iones de litio utilizadas en vehículos eléctricos y dispositivos portátiles. Como veremos más adelante, dentro de la distribución de los usos del litio la fabricación de baterías es la que presenta mayor peso relativo y en este contexto será el producto de interés a analizar.

Para entender un poco más en que consiste este producto una buena aproximación es revisar un esquema ilustrativo de sus componentes en el esquema adjunto de la Figura 1.

En la figura, podemos visualizar los principales componentes de la batería de ion de litio, ánodo, cátodo, separador y electrolitos. Estos materiales permiten que los iones de litio pasen a través del separador entre el cátodo y el ánodo durante el proceso de carga y descarga. En general para la fabricación de ánodos se utilizan materiales como: litio que es de nuestro interés así también, carbón de grafito, carbón duro, grafito sintético entre otros, y por otro lado, para la fabricación del cátodo, se utiliza: litio, níquel, manganeso, óxido de cobalto, óxido de aluminio, cobalto, níquel y fosfato de hierro. (Sayem et al., 2023)

Figura 1

Componentes de una Batería de Litio.



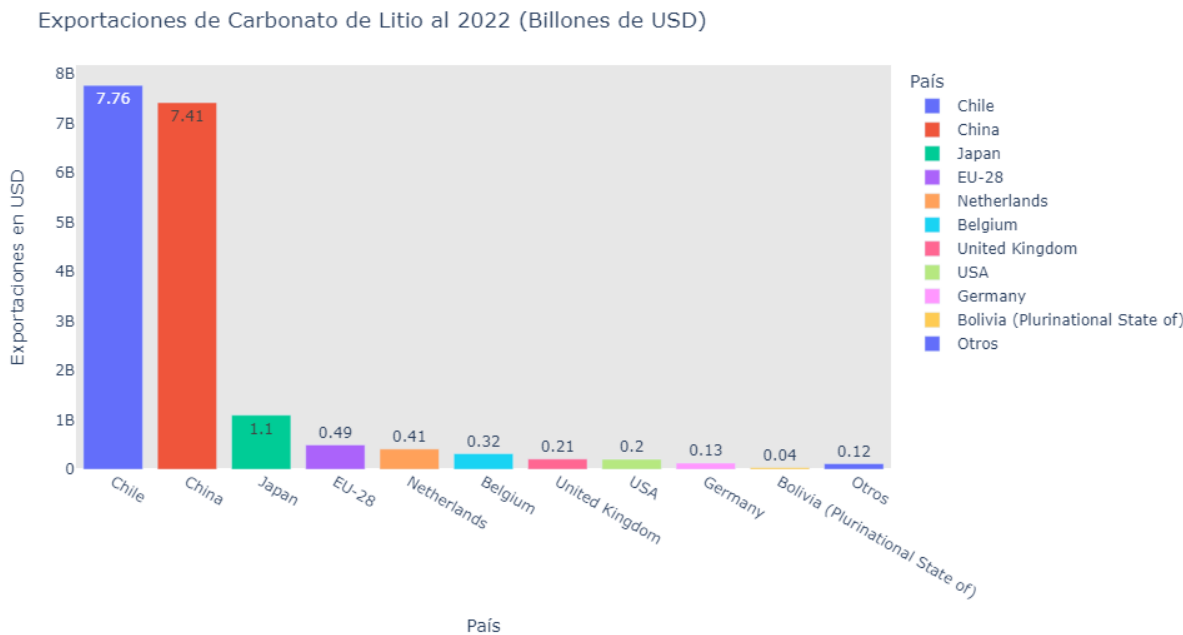
Nota. Tomado de Sayem et al., 2023

El objetivo de este trabajo no es profundizar en el estudio de las baterías sino más bien en los elementos macroeconómicos de su cadena de valor. Según esto, será necesario definir entonces algunos conceptos y presentar algunas estadísticas que permitan realizar un análisis comparativo.

3.1 El volumen y Valor de las Exportaciones de Litio y sus Derivados de Chile y de los Principales Países Importadores

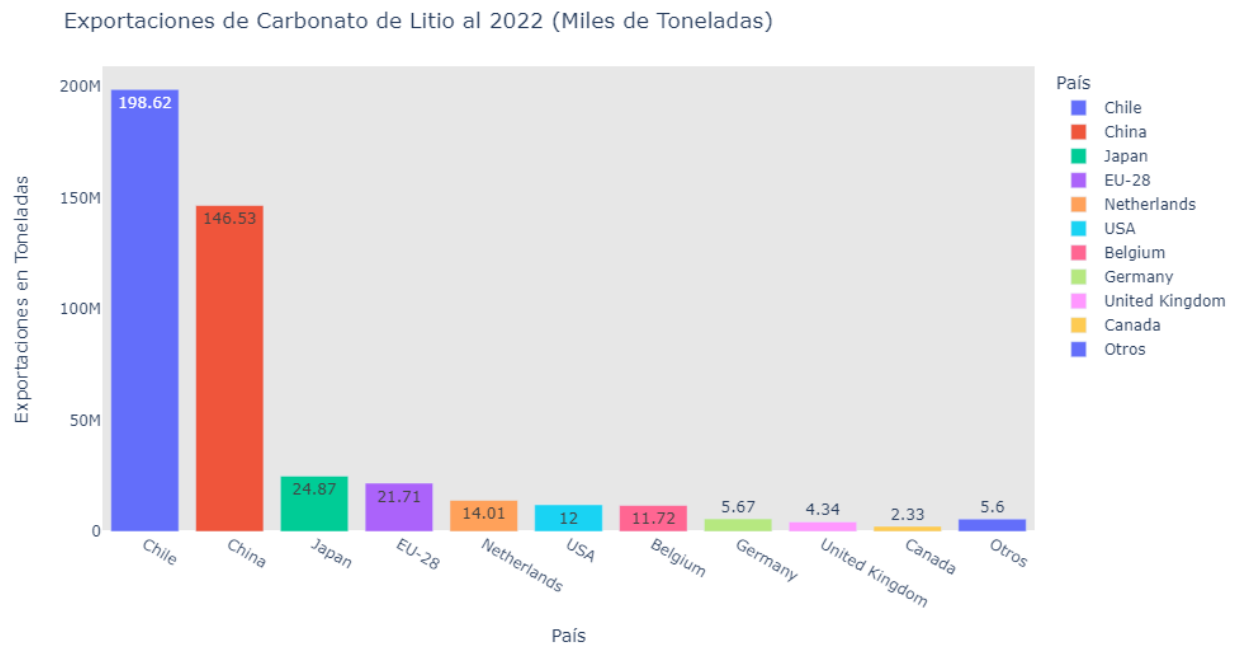
A continuación, se presentan los principales indicadores respecto a las exportaciones de Carbonato de litio para los 10 principales países exportadores incluido Chile ver figura 2 y figura 3.

Figura 2



Nota. Elaboración propia con datos tomado de <http://data.un.org>, 2023

Figura 3

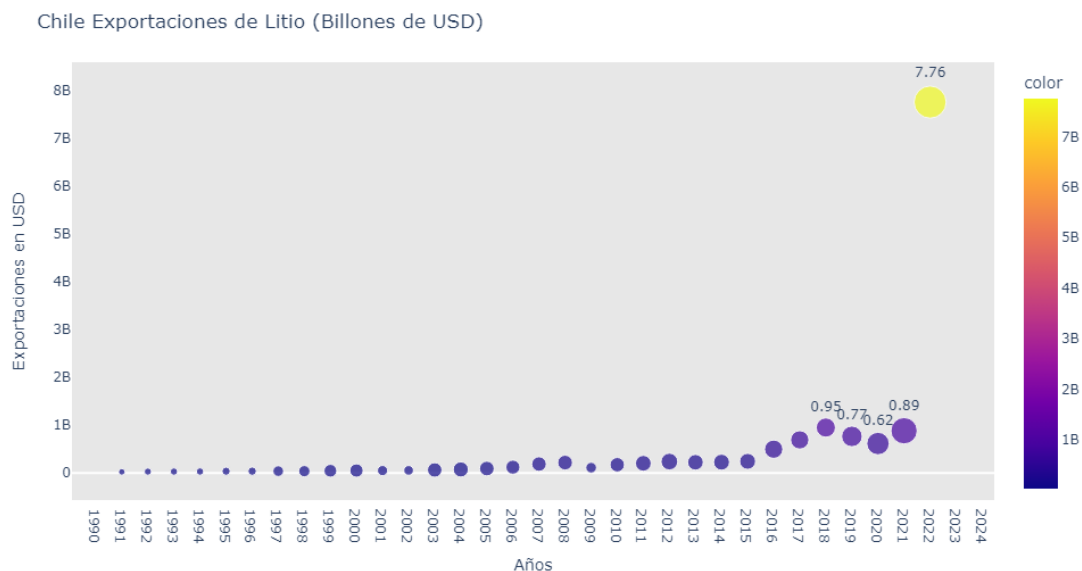


Nota. Elaboración propia con datos tomado de <http://data.un.org>, 2023

Vemos como Chile tanto a niveles de exportaciones en USD como en Toneladas es líder en la exportación de Carbonato de litio con 7,76 Billones de USD y 198,63 Millones de Toneladas seguido por China y Japón en ambas categorías.

Por otro lado, como podemos ver en la Figura 4, las exportaciones de Chile de Carbonato de litio tanto en USD como en Toneladas van al alza presentando un fuerte incremento en 2022.

Figura 4

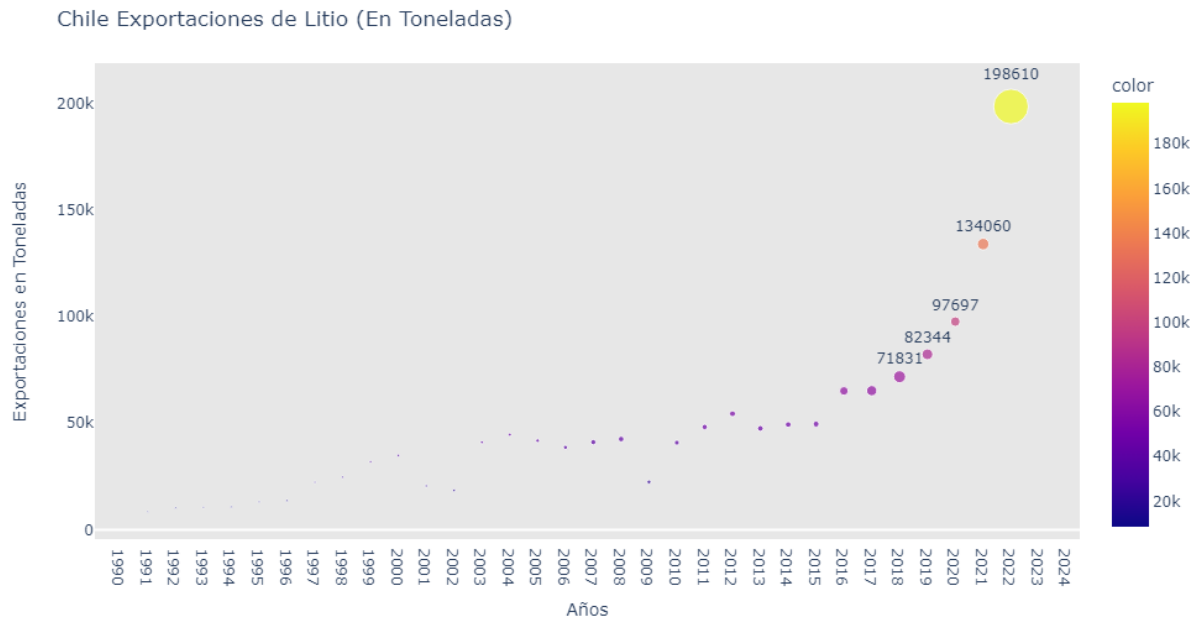


Nota. Elaboración propia con datos tomado de <http://data.un.org>, 2023

Como referencia los últimos 5 años (entre 2018 y 2022) vemos un fuerte crecimiento en las exportaciones. En que, de aproximadamente 0,95 billones de USD en 2018 estas aumentaron a 7,76 billones de USD en 2022. Es decir, un crecimiento de casi un 715% respecto al año anterior. A su vez también aumento la cantidad de toneladas exportadas: “En 2022 el mineral fue el principal producto de la oferta no cobre, con embarques que aumentaron un 777% frente a 2021” (Toledo, 2023).

Es decir, el crecimiento no viene dado solo por aumentos en el precio del mineral sino también por aumento en los volúmenes de exportación, ver figura 5.

Figura 5



Nota. Elaboración propia con datos tomado de <http://data.un.org>, 2023

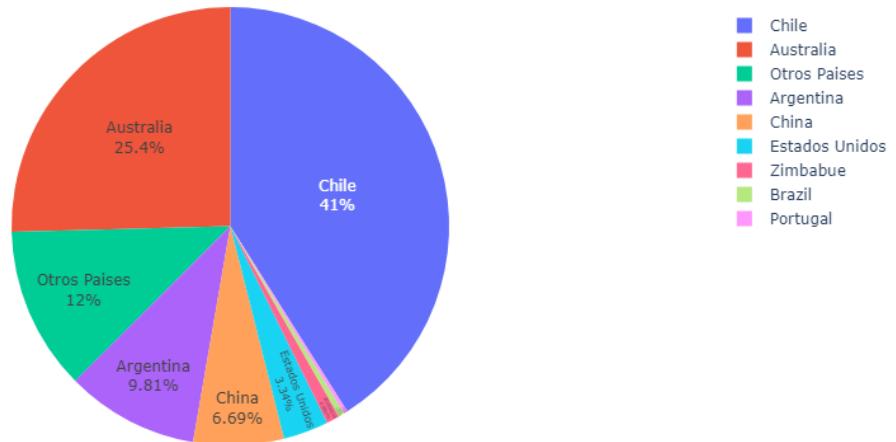
Este mineral adquiere mayor relevancia durante los años y por tanto asegurar el suministro es clave para los países desarrollados, tal como indica U.S. Geological Survey (2022, pág. 101). Es decir, la seguridad del suministro de litio se ha convertido en una prioridad para las empresas de tecnología en Asia, Europa y Estados Unidos.

En otras palabras U.S. Geological Survey insiste en que es muy importante mantener alianzas estratégicas conjuntas entre empresas de tecnología y empresas de exploración bajo la premisa de garantizar un suministro confiable y diversificado de litio para proveedores de baterías y fabricantes de vehículos identificando además que las principales fuentes de litio a base de salmuera se encontraban en diversas etapas de desarrollo en Argentina, Bolivia, Chile, China y en Estados Unidos. En este contexto, para contextualizar la distribución de las reservas de Litio

identificadas, podemos ver que Chile cuenta con 9.200.000 toneladas de reserva de este mineral, ver figura 6.

Figura 6

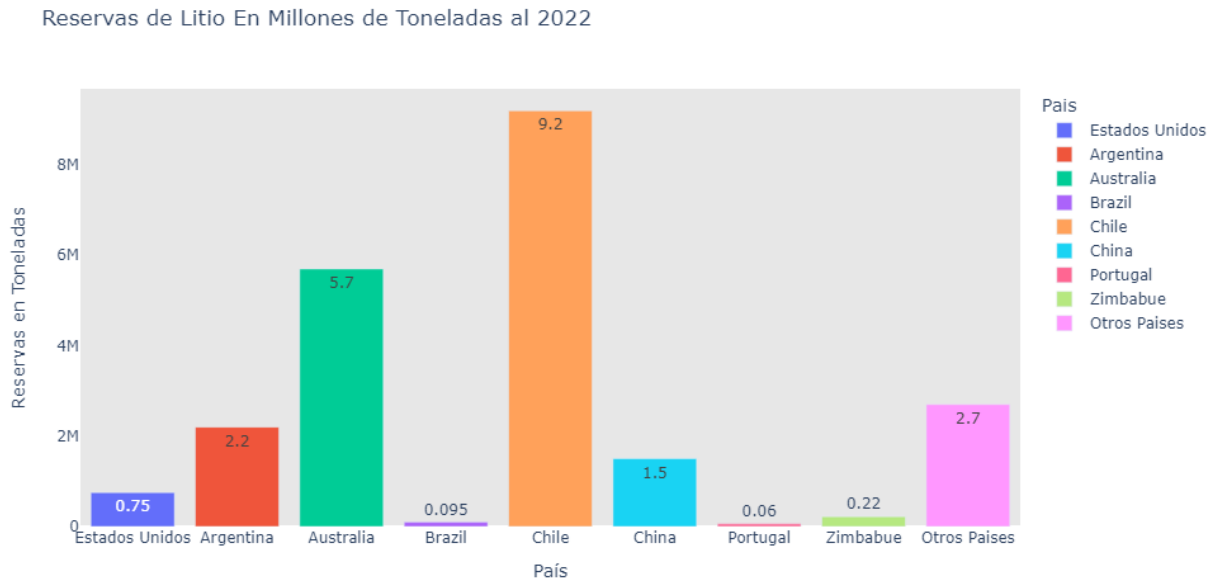
Distribución de reservas de Litio por País



Nota. Tomado de U.S. Geological Survey, 2022

Según la figura vemos como Chile cuenta con un 41% de las reservas y si además agregamos la región con Argentina excluyendo Bolivia, latino-américa poseería la mayor reserva de litio del mundo, ver figura 7.

Figura 7



Nota. Tomado de U.S. Geological Survey, 2022

3.2 Los Productos Elaborados con Litio Importados y los Principales Países

Exportadores

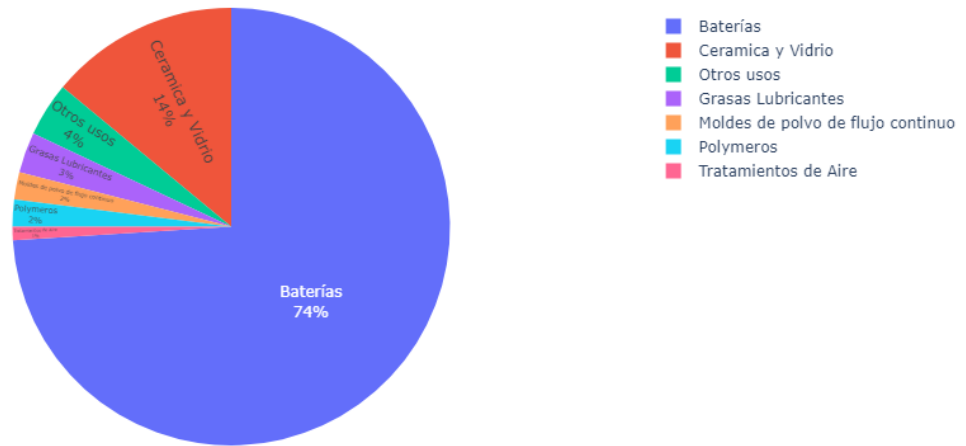
Una primera aproximación a este punto es distinguir cuales son los usos potenciales del litio.

Aunque los mercados de litio varían según la ubicación, los mercados globales de uso final se estiman de la siguiente manera: baterías, 74%; cerámica y vidrio, 14%; grasas lubricantes, 3%; polvos de fundente para moldes de colada continua, 2%; producción de polímeros, 2%; airetratamiento, 1%; y otros usos, 4%. (U.S. Geological Survey, 2022)

De lo anterior, vemos que en su mayoría (74%) el uso del carbonato de litio es para la producción de baterías de ion de litio, ver Figura 8.

Figura 8

Distribución del Litio por usos



Nota. Tomado de U.S. Geological Survey, 2022

Es en este contexto donde se profundizará en el mercado de las baterías de ion de litio y su producción ya que como vimos anteriormente estas explican más del 70% del uso del mineral.

Más aún, dado el aumento de su demanda actual en el contexto de la electromovilidad y las iniciativas de financiamiento de créditos “verdes” para las industrias que busquen reducir emisiones.

3.3 Los Precios de Venta de los Productos Exportados e Importados

Los precios de las baterías de ion de litio han ido a la baja durante los años, ver Figura 9, no obstante, en el último año han aumentado levemente.

Los precios podrían haber aumentado aún más en 2022 si no hubiera sido por la mayor adopción de la química de cátodos de bajo costo conocida como LFP y la reducción continua del costoso cobalto en los cátodos a base de níquel. En promedio, las celdas LFP eran un 20 % más baratas que las celdas de litio, níquel, manganeso y óxido de cobalto (NMC) en 2022. Sin embargo, incluso las químicas de bajo costo como LFP, que está particularmente expuesta a los precios del carbonato de litio, han sentido el aumento de los costos en todo el mundo. cadena de suministro. Los precios de los paquetes de baterías LFP aumentaron un 27% en 2022, en comparación con 2021. (Henze, 2022 b)

Figura 9



Nota. Las unidades están expresadas en USD/kwh, Tomado de Henze, V. 2022 b

De la mano con el aumento en la demanda, viene el aumento de los precios de las baterías dado el aumento de la materia prima para construirlas, lo cual tendrá un impacto en los costos de producción de dichas baterías.

3.4 La Estructura de Costos de Producción de los Productos Exportados e Importados, Incluyendo Costos Laborales, de Energía y Materias primas

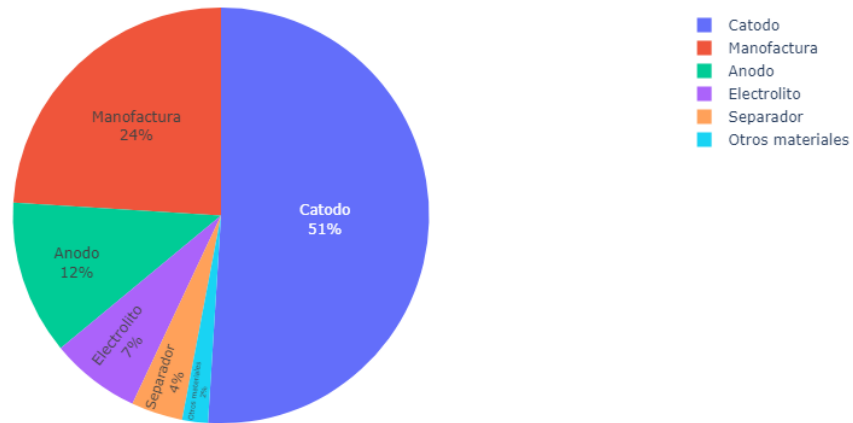
Respecto a este punto y por lo expuesto en 3.1.1, la referencia será la estructura de costos de las baterías de ion de litio, en este contexto la distribución de costos por driver es muy importante.

Durante la última década, los precios han caído de casi \$1,200 por kilovatio-hora a solo \$137/kWh en 2020. Para un EV con un paquete de baterías de 50 kWh, eso representa un ahorro de más de \$43,000 en términos reales. (Frith, 2021).

Para entender como están distribuidos estos costos ver figura 10.

Figura 10

Distribución costos de batería de Litio



Nota. Elaboración propia con datos tomado de Frith, 2021

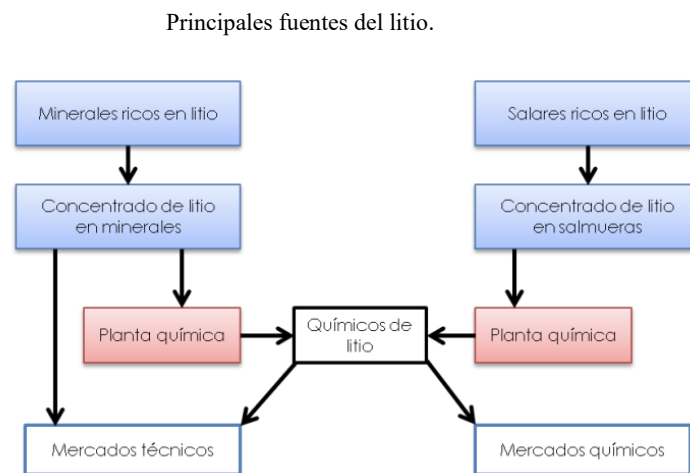
Se aprecia que el cátodo representa el mayor porcentaje de los costos con 51% y por su parte el Ánodo de estar fabricado con el mismo material sumaría otro 12%, es aquí donde entra en juego lo expuesto anteriormente en el esquema de la batería de litio. Dado que el cátodo está hecho con este mineral el valor del mismo impactara en más del 50% aproximadamente de los costos de las baterías como referencia a un costo de 101 USD/kwh en 2021. Como se vé, la relación es directa, alzas en los precios del carbonato de litio impactarán en los costos de las baterías que dependan del mineral para su fabricación.

3.5 La Tecnología Utilizada en la Producción de Litio y sus Derivados en Chile y en los Principales Países Exportadores e Importadores

Existen muchas tecnologías asociadas a la extracción del litio que podríamos mencionar. Como primera aproximación, se entrega un flujo conceptual de las fuentes y cadena de producción,

en general se distinguen 2 fuentes para la extracción del litio: (i) la primera es de minerales ricos en litio como pegmatitas y (ii) la segunda, es de sales disueltas en salmueras en los salares, que posteriormente son concentradas y despachados a plantas químicas para la elaboración de químicos (disponibles en los diferentes mercados técnicos o químicos), ver Figura 11.

Figura 11



Nota. Tomado de (Subsecretaría de Minería, 2013)

El principal método empleado en Chile, como en la mayoría del mundo para la extracción de litio desde salmueras, consiste en una primera etapa de concentración por evaporación solar en piscinas. Este método evapora entre 85-95% del agua contenida en las salmueras, perdiéndola en la atmósfera. (Estay, 2022, p. 1)

Lo que indica Humberto Estay, esta en línea con lo que se aprecia también en el reporte de la Subsecretaría de Minería.

En la actualidad, el litio se extrae de las salmueras de salares y de rocas pegmatíticas. Para

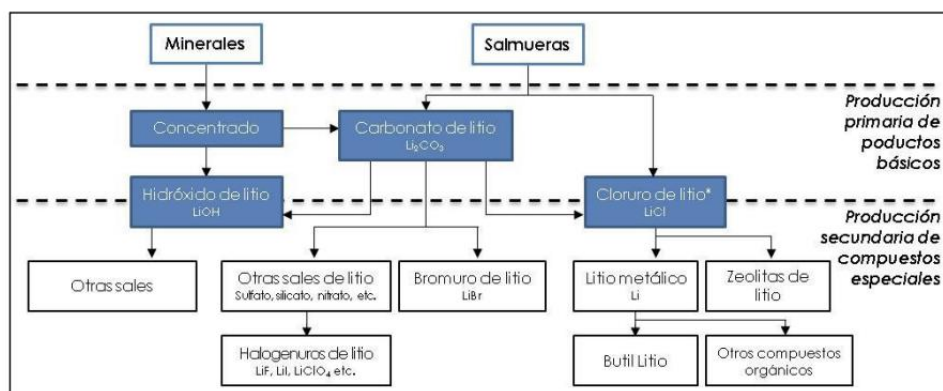
ello se aplican solo dos procesos de extracción comercialmente:

- Evaporación solar y concentración de salmueras extraídas de salares y la extracción posterior de carbonato o cloruro de litio.
- Explotación de minerales pegmatíticos de litio (p.ej. espodumeno, lepidolita y petalita) y su conversión a carbonato o hidróxido de litio.” (Subsecretaría de Minería, 2013, p. 7)

El producto que se obtiene de los concentrados de litio, son principalmente el carbonato y el hidróxido de litio, que son materias primas altamente demandas para la fabricación de productos mas complejos como se ha mencionado en capitulos anteriores, de al cadena de producción del litio podemos ver en figura 12 la producción primaria y secundaria.

Figura 12

Cadena de producción primaria y secundaria del litio



Nota. Tomado de (Subsecretaría de Minería, 2013)

Si bien tanto la evaporación solar y la explotación directa de minerales son las principales fuentes, se han instalado nuevas técnicas con la finalidad de optimizar los tiempos y costos en la producción, por ejemplo:

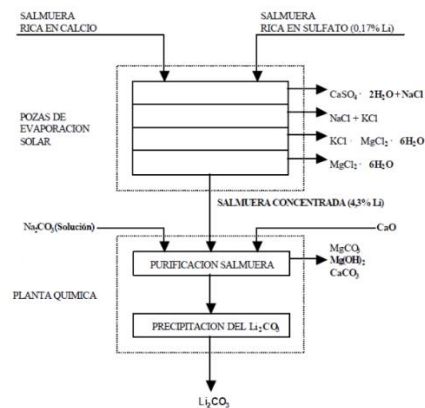
Salmueras: Método convencional el tiempo de producción es de entre 12 a 24 meses.

Algunos procesos para la extracción del litio desde salmueras son:

Evaporación de pozos: tras extraer la salmuera de los salares esta se deposita en pozas de evaporación, en varias etapas logrando un 4% de concentración de litio este proceso tarda entre 1 a 2 años, ver figura 13.

Figura 13

Proceso de producción de carbonato de litio a partir de la salmuera del salar de Atacama



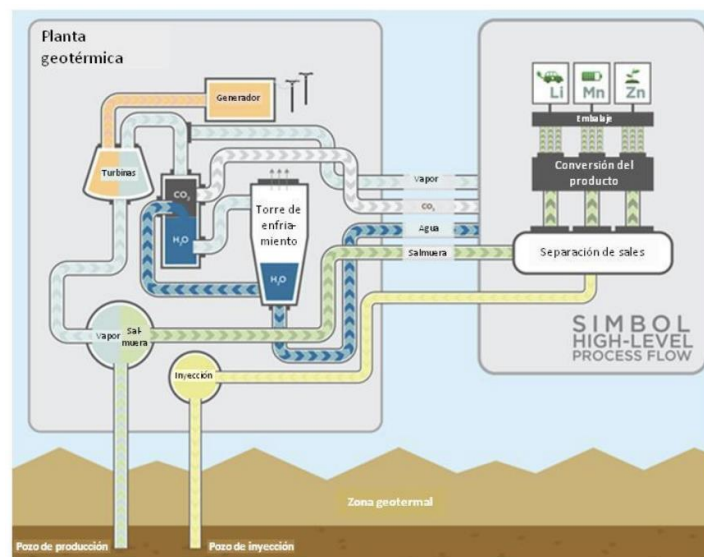
Nota. Tomado de (Subsecretaría de Minería, 2013)

Osmosis inversa: Proceso de bombeo de salmuera caliente, que se bombea desde profundidades, para generar vapor que alimenta turbinas para generar electricidad, de esta salmuera si es desviad

se pueden obtener minerales sólidos que si son filtrados antes de ser reinyectados en el ciclo de generación eléctrica se puede obtener un carbonato de litio de alta pureza, ver figura 14.

Figura 14

Flujo de proceso de la planta de osmosis inversa de litio.



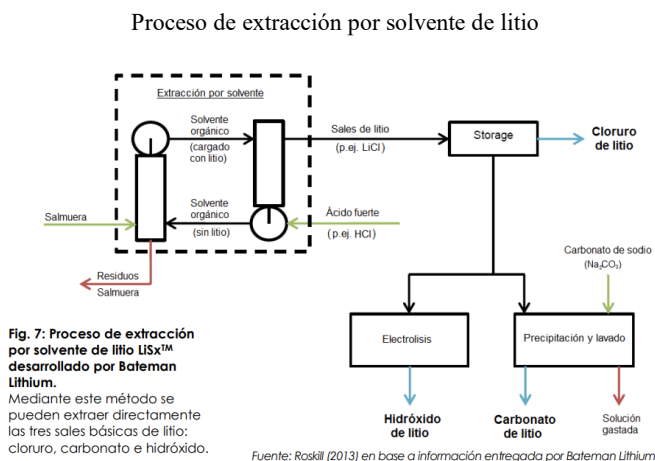
Nota. Tomado de (Subsecretaría de Minería, 2013)

Extracción química: Técnica desarrollada por la empresa POSCO en Surcorea reduce el tiempo de extracción de la salmuera a solo horas con una tasa de recuperación de 80% a 99,99%.

Extracción por solventes: Obtención del litio a partir de la extracción por solventes desde la salmuera o soluciones posteriores a la lixiviación de minerales, técnica desarrollada y patentada por Bateman Litwin Group, donde la mezcla de soluciones con un solvente orgánico donde se

disuelven los iones de litio, luego se separa el solvente de la solución acuosa, luego se interviene con ácido para eliminar el litio produciendo cloruro de litio, ver figura 15.

Figura 15



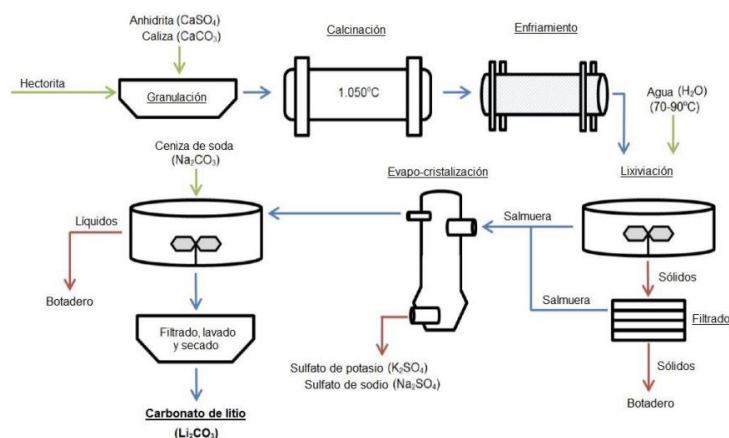
Nota. Tomado de (Subsecretaría de Minería, 2013)

Extracción de Pegmatitas: En general es un proceso de extracción de rajo abierto ya que en su mayoría las pegmatitas se encuentran cerca de la superficie, luego del proceso de perforadura y tronaduras, se producen concentrados de espodumeno, petalita este se somete a chancaduras, para ser separado por densidad en molienda y clasificación, luego se separan los minerales por magnetismo o flotación. Este proceso es de alto costo por la cantidad de energía requerida.

Extracción de depósitos de arcilla: Proceso de tostado o roasting, la arcilla es mezclada y granulada con anhidrita y caliza para luego ser calentada a 1050 °C para liberar el sulfato de litio, este soluble en agua genera una salmuera desde la cual finalmente se extraerá el carbonato de litio, ver figura 16.

Figura 16

Producción de carbonato de litio a partir de arcillas sedimentarias (hectoritas)



Fuente: Roskill (2013) en base a información de Western Lithium

Nota. Tomado de (Subsecretaría de Minería, 2013)

3.1 Las Políticas Gubernamentales y Regulaciones que Afectan la producción y Exportación de Litio y sus Derivados en Chile y en los Principales Países Exportadores e Importadores

Dentro de las normativas del sector en minería en particular para el litio, encontramos el decreto 23, tal como indica el Ministerio de Minería.

Establece requisitos y condiciones del contrato especial de operación para la exploración, explotación y beneficio de yacimientos de litio que el estado de Chile suscribirá, conforme a las bases de licitación pública nacional e internacional que se aprobarán para estos efectos. (Ministerio de Minería, 2021, p. 1)

En este contexto podemos comparar con las políticas públicas de otros países ver tabla 1.

Tabla 1

Políticas públicas en el ámbito del litio en otros países

País	Propiedad	Legislación	Impuesto a la renta	Royalty
Argentina	Concesible	Considerado un recurso estratégico en las provincias de Catamarca, Salta y Jujuy, por el impacto socio económico de las provincias donde se extrae. En Jujuy, la empresa provincial JEMSE es participe de proyectos con un 8,5%. En estos casos los proyectos son aprobados por un comité de expertos.	35%	3%
Australia	Concesible	Minerales son del Estado. El litio es tratado como cualquier otro producto mineral.	30%	5%
Bolivia	No concesible	Por decreto, desde 6 de diciembre de 2010 todas las concesiones mineras vigentes pasan a ser "transitorias". Litio, como recurso evaporítico, solo puede ser explotado por la empresa estatal COMIBOL hasta los productos químicos básicos. Para productos secundarios COMIBOL podrá asociarse con privados manteniendo la mayoría estatal.	25%	12,5
Canadá	Concesible	Minerales son del Estado.	16,5	10-16%
Chile	No concesible	Litio considerado estratégico y de interés nuclear. Debe explotarse por el Estado o sus empresas o con contratos especiales. En concesiones anteriores al año 1979 se puede extraer Li, para lo cual se requiere una autorización de la CCHEN que fija la cantidad total de Li equivalente que puede vender. En concesiones del año 1983 en adelante solo puede explotarse por el Estado o sus empresas o con contratos especiales. El privado solo puede extraer las otras sustancias concesibles y separar el Litio a solicitud del Estado, El Estado se reserva la primera opción de compra. La CCHEN representa los intereses del Estado en materias de litio.	27%	-6,8% para litio -Arriendo a CORFO (SQM)
EEUU	No se requiere concesión	Dueño de un terreno es dueño del subsuelo. Al explotar litio, extrae minerales de su propiedad.	15-35%	--

Nota. Tomado de (Pérez y Schwarz, 2014)

Destacar que las principales diferencias respecto a las políticas se refieren a la propiedad, vale decir tanto en Chile como Bolivia es restrictivo y no es concesible, ya que se declara como un recurso estratégico. Por su parte Australia, Argentina y Canadá si bien declaran que la propiedad es del estado, admiten la posibilidad de concesión. En el caso de Australia en particular se trata como cualquier otro producto mineral y en el caso de Estados Unidos, no se requiere concesión ya que en este contexto de propiedad un dueño de terreno también posee el subsuelo y puede extraer los minerales de su propiedad.

3.6 Las Tendencias y Perspectivas del Mercado Mundial de Litio y sus Derivados

El escenario por demanda de litio es bastante positivo gracias a la creciente demanda por este mineral para las diferentes aplicaciones favorables para el desarrollo de energías sustentables, además los incentivos económicos hoy para las empresas de clasificarse como Empresas verdes, se ha vuelto cada vez más relevante tanto así que en 1999 fue creado el Dow Jones Sustainability Index, con la intención de reconocer a las empresas que tienen buenas prácticas en materia de sostenibilidad.

El Dow Jones Sustainability™ World Index abarca los líderes mundiales en sustentabilidad identificados por SAM. El índice busca representar el 10% superior de las 2,500 empresas de mayor tamaño del S&P Global BMI, con base en criterios económicos, ambientales y sociales de largo plazo. (Dow Jones, 2023, p. 1)

Por otro lado las proyecciones en termino de volúmenes de carbonato de Litio son bastante positivas y al alza como podemos revisar en el informe de Mercado de litio.

Proyectamos que la demanda de litio se incremente desde 327 kt de Carbonato de Litio Equivalente (en adelante LCE) en 2020 hasta 2.114 kt LCE en 2030, lo que supone un crecimiento anual compuesto de 21%. Este incremento descansa en el mayor consumo proyectado de baterías de ion-litio del sector automotriz. En efecto, anticipamos que el segmento de vehículos eléctricos pase de representar el 41% del consumo agregado de litio en 2020 a un 73% en 2030. (González y Cantallops, 2021, p. 2)

Vemos como gracias al crecimiento en la demanda de productos derivados como las baterías de litio para autos eléctrico y el interés mundial por el desarrollo de estos nuevos mercados

y productos sustentables, trae consigo un aumento en la demanda de materias primas y por tanto un aumento en los volúmenes demandados.

Por otra parte, si bien para 2019 existían superávits de mineral por los efectos de contracción de los mercados en 2020, se produjo un leve déficit en 2021, se puede agregar.

Si bien es esperable que estos se mantengan relativamente estables hasta 2027, el balance continuará en una situación de relativa constricción, lo que significará que cualquier interrupción en la oferta de operaciones existentes o retrasos en la puesta en marcha tanto de proyectos nuevos como de expansiones (que en efecto constituyen el grueso de la producción mina proyectada al 2030 con un 49% y un 10% respectivamente), causen déficits temporales. Más aún, ya a partir de 2027, proyectamos que la oferta no alcanzará a satisfacer la demanda esperada, creando un déficit creciente. (González y Cantallopis, 2021, p. 2)

De lo anterior se puede apreciar que los volúmenes demandados serán crecientes a 2027 y hasta 2030 según proyecciones y por su parte se espera que por distorsiones acumuladas de 2020 en adelante y el retraso en proyectos en el sector no sea posible cubrir la demanda futura en 2027 situación que a priori podría generar un aumento en el precio del mineral, situación que Chile también podría aprovechar a favor ya que es uno de los mayores productores de derivados de litio.

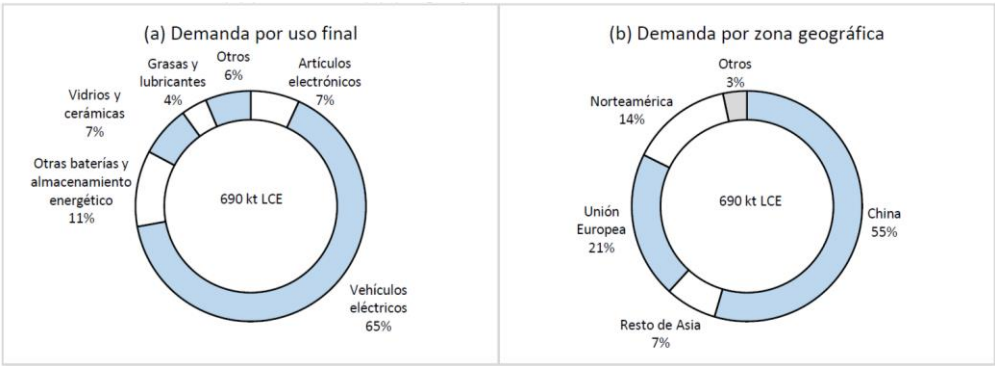
3.6.1 Consumo por uso final

En el informe de Cochilco “Mercado del litio Desarrollo reciente y proyecciones al 2035” de 2023, nos presentan una interesante actualización y apertura de la distribución de usos del litio, a diferencia del ya revisado en Figura 8, donde más del 70% (aproximadamente) del uso es en baterías, aquí podemos apreciar que dentro del uso para baterías, éstas se dividen en 2 grupos, uno para uso de vehículos eléctricos con el 64% del total del litio y otro para otras baterías y almacenamiento energético con el 11% del total, quiere decir que el mayor uso si bien son las baterías pero en particular la demanda de litio está impulsado por el uso final en vehículos eléctricos, ver figura 17.

Respecto a la demanda por zona es claro que China pose la mayor participación con un 55%, seguido de Europa y Estados unidos, ver figura 17.

Figura 17

Consumo de litio (a) por uso final y (b) según jurisdicción.



Nota. tomado de (González et al., 2023)

3.6.2 Baterías de litio

El litio es un metal liviano, sólido y poco denso, posee le mayor potencial electroquímico de los metales, todo esto permite que pueda almacenar una gran densidad de energía en un espacio liviano y pequeño, en otras palabras, posee la razón más alta relación carga/peso.

El litio es usado en los tres componentes principales de la batería de ion-litio: el ánodo, el electrolito y el cátodo. (Gonzáles et al, 2023)

El principal uso del litio en las baterías como se ha mencionado es en el cátodo, los cuales presentan diferentes proporciones y materiales como, por ejemplo:

NCM 622: 60% níquel, 20% cobalto y 20% manganeso, NCM 111: níquel, cobalto y manganeso en igual proporciones, LFP: Litio Ferro-Fosfato y NCA: Níquel-litio, Cobalto y óxido de Aluminio ver tabla 2.

Tabla 2

Principales usos potenciales, ventajas, desventajas y uso de litio de distintas tecnologías de cátodo.

Tipo de cátodo	Principales usos actuales y potenciales	Principales ventajas	Principales desventajas	Tipo	Uso de Li (kg/kWh)	
					Cátodo	Electrolito
Litio y óxido de cobalto (LCO)	Artículos electrónicos portátiles	Alta estabilidad química	Intensiva en cobalto Densidad energética limitada	-	0.15	
Níquel-litio, Cobalto y óxido de Aluminio (NCA)	Vehículos eléctricos de alta gama y artículos electrónicos portátiles	Alta densidad energética Alta vida útil	Menor estabilidad en relación a otras baterías con menor uso de níquel	-	0.14	0.04
Níquel-litio, Cobalto y Manganeso (NCM)	Vehículos eléctricos de gama media y artículos electrónicos portátiles	Alta estabilidad química Alta vida útil Costo moderado	Intensiva en cobalto (según modelo) Menor densidad energética que otras baterías con Ni.	111	0.16	0.05
				532	0.14	0.05
				622	0.13	0.05
				811	0.11	0.05
Litio, Óxido de Manganeso (LMO)	Herramientas eléctricas, e-bikes, scooters, equipos médicos de alto consumo	Alta tasa de carga Alta estabilidad química No contiene cobalto	Vida útil acotada Menor capacidad en relación a cátodos basados en cobalto	-	0.08	0.03
Litio, Manganeso, Óxido de Níquel (LMNO)	Vehículos eléctricos	Alta tasa de carga No contiene cobalto	Vida útil acotada	-	0.15	0.03
Litio Ferro-Fosfato (LFP)	Almacenamiento energético, e-bikes	Bajo costo Alta vida útil y estabilidad química No contiene cobalto	Densidad energética acotada		0.12	0.04
Litio sulfuro (LIS)	Drones y satélites	Alta densidad energética, bajo costo y bajo peso	Rápida degradación (baja vida útil) y baja conductividad en el cátodo		0.19	0.01
Litio Aire (Li-Aire)	Vehículos eléctricos, almacenamiento energético	Alta densidad energética	Baja estabilidad química y electroquímica		0.19	-

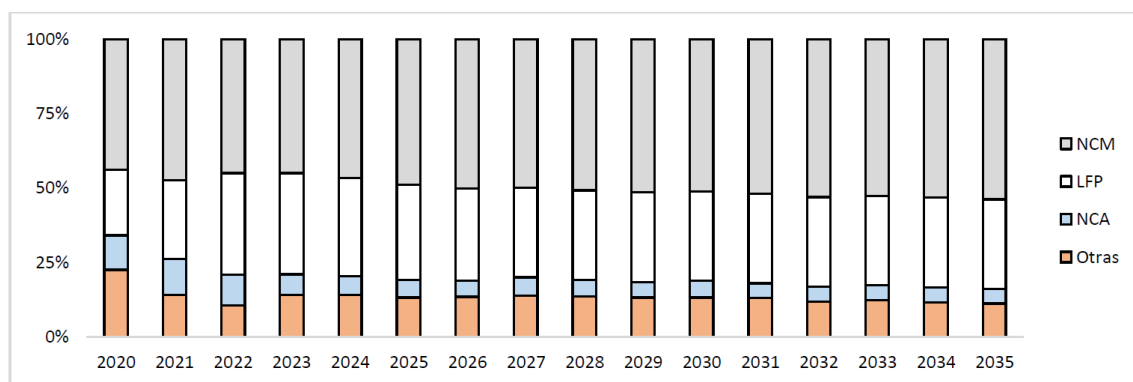
Nota. Tomado de (Gonzáles et al, 2023)

Respecto a la distribución de las tecnologías de cátodos de litio, la mayor participación corresponde a las baterías NCM (Níquel-Litio, Cobalto, Manganeso), en 2022 concentra el 45% de la demanda total, seguidas por las baterías LFP que principalmente utilizan carbonato de litio.

En Figura 18 podemos ver la proyección de demanda de cátodos según Cochilco.

Figura 18

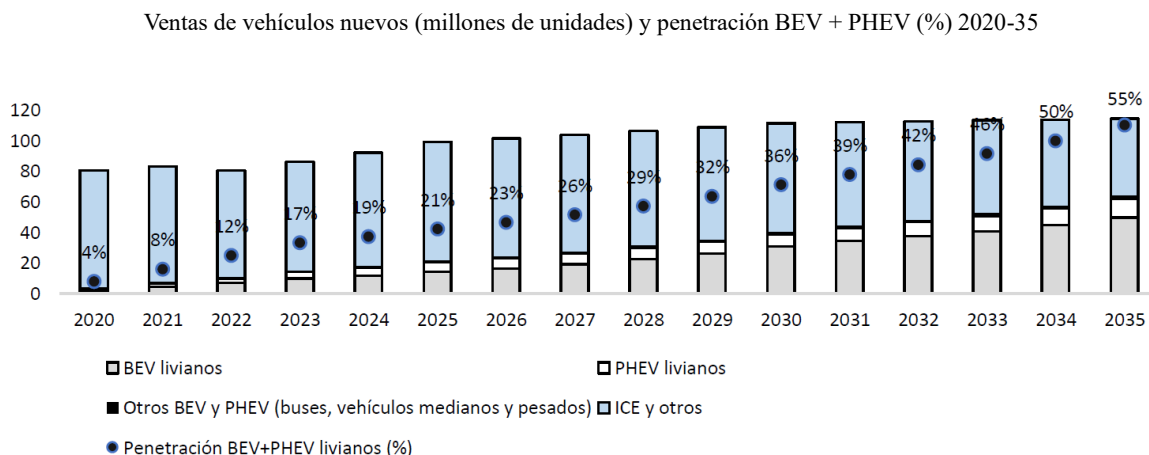
participación de mercado estimada por tecnología de cátodo en el segmento de transporte, 2020-35



Nota. Tomado de (González et al, 2023)

Dado que la demanda principal de litio proviene de las baterías de ion de litio y estas a su vez son demandadas para la alimentación de los vehículos eléctricos, si la proyección de la demanda de estos últimos es creciente, también lo será la demanda del litio ver figura 19.

Figura 19

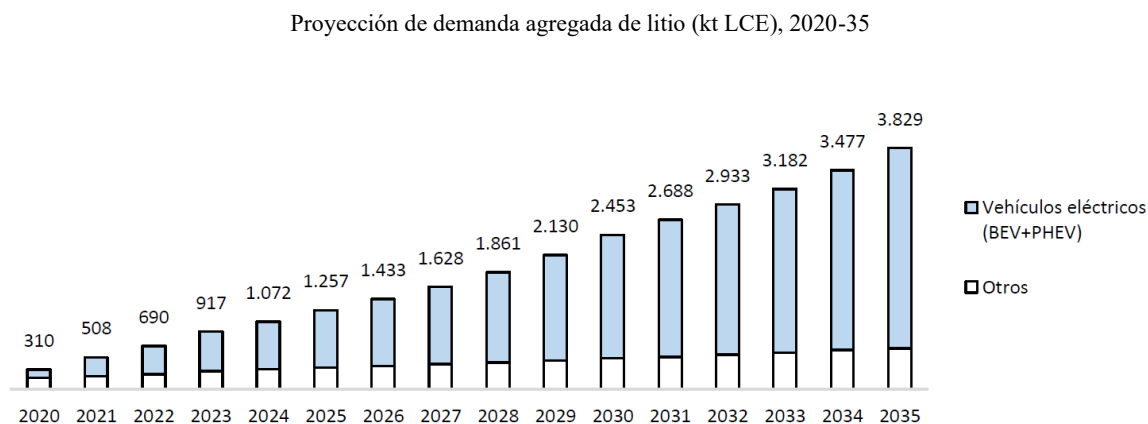


Nota. Tomado de (González et al, 2023)

3.6.3 Proyección de la demanda de litio

Según Cochilco, la demanda de litio crecerá en 2021 de 508 kt hasta 3.829 kt, en 2035, lo que supone un crecimiento anual del 15,5%. Apalancado principalmente por la demanda de vehículos eléctricos, donde se espera que estos pasen de representar el 60% de la demanda por litio en 2021 a un 83% en 2035 ver figura 20.

Figura 20

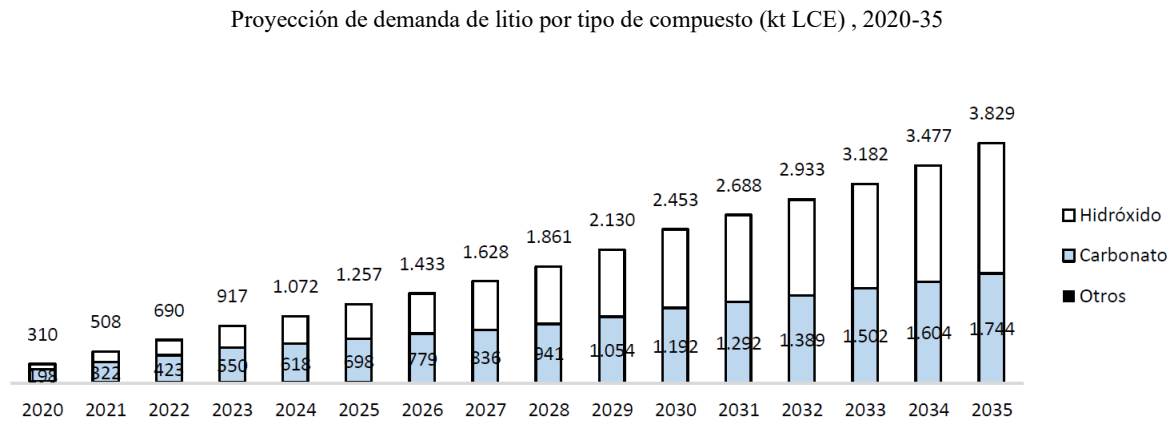


Nota. Tomado de (González et al, 2023)

3.6.4 Proyección de la composición química de los derivados del litio

La demanda por litio está compuesta por dos derivados: el carbonato de litio y el hidróxido de litio. El carbonato es el de mayor demanda, concentra el 64% del total versus el hidróxido, que concentra el 33%. No obstante, Cochilco señala que a 2035 se espera un cambio en la composición de la demanda, llegando a ser el hidróxido, el principal componente, con un 54% del total, ver Figura 21. Este cambio en la tendencia se debería a que la demanda estaría apalancada por las baterías del tipo NCM (Níquel-Litio, Cobalto, Manganeso), la cual utiliza hidróxido como base.

Figura 21



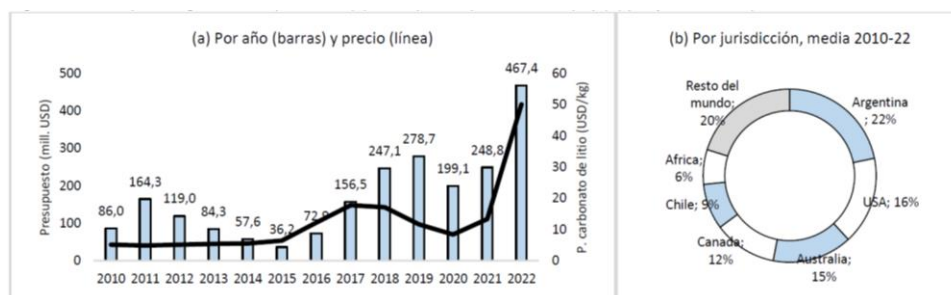
Nota. Tomado de (Gonzáles et al, 2023)

Respecto a la exploración de yacimientos de litio en comparación con el precio, es interesante ver como el aumento del precio incentiva la búsqueda de yacimientos en Figura 22 (a), donde podemos ver que frente a aumentos de la curva de precio del carbonato de litio (grafico de línea), aumenta también el presupuesto en exploración (grafico de barras). Por otra parte, en Figura 22 (b), podemos ver la distribución del presupuesto total de exploración de yacimientos, donde

Chile pese a ser uno de los mayores exportadores de litio en el mundo, con un magro 9% tiene el segundo presupuesto más bajo después de África, con un 6%. A nivel mundial, el mayor gasto en exploración lo realiza Argentina, con un 22% del total.

Figura 22

Presupuesto global en exploración (a) 2010 y 2022 (millones USD), y (b) por jurisdicción, promedio anual 2010-22



Nota. Tomado de (González et al, 2023)

3.7 Análisis Pestel

En este capítulo se realizará un breve análisis del entorno Político, económico, social, tecnológico, medio ambiental y legal de Chile con la idea de poder detectar oportunidades y amenazas respecto a la estrategia del litio, y el potencial de negocio en la región.

3.7.1 Político

Proceso para una nueva constitución. Actualmente Chile se encuentra bajo el gobierno del presidente Gabriel Boric Font, que asume el cargo el 11 de marzo de 2022 de manos del expresidente Sebastián Piñera Echeñique.

El país se encuentra en proceso de revisión de una nueva propuesta constitucional en respuesta a las demandas y acuerdos propuestos a raíz del estallido social de octubre de 2019, las cuales abordan principalmente temas como sistema de pensiones, costos de vida, educación, sistema de salud, transporte y medio ambiente.

Respecto a lo anterior entre el 15 y 16 de mayo de 2021 se convocó a elecciones de convencionales cuya misión sería la de redactar la propuesta de una nueva constitución, la cual fue rechazada con un 62% de los votos al año siguiente en el Plebiscito Constitucional del domingo 4 de septiembre de 2022.

A la fecha un nuevo proceso se encuentra vigente por redactar una nueva constitución, el 7 de mayo de 2023 se realizó la elección de un concejo constitucional, que en conjunto con un comité de expertos elegidos por el senado tiene la misión de redactar una segunda propuesta para la nueva constitución.

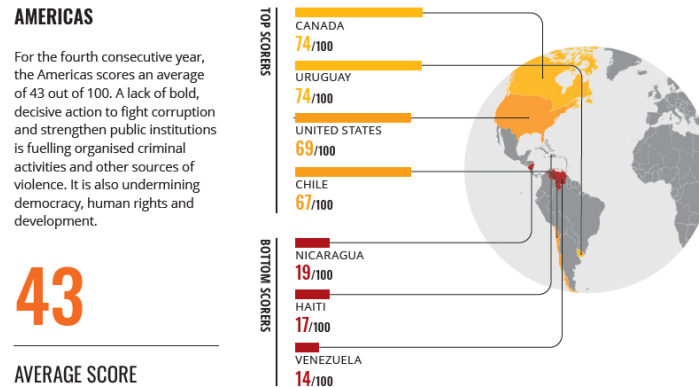
3.7.1.1 Percepción de la corrupción. Por otra parte, según la última publicación del índice de percepción de corrupción CPI2022 publicado por Transparency International, Chile está en dentro del top score de países menos corruptos en la región, en una escala de 1 a 100 donde 1 es la percepción de más corrupto y 100 es la percepción de menos corrupto, vemos que Chile con 67 puntos se encuentra muy cerca de Estados Unidos con 69 puntos, y a 7 puntos de los 2 países top de la región Canadá y Uruguay con 74 puntos cada uno, a su vez, Argentina y Brasil comparten posición, 38 puntos, muy cerca Perú con 36, y un poco más abajo en el índice, podemos encontrar a Bolivia con 31 puntos, es decir entre los posibles competidores de la región Chile es percibido como el país menos corrupto.

Puntuación del índice de corrupción por país 2022

Nota. Tomado de (International transparency, 2022)

Figura 24

Índice de corrupción 2022 (Américas)



Nota. Tomado de (International transparency, 2022)

3.7.1.2 Estrategia nacional del Litio.

Otro punto relevante ocurre en abril de 2023 el presidente de la Republica Gabriel Boric, anuncia el plan de Gobierno respecto a la Estrategia Nacional del Litio, donde se indica, “El objetivo de esta Estrategia Nacional es aumentar las riquezas para el país, desarrollando una industria clave como paso fundamental para vincular el desarrollo económico de Chile con el cambio hacia una economía verde a nivel global.” (Gobierno de Chile, 2023)

Esta estrategia modifica el escenario actual de la minería del litio siendo un nuevo plan estratégico de largo plazo con nuevas restricciones para la explotación de estos recursos.

En su contexto a priori se sustenta en lo clave de este mineral como se ha expuesto anteriormente para la elaboración y almacenamiento de energías sustentables así también como la fluctuación de los precios al alza y los grandes volúmenes de mineral que posee el país lo sitúan

en una posición dominante a la hora de negociar, si bien la estrategia es liderada por el Estado busca involucrar al sector privado en todo el proceso productivo.

Uno de los puntos importantes en esta estrategia es la creación de una Empresa Nacional del Litio donde se centrará la administración del plan en conjunto con privados.

Parte esencial de la estrategia anunciada por el presidente Gabriel Boric es la creación de la Empresa Nacional del Litio, un hito histórico que permitirá aumentar las riquezas para el país mediante un esfuerzo liderado por el Estado que involucra al sector privado en todo el proceso productivo. (Gobierno de Chile, 2023)

Respecto a las acciones de este nuevo plan se aprecian principalmente dos ejes por un lado el desarrollo con capital y tecnología y por otro lado la sustentabilidad y protección del medio ambiente.

La Estrategia Nacional del Litio es un conjunto de medidas que buscan incorporar capital, tecnología, sostenibilidad y agregación de valor al sector productivo en armonía con las comunidades.

Las acciones que componen la Estrategia Nacional del Litio son:

Iniciar un proceso de diálogos y participación con los diversos actores

Crear la Empresa Nacional del Litio

Crear una Red de Salares Protegidos y en aquellos salares en régimen de explotación, asegurar el uso de tecnologías de bajo impacto ambiental

Modernizar el marco institucional

Crear un Instituto Tecnológico y de Investigación Público de Litio y Salares

Incorporar al Estado en la actividad productiva del Salar de Atacama

Prospección de otros salares. (Gobierno de Chile, 2023)

Respecto a los actores principales, por parte del estado de forma inicial estará liderado por Codelco y Enami como representantes del ejecutivo, en paralelo la Empresa nacional del Litio coordinará las acciones público-privadas, con el objetivo de Aumentar la producción a nivel nacional, atraer nuevos participantes y expandir la industria.

Finalmente considera la creación de un Instituto de Tecnología y de Investigación Pública de Litio y Salares, buscando robustecer la industria generando nuevas competencias y con crecimiento sostenibles y sustentable.

3.7.1.3 Royalty a la minería. Si bien es aplicable al cobre, es importante revisar este punto dado que el litio es más escaso, en los últimos años la demanda por litio ha crecido fuertemente y así también su precio y por otro lado el royalty es un cobro realizado a la actividad minera por la explotación de recursos naturales no renovables de alta ganancia.

La implementación del este es con el objetivo de recaudar fondos de la minería para promover el desarrollo regional,

El pasado 3 de agosto de 2023 el presidente Gabriel Boric promulgo la ley de Royalty Minero, que en particular afecta a explotadores mineros cuyas ventas provienen en más de un 50% del cobre, y con una producción mayor a 50.000 toneladas métricas de cobre fino (TMCF) al año.

“El Presidente Boric destacó que Chile necesita avanzar en una descentralización efectiva inyectando más recursos a las regiones, ya que “el camino al desarrollo es con justicia territorial”. (Gob.cl, 2023)

3.7.1.4 Tratados de libre comercio. Chile a la fecha a celebrado varios tratados de libre comercio que facilitan el intercambio de productos, los más relevantes con relación al litio son aquellos vinculados a países asiáticos y Estados Unidos, ya que la mayor demanda por este y otros minerales proviene de estos países, podemos nombrar algunos como, por ejemplo ver Tabla3.

Tabla 3

Lista de tratados de libre comercio de Chile.

Tratado	Fecha de publicación en diario oficial
Protocolo Comercial – Alianza Pacífico	25 de abril de 2016
Trato de Libre Comercio Chile – Tailandia	30 de diciembre de 2015
Trato de Libre Comercio Chile – Hong Kong	29 de noviembre de 2014
Trato de Libre Comercio Chile – Vietnam	04 de febrero de 2014
Trato de Libre Comercio Chile – Malasia	18 de abril de 2012
Trato de Libre Comercio Chile – Turquía	01 de marzo de 2011
Trato de Libre Comercio Chile – Australia	06 de marzo de 2009
Trato de Libre Comercio Chile – Panamá	07 de marzo de 2008
Trato de Libre Comercio Chile – China	23 de septiembre de 2006
Trato de Libre Comercio Chile – Estados Unidos	30 de diciembre de 2003
Trato de Libre Comercio Chile – Canadá	05 de Julio de 1997
Trato de Libre Comercio Chile – México	01 de agosto de 1999
Trato de Libre Comercio Chile – Corea	01 de abril de 2004
Trato de Libre Comercio Chile – Centro América	14 de febrero de 2002
Trato de Libre Comercio Chile – EFTA	01 de diciembre de 2004
Trato de Libre Comercio Chile – Perú	28 de enero de 2009
Trato de Libre Comercio Chile – Colombia	08 de mayo de 2009

Nota. Tomado de (Chile Aduanas, www.aduana.cl, 2023 a)

3.7.2 Social

3.7.2.1 Segmentación. Según la asociación de investigadores de mercado y opinión pública (aim) chile, el modelo de Grupos Socio-Económicos (GSE) mide la estratificación social para el marketing y el análisis de los distintos tipo de consumidores.

En la actualización del manual GSE de 2019 podemos ver que los hogares se dividen básicamente en 7 segmentos: AB, C1a, C1b, C2, C3, D, E. Diferenciados principalmente por tramos de ingresos y nivel educacional, así también otros drivers como bienes, propiedades, vehículos, medios de pago, telefonía móvil, acceso a internet entre otros.

Podemos ver en Tabla 4 que la mayor cantidad de los hogares se ubica en el segmento D con un ingreso promedio de \$ 640.667 y una concentración del 35,93% de los hogares totales, seguido por el segmento C3 con un ingreso promedio de \$ 1.003.426 concentrando el 24,74% de los hogares, entre ambos segmentos se concentra el 60,67% de los hogares, que por otro lado si agregamos el segmento más bajo E correspondiente al 14,02% de los hogares con un ingreso promedio de \$ 361.683, notamos que solo entre estos 3 segmentos se concentra el 74,69% del total de los hogares, en otras palabras el 75% de los hogares en Chile está por debajo de \$ 1.003.426.

Tabla 4

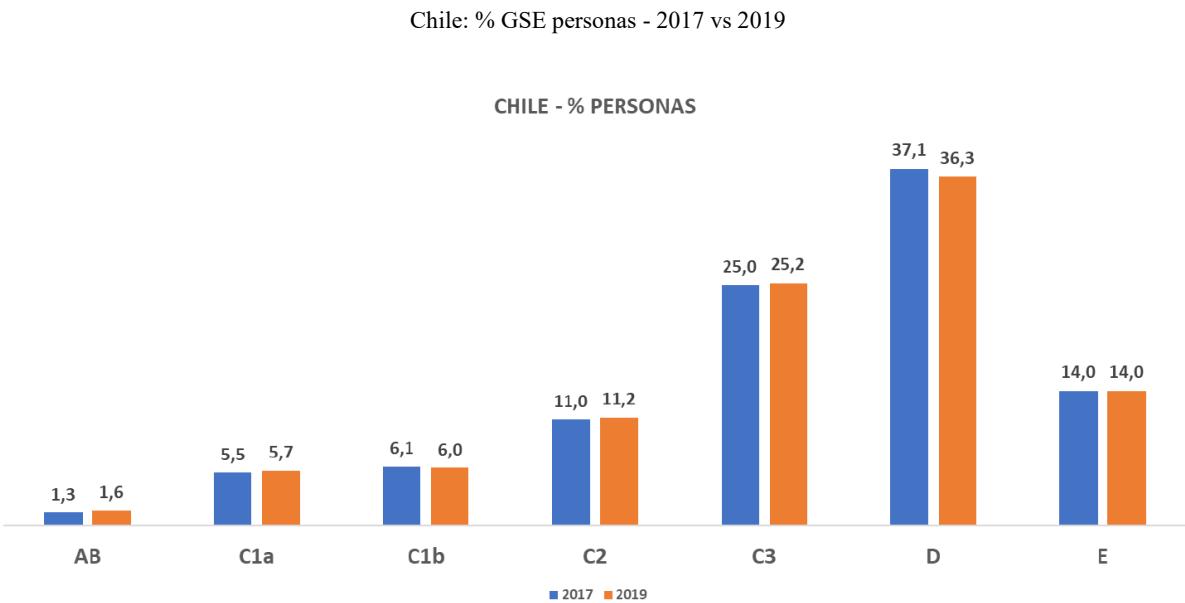
Grupos socio económicos de Chile

Grupos	Promedio	Moda	Educación	Hogares según censo 2017	Porcentaje de los hogares
AB	\$ 7.177.530	\$ 5.100.000	98% Universitario o más completa	103.396	1,79%
C1a	\$ 3.010.391	\$ 2.000.000	93% Universitario o más completa	348.388	6,03%
C1b	\$ 2.072.853	\$ 1.200.000	66% Universitario completa, 26% Universitario incompleto o técnico completo o incompleto, 23% media completa.	360.190	6,24%
C2	\$ 1.500.774	\$ 1.000.000	26% Universitario completa, 42% Universitario incompleto o técnico completo o incompleto, 22% media completa.	649.686	11,25%
C3	\$ 1.003.426	\$ 700.000	20% Universitario completa, 51% Universitario incompleto o técnico completo o incompleto, 24% media completa.	1.428.632	24,74%
D	\$ 640.667	\$ 400.000	6% Universitario incompleto o técnico completo o incompleto, 32% media completa, básica completa o menos 62%	2.075.345	35,93%
E	\$ 361.683	\$ 300.000	1% Universitario incompleto o técnico completo o incompleto, 23% media completa, básica completa o menos 76%	\$ 809.768	14,02%

Nota. Tomado de (aim, 2019)

Comparando las cifras de 2017 vs 2019, ver Figura 25, se observa un leve cambio positivo en la distribución. Pese a que el segmento E se mantiene invariante, el segmento D baja de 37,1% a 36,3%, es decir una variación de - 0,8%, que va a distribuirse en los segmentos superiores, es decir un 0,2% de aumento en el segmento C3, un 0,2% en C2, -0,1% en C1b, 0,2% en C1a y finalmente 0,3% en AB respectivamente.

Figura 25



Nota. Tomado de (aim, 2019)

3.7.2.2 Distribución de los ingresos. En relación a la distribución de ingresos, según la encuesta de caracterización socioeconómica nacional (CASEN) 2022, podemos ver en cuadro que desde 2006 a 2017 los ingresos promedio mensuales (para cada categoría), crecen positivamente, luego en 2020 en contexto de la pandemia por el COVID 19, los ingresos caen levemente con excepción de los ingresos por subsidios, dado el rol protagónico del estado en la entrega de beneficios económicos dado el contexto de pandemia que se vivía a nivel global ver tabla 5.

Tabla 5

Ingreso promedio mensual de los hogares por tipo de ingreso, 2006-2022

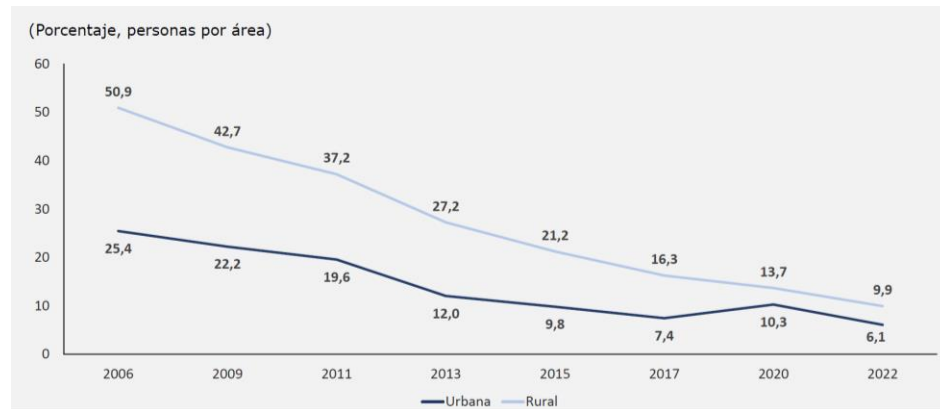
Indicador	2006	2009	2011	2013	2015	2017	2020	2022
Ingreso del trabajo (*)	844.803	854.619	875.295	1.030.327	1.051.628	1.104.443	989.763	1.068.168
Ingreso autónomo	967.161	983.573	1.004.515	1.175.590	1.213.267	1.269.620	1.183.048	1.236.534
Subsidios monetarios	13.634	29.641	25.305	30.888	33.715	36.938	60.182	67.770
Ingreso monetario	980.794	1.013.214	1.029.820	1.206.478	1.246.981	1.306.557	1.243.230	1.304.304

Nota. (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2022)

Paralelamente respecto a los indicadores de pobreza vemos que entre 2006 a 2017 la tendencia es a la baja, tanto para la población urbana como rural, vemos una variación de 25,4 en el año 2006 a 7,4 en el año 2022 es decir -18 puntos respecto a la población urbana y entre 50,9 en el año 2006 a 16,3 en el año 2022, es decir 34,6 puntos en la población rural respectivamente, así también notamos un aumento de la pobreza en 2020 respecto a 2017 ver Figura 27, sobre todo en el sector urbano, producto de la baja actividad económica dado las medidas restrictivas por la pandemia del COVID19.

Figura 26

Incidencia de la Pobreza en la Población por Área, 2006 -2022

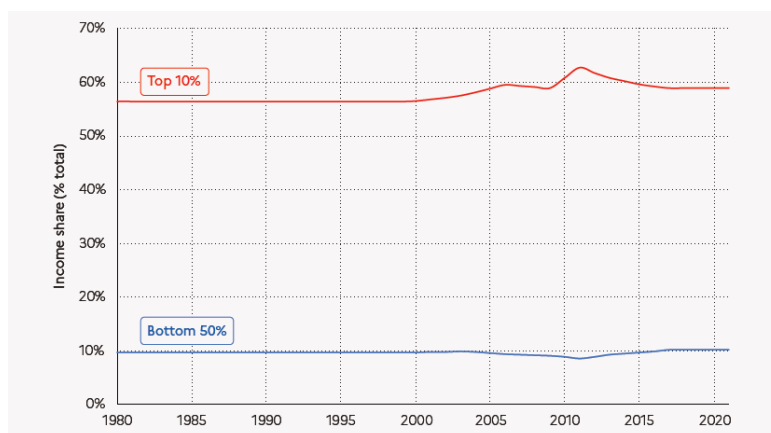


Nota. Tomado de (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2022)

3.7.2.3 Desigualdad. El ingreso promedio en Chile a 2021 es aproximadamente \$ 14.083.780 anuales, el 50% más pobre de la población percibe \$ 2.866.570 anuales, el 10% más rico percibe el \$ 82.966.190 esto es prácticamente 30 veces más que la población mas pobre. Según el reporte “World Inequality report” de 2022, en Chile en 2021 el 50% de la población concentra solo el 10% del ingreso total, y por el contrario el 10% de la población concentra el 59% del ingreso total ver Figura 28, situando a Chile como uno de los países con mayor desigualdad en la región a la par con Brasil al menos en el segmento mas pobre, el ingreso es medido des después descontar leyes sociales como afp, seguro de desempleo y antes de impuestos.

Figura 27

Top 10% and bottom 50% income shares in Chile, 1980-2021

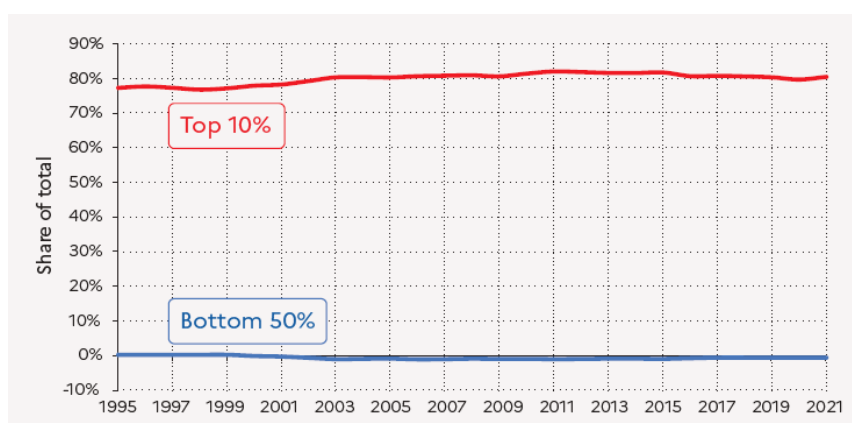


Nota. (World Inequality Lab, 2022)

El 50% más pobre de la población no posee riquezas o bien es negativa por endeudamiento, mientras que el 10% y el 1% de la población mas rica posee el 80% y el 50% de la riqueza en promedio respectivamente ver Figura 29.

Figura 28

Wealth distribution in Chile, 1955-2021

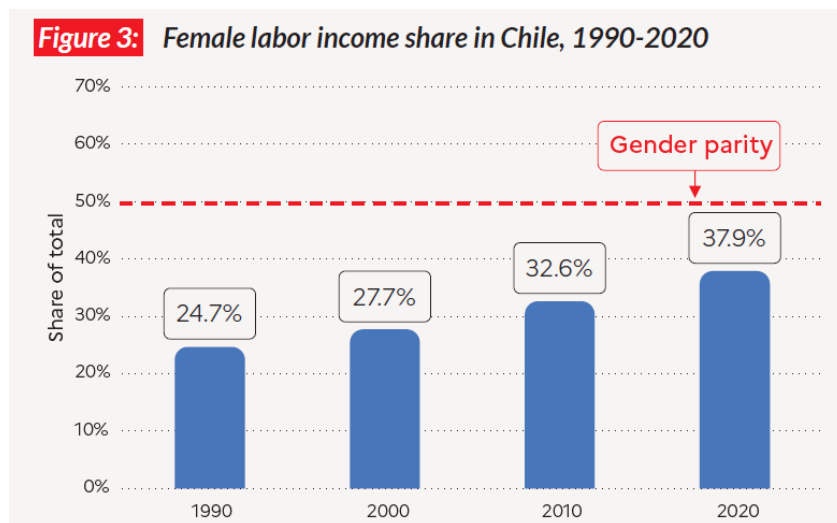


Nota. (World Inequality Lab, 2022)

Respecto a los ingresos por paridad de género el ingreso laboral de las mujeres es 37,9% a 2020 prácticamente 38%, en línea con la región 37% argentina y 38% Brasil respectivamente, y a crecido de forma sostenida a lo largo de los años ver Figura 30.

Figura 29

Female labor income share in Chile, 1990-2020



Nota. Tomado de (World Inequality Lab, 2022)

De la misma forma que los ingresos la huella de carbono también refleja una importante brecha en la equidad, en tabla podemos ver la distribución de toneladas de CO2 per cápita al año 2019.

Es claro ver como las emisiones del 1% de población es prácticamente 40 veces superior al 50% más bajo ver Tabla 6.

Tabla 6

Promedio de huella de carbono en Toneladas de CO2

Población	Promedio de huella de carbono TCO2e/cápita
Población total	6,3
Top 1%	108,2
Top 10%	26,1
Middle 40%	5,8
Bottom 50%	2,7

Nota. Fuente elaboración propia con datos tomados de (World Inequality Lab, 2022)

3.7.3 Económico

En el Informe de Política Monetaria (IPOM) diciembre 2022, se señala:

La economía chilena continúa su proceso de ajuste tras los importantes desequilibrios que acumuló durante 2021. La inflación anual, acorde con lo esperado, alcanzó su peak en el tercer trimestre. Las expectativas de inflación permanecen por sobre 3% a dos años plazo. (Banco Central de Chile, 2022 b).

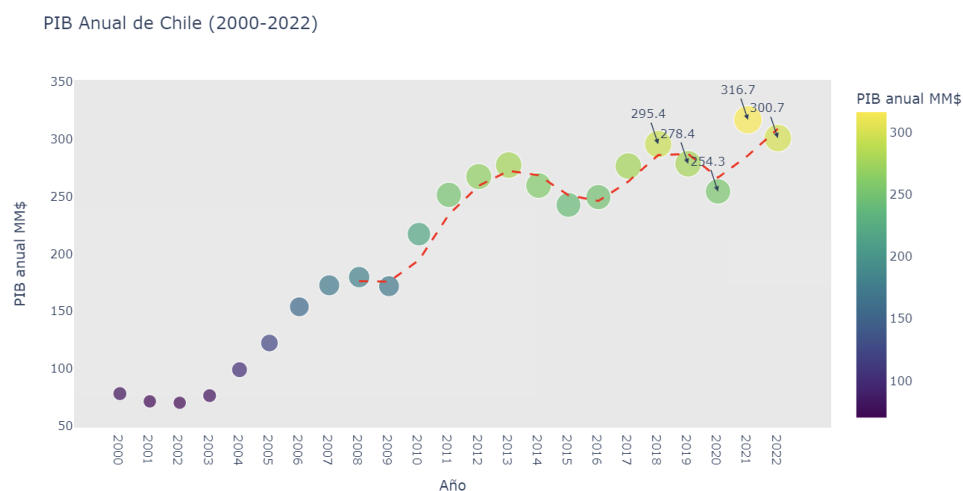
En terminos generales una de las palancas de la inflación en 2022 fue el inusual aumento del gasto, generando un desequilibrio respecto al ahorro, el Banco Central apuesta a seguir realizando esfuerzos en a tasa de interés suficientes para regresar la inflación a la meta del 3% para 2024.

No obstante de cara a la Inversión, el mismo informe concluye que la perspectiva sigue siendo debil, por un lado el catastro de Bienes de Capital denota montos de inversion a la baja, junto con las pesimitas expectativas de las empresas no obstante las tasas de interes de largo plazo y la incertidumbre han ido a la baja.

Se espera una reducción del impulso externo para la economia nacional, dado que en las economias mas desarrolladas se espera una mayor contracción de la politica monetaria, junto con una proyeccion a la baja de los precios de las materias primas.

3.7.3.1 PIB Chile. El PIB de Chile en figura 30, podemos ver el efecto entre 2018 con un valor de 295,4 MM USD a 2020 con 254,3 MM USD, en efecto, dado periodos de inestabilidad por efecto de la pandemia COVID19 y confinamiento, se aprecia una caída de aproximadamente 41,1 MM USD, por otra parte el aumento del 2021 en parte explicado por el aumento gradual de la economía, y un aumento de la demanda interna en relación a los retiros de fondos de pensiones y las medidas económicas de apoyo del gobierno, traen consigo aumentos en los sectores de comercio y servicios, no obstante ya para 2022 se recuperan niveles aproximados de 2018 con 300,7 MM USD ver Figura 31.

Figura 30



Nota. Elaboración propia con datos tomados de (datosmacro, 2023)

Finalmente según indica el informe de cuentas nacionales:

Durante el año 2022, la actividad económica aumentó 2,4% respecto al año anterior, exhibiendo un desempeño decreciente durante el periodo. Destacó el crecimiento de la demanda interna en el primer semestre, impulsada por el consumo, y su posterior ralentización en la segunda parte del año. Desde la perspectiva del origen, el resultado fue liderado por los servicios, en

particular los personales, empresariales y de transporte. En contraste, la producción de bienes exhibió una caída, siendo la minería y la industria manufacturera las de mayor incidencia en este resultado. (Banco Central de Chile, 2022 a)

Por otra parte señala que, tanto la demanda interna como el PIB presenta una evolución negativa, durante 2022, en general la actividad fue impulsada por los servicios, personales, empresariales y transporte versus la caída en minería, comercio y manufactura.

3.7.3.2 IPC. El Banco Central de Chile, es autónomo y la principal herramienta para lograr una inflación meta es la tasa de política monetaria (TPM), con su política monetaria busca mantener la inflación alrededor del 3% en una ventana de 2 años.

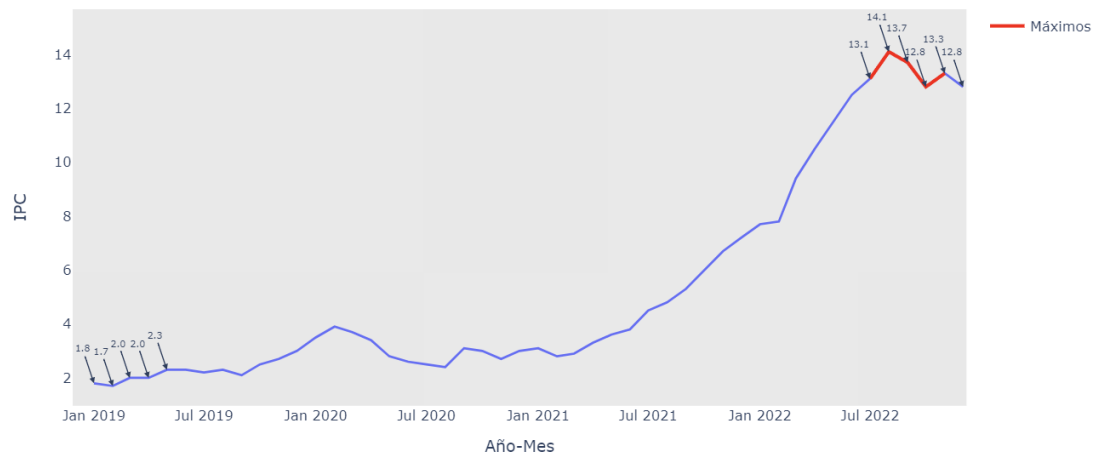
En el contexto internacional el informe de política monetaria señala:

La inflación mundial continúa elevada y los bancos centrales han reafirmado una postura más contractiva para su política monetaria, en especial la Reserva Federal de EE.UU. (Fed). En este contexto, de alta volatilidad en los últimos meses, las condiciones financieras han permanecido estrechas y las perspectivas de crecimiento mundial se han deteriorado para 2023-24. (Banco Central de Chile, 2022 c)

En 2022 la inflación alcanzó un máximo histórico en agosto con un 14,1% cerrando el año con un 12,8% ver figura 32, cifras no vistas desde 1991, luego de las distorsiones provocadas por los retiros de AFP y bonos de ayuda entregados por gobierno. La economía vive un proceso de ajuste y el consumo comienza a contraerse. Por otra parte, se observó un aumento en la inversión al alza en el tercer trimestre, específicamente en el sector de energías renovables.

Figura 31

IPC de Chile (Índice de Precios al Consumidor acumulado mensual 01-2019 - 12-2022)



Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Banco Central de Chile, 2023 d)

3.7.3.3 Desempleo. En 2022, la tasa de desocupación anual en Chile se redujo 0,9 puntos porcentuales (pp.) respecto al año anterior y se situó en 7,9%. Lo anterior, debido a que la población ocupada creció 6,6%, totalizando más de 8,8 millones de personas (es decir, hubo cerca de 548.738 personas ocupadas más que en 2021), mientras que la fuerza de trabajo varió 5,5% y las personas desocupadas descendieron 5,6%. (Instituto Nacional de Estadísticas Chile, 2023)

Respecto al desempleo ver figura 33, podemos apreciar cómo desde inicios de 2019 con un 7%, la tasa de desempleo aumenta alcanzando su pick en junio de 2020 con un 13% (aproximadamente) casi el doble del año anterior.

Coincidentemente si revisamos los datos del gobierno respecto a las cifras de casos COVID19 confirmados por día ver Figura 34, podemos ver que en 2020 efectivamente en junio se produce el pick de casos, donde las medidas implementadas para la contención de los mismo como el

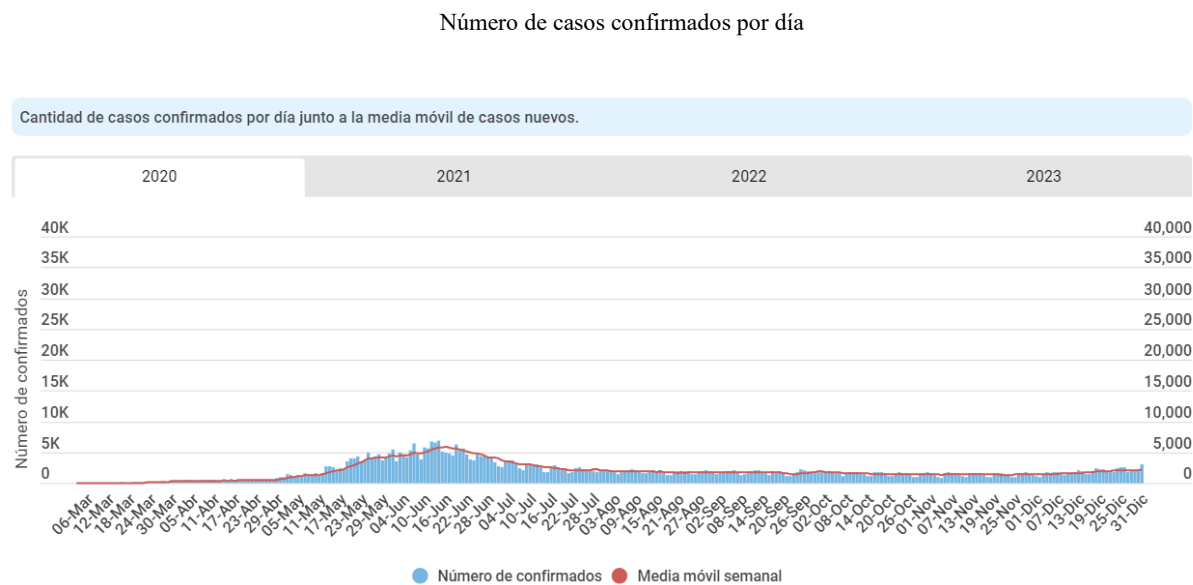
distanciamiento social y el confinamiento entre otros, contribuyeron a un aumento del desempleo, ya a 2022 vemos en grafico como se recupera el indicador a niveles cercanos al 8% en promedio.

Figura 32



Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Banco Central de Chile, 2023 c)

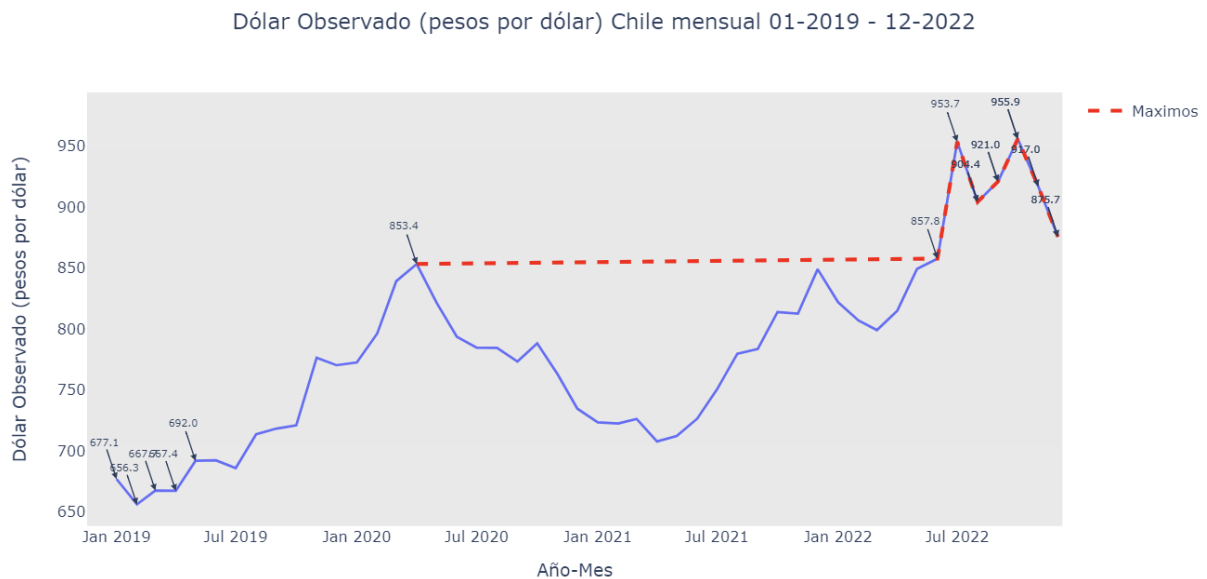
Figura 33



Nota. Tomado de (Ministerio de salud, 2023)

3.7.3.4 Dólar observado. El dólar observado de 2019 abre aproximadamente en 680 CLP y sufre un alza importante en el periodo de la pandemia mediados de 2020, hasta alcanzar los 853 CLP vemos que luego de una importante recuperación en 2021 707,8 CLP sufre nuevamente un importante aumento hasta alcanzar en junio 2022 niveles similares a los de 2020 858 CLP (aproximadamente), no obstante, no se detuvo ahí, y durante el año alcanzo dos veces valores sobre los 950 CLP, finalizando el 2022 en 876 CLP (aproximadamente) ver figura 35.

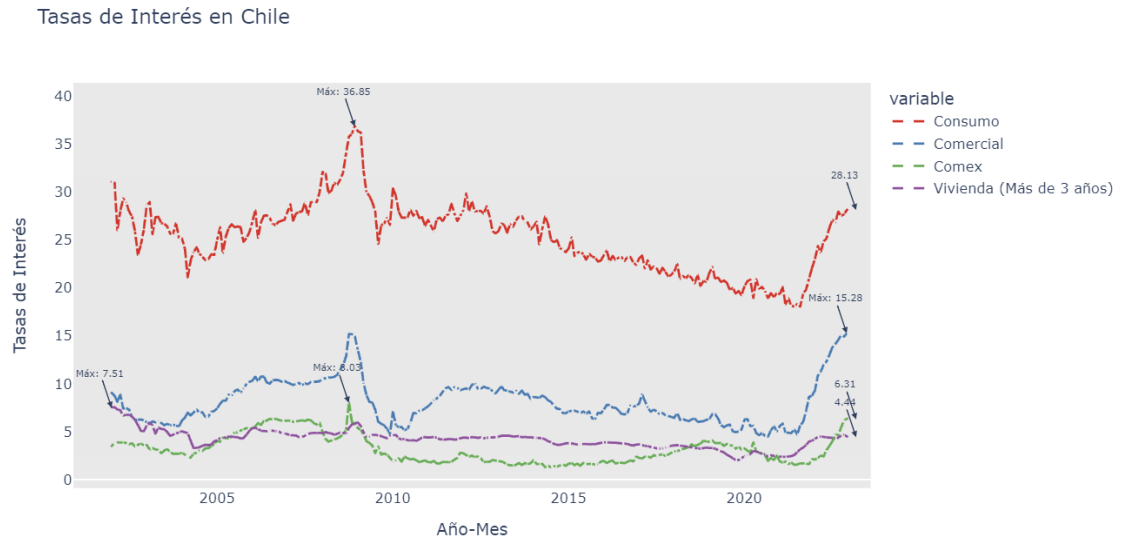
Figura 34



Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Banco Central de Chile, www.bcentral.cl, 2023 b)

3.7.3.5 Tasa de interés.

Figura 35



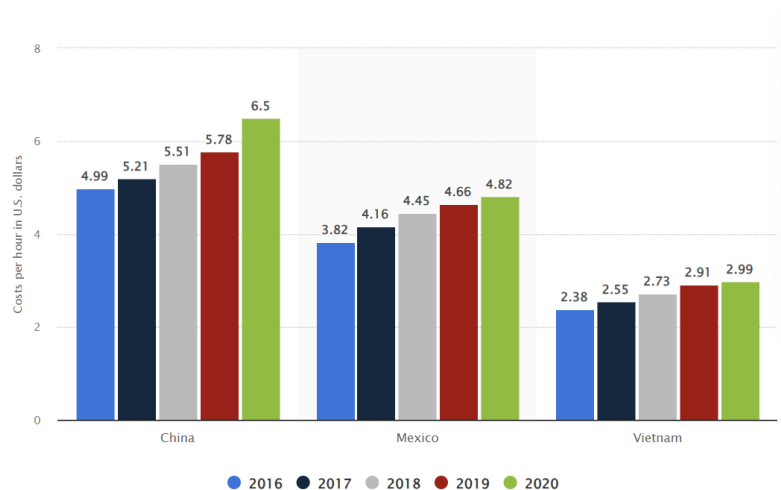
Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Banco Central de Chile, www.bcentral.cl, 2023 a)

Respecto a las tasas de interés, se encuentran a finales de 2022 en valores históricos, por un lado consumo presenta un alza histórica no vista desde septiembre 2012 con una 28,8%, cae progresivamente hasta julio de 2021 alcanzando un valor de 18,28% en otras palabras en 9 años bajo prácticamente un 9%, posteriormente crece muy rápidamente hasta alcanzar en diciembre de 2022 un valor de 28,13% es decir en un año y medio aproximadamente, aumento lo que había tardado 9 años en disminuir, respecto a los créditos comerciales alcanza su máximo valor en 20 años con una tasa de 15,28%, así también la tasa comex si bien su máximo fue 8,03% en noviembre de 2008, a finales de 2022 se encuentra en valores próximos al 6,3%, así también vivienda presentaba una tasa similar a la de abril de 2009 en esa oportunidad marco 4,42% y en diciembre de 2022 un 4,44% en promedio ver Figura 36.

3.7.3.6 Costos de mano de obra. Los costos de mano de obra en Chile son más altos que en países industrializados, en el caso de China en 2019 es 5,78 USD, en México 4,66 USD y en Vietnam 2,91 USD, al revisar en Chile según última información a 2019 de International Labour Organization con 7,99 USD, (ILOSTAT, 2022) ubicando al país por sobre los anteriores, y en particular 21,5% aproximadamente sobre China ver Figura 37.

Figura 36

Manufacturing labor costs per hour for China, Vietnam, Mexico from 2016 to 2020 (in USD)



Nota. Tomado de (Statista Research Department, www.statista.com, 2022)

3.7.3.7 Impuestos. En Chile existe un impuesto a la renta, la tabla con las tasas de impuestos se encuentra publicada por el Servicio de Impuestos internos, el impuesto a las empresas en este caso es del 27% ver Tabla 7.

Tabla 7

Tasas de primera categoría

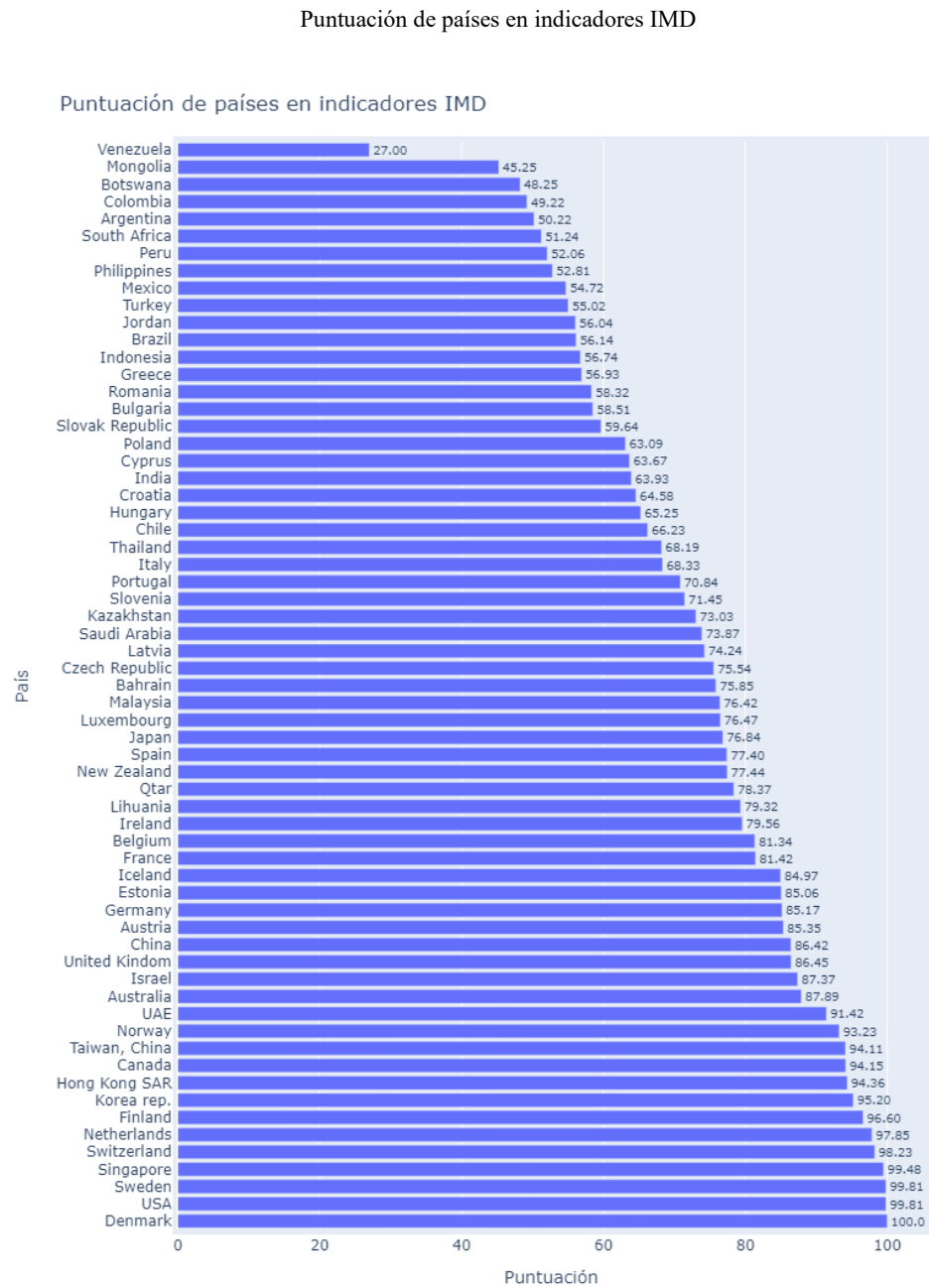
Años comerciales en que se aplica la tasa de Primera Categoría.	Tasas de Primera Categoría
1977 al 1990	10%
1991 al 2001	15%
2002	16%
2003	16,5%
2004 hasta 2010	17%
2011 hasta 2013	20%
2014	21%
2015	22,5%
2016	24%
2017 y siguientes, para Contribuyentes del Artículo 14, letra A) LIR (Régimen creado por la Ley 20.780 de 2014)	25%
2017 para Contribuyentes sujetos al Artículo 14, letra B) LIR (Régimen creado por la Ley 20.780 de 2014)	25,5%
2018 y 2019, para Contribuyentes sujetos al Artículo 14, letra B) LIR (Régimen creado por la Ley 20.780 de 2014)	27%
2020 y siguientes para contribuyentes sujetos al artículo 14, letra A) LIR (Régimen creado por la Ley 21.210 de 2020)	27%
2020, 2021 y 2022 para contribuyentes artículo 14, letra D) N°3 LIR (Régimen creado por la Ley 21.210 de 2020)	10%
2023 para contribuyentes artículo 14, letra D) N°3 LIR (Régimen creado por la Ley 21.578 de 2023)	10%
2024 para contribuyentes artículo 14, letra D) N°3 LIR (Régimen creado por la Ley 21.578 de 2023)	12,5%
2025 y siguientes para contribuyentes artículo 14, letra D) N°3 LIR (Régimen creado por la Ley 21.578 de 2023)	25%

Nota. Tomado de (Servicio de Impuestos Internos, 2023 a)

3.7.4 Tecnológico

Según el índice World Digital Competitiveness “IMD” que mide en base 100 el índice de competitividad tecnológica de 64 países, Chile se encuentra en la posición 41, ver figura 37.

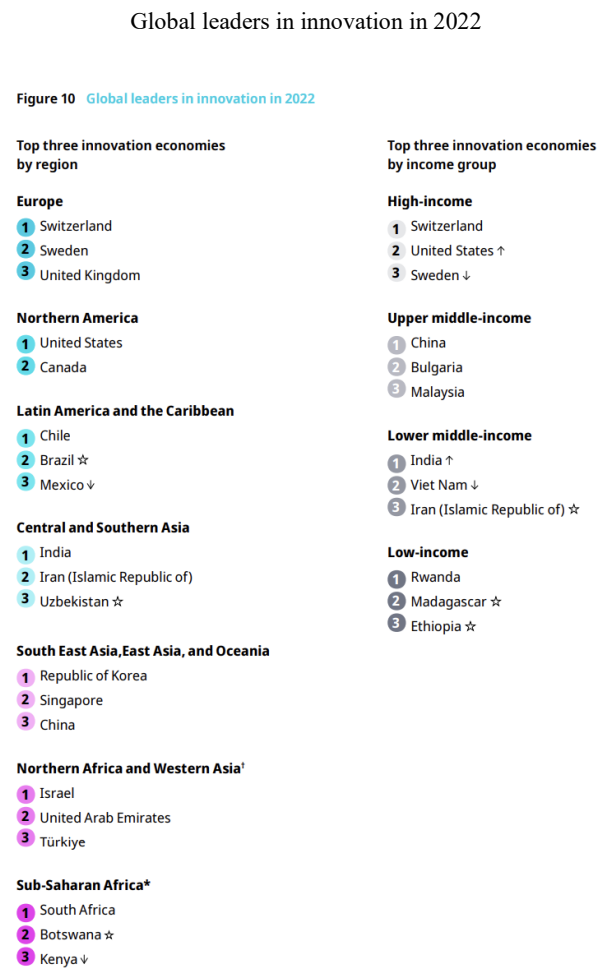
Figura 37



Nota. Tomado de (International Institute for Management Development, 2022)

Respecto al informe Global Innovation Index (GII) 2022, que revela las economías mas innovadoras en el mundo, ranking de desempeño de la innovación de 132 economías. Por doceava vez Suiza lidera el ranking en primer puesto, y estados unidos logra llegar a la segunda posición desplazando a Suecia, China alcanza el puesto 11, por su parte Chile alcanza el puesto 50 sobre Brasil en puesto 54, Argentina en puesto 69, Perú puesto 65 y notar que México se encuentra e puesto 58, en este contexto Chile se sitúa en el primer puesto de América latina y el caribe, ver figura 39 y figura 40.

Figura 38



Nota. Tomado de (World Intellectual property organization, 2022)

Figura 39

Heatmap: GII 2022 rankings overall and by innnovation pillar

Country/economy	Overall GII	Institutions	Human capital and research	Infrastructure	Market sophistication	Business sophistication	Knowledge and technology outputs	Creative outputs
Switzerland	1	2	4	4	8	7	1	1
United States	2	13	9	19	1	3	3	12
Sweden	3	19	3	1	13	1	2	8
United Kingdom	4	24	6	8	5	22	8	3
Netherlands	5	4	14	14	18	10	5	10
Republic of Korea	6	31	1	13	21	9	10	4
Singapore	7	1	7	11	4	2	13	21
Germany	8	20	2	23	14	19	9	7
Finland	9	11	8	3	17	5	4	18
Denmark	10	9	10	5	15	15	12	14
China	11	42	20	25	12	12	6	11
France	12	18	15	17	10	17	15	6
Japan	13	21	21	12	9	8	11	19
Hong Kong, China	14	10	13	6	2	27	60	5
Canada	15	15	12	30	6	20	24	20
Israel	16	41	24	42	7	6	7	36
Austria	17	8	11	9	38	18	19	26
Estonia	18	12	34	10	3	25	21	24
Luxembourg	19	5	32	40	31	4	33	9
Iceland	20	14	29	22	41	14	22	13
Malta	21	28	42	27	33	16	32	2
Norway	22	3	19	2	28	21	25	30
Ireland	23	16	23	15	55	13	14	29
New Zealand	24	7	18	21	24	31	29	22
Australia	25	17	5	18	20	24	37	27
Belgium	26	29	16	37	45	11	18	32
Cyprus	27	36	39	28	29	23	20	17
Italy	28	58	28	26	35	33	16	16
Spain	29	38	26	16	30	32	27	28
Czech Republic	30	43	33	20	76	28	17	37
United Arab Emirates	31	6	17	7	23	26	59	45
Portugal	32	47	22	39	42	34	35	25
Slovenia	33	37	25	24	68	29	26	56
Hungary	34	48	37	35	67	30	23	46
Bulgaria	35	67	68	34	62	40	30	23
Malaysia	36	34	38	51	26	41	39	41
Türkiye	37	101	41	48	37	47	47	15
Poland	38	65	36	43	61	38	38	38
Lithuania	39	26	44	45	32	37	48	47
India	40	54	43	78	19	54	34	52
Latvia	41	35	48	52	65	36	44	42
Croatia	42	77	46	31	56	46	45	39
Thailand	43	78	71	54	27	43	43	49
Greece	44	69	31	46	64	55	46	54
Mauritius	45	22	66	70	16	96	82	31
Slovakia	46	68	59	41	70	45	28	70
Russian Federation	47	89	27	62	48	44	51	48
Viet Nam	48	51	80	71	43	50	52	35
Romania	49	75	74	33	63	51	31	57
Chile	50	39	57	47	46	57	54	55
Saudi Arabia	51	50	30	53	22	53	65	66
Qatar	52	25	56	29	47	73	69	59
Iran (Islamic Republic of)	53	131	54	75	11	115	50	33
Brazil	54	102	50	65	49	35	55	51
Serbia	55	53	52	38	83	65	42	76
Republic of Moldova	56	98	62	84	58	79	49	43
Ukraine	57	97	49	82	102	48	36	63
Mexico	58	93	58	63	54	76	58	50
Philippines	59	90	86	81	78	39	41	58
Montenegro	60	59	61	44	53	58	72	71
South Africa	61	81	81	77	39	63	56	64
Kuwait	62	86	55	36	73	101	68	60
Colombia	63	72	79	59	66	42	67	75
Uruguay	64	32	73	60	77	62	62	85
Peru	65	61	47	79	40	49	90	65
North Macedonia	66	88	75	49	34	59	57	93

4th quartile (best performers, ranks 1st to 33rd)
 3rd quartile (ranks 34th to 66th)
 2nd quartile (ranks 67th to 99th)
 1st quartile (ranks 100th to 132nd)

Nota. Tomado de (World Intellectual property organization, 2022)

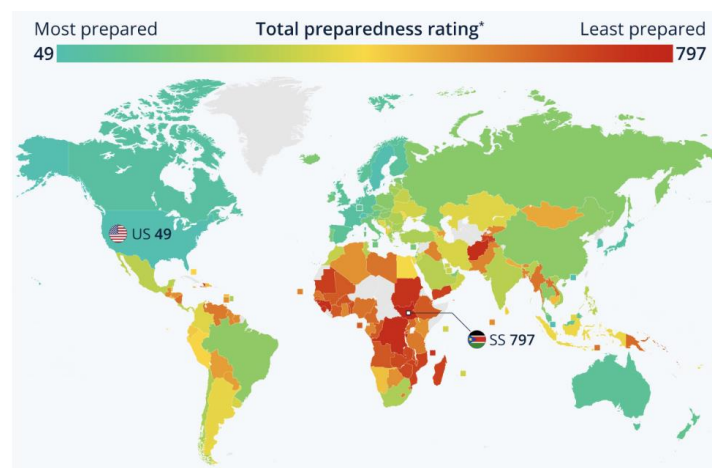
A la pregunta que países están preparados para la transición de tecnologías verdes, podemos ver en un artículo de Anna Fleck en statista.com que los países más preparados son, Estados Unidos, Suecia, Singapur y Suiza y Países bajos, basado en 166 países, investigación y desarrollo, tecnologías de la información y comunicación, habilidades, industria y finanzas.

17 fronteras tecnológicas fueron analizadas, internet de las cosas, concentración e energía solar, block chain, nano tecnología, big data, 5G, bio combustibles, vehículos eléctricos, edición de genomas, robótica, tecnología drones, impresión 3d, energía eólica, bio gas y bio masa, hidrogeno verde, inteligencia artificial y paneles solares.

Se aprecia la fuerte división entre los países de mayores y menores ingresos, en general, América Latina, el Caribe, África, son los menos preparados y en riesgo de perder oportunidades tecnológicas, ver figura 41.

Figura 40

Degree of preparedness for countries' readiness to use frontier technologies



Nota. Tomado de (Fleck, 2023)

Podemos apreciar en el mapa de calor que respecto a la región en Sudamérica Chile y Brasil lideran en la región casi a la par con México y algunos países de Europa.

Tabla 8

Results of the readiness for frontier technologies index

Categoría	Estados Unidos	Suecia	Suiza	China	Brasil	Chile	Peru	Bolivia	Argentina
ICT	11	6	21	117	50	62	86	101	74
Skills	18	2	13	92	55	46	59	88	41
R&D	2	16	12	1	18	40	72	134	62
Industry	16	11	5	8	51	103	136	144	75
Finance	2	18	5	4	57	19	74	56	141
Total Score	1	0,99	0,94	0,74	0,71	0,65	0,49	0,38	0,57

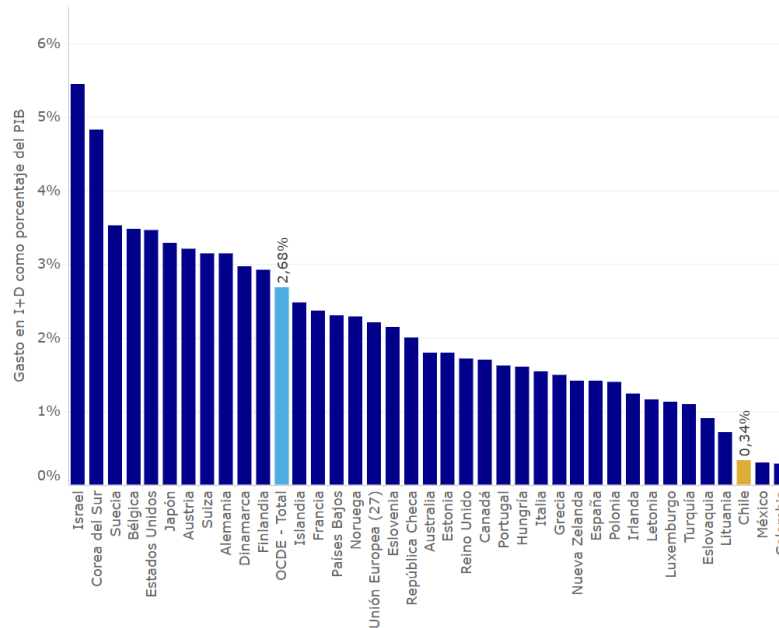
Nota. Elaboración propia con datos de (United Nations, 2023)

En tabla 8, podemos ver que en ICT Tecnologías de la información y comunicación Chile está por sobre los Países de la región, en industria, investigación y desarrollo, y habilidades solo es superado por Brasil y en finanzas por Argentina.

Respecto al gasto público en investigación y desarrollo I+D en relación con el PIB, el ministerio de ciencias público un gráfico comparativo ver figurar 41, de los países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) donde se señala: “Esta medición es relevante porque estas actividades, en el largo plazo, juegan un rol importante en la capacidad de una economía para crecer permanentemente y de poner conocimiento a disposición de las personas y el sector productivo.” (Observatorio del Sistema Nacional de Ciencias, 2022) ver Figura 42.

Figura 41

Gasto en I + D respecto PIB en países de la OCDE al 2022



Nota. Tomado de (Observatorio del Sistema Nacional de Ciencias, 2022)

En resumen, Chile se encuentra en general en una posición privilegiada en la región como podemos ver en la mayoría de los estudios presentado se ubica por sobre la media a nivel mundial y se presenta como uno de los top países de la región a nivel de indicadores, no obstante, el gasto de Chile y en general la región de Sudamérica en investigación y desarrollo respecto al PIB, es muy por debajo de los países desarrollado como vimos prácticamente 10 veces menos.

En tabla 9 podemos apreciar que de los Países miembros Chile está en los 3 países que menos gasto realiza en investigación y desarrollo, países como Suiza que figuran como líderes en indicadores anteriormente revisados por el contrario gastan 10 veces más en investigación y desarrollo.

Tabla 9

Gasto en I + D respecto PIB en países de la OCDE al 2022

País	índice	País	índice
Israel	5,44%	Australia	1,80%
Corea del Sur	4,81%	Estonia	1,79%
Suecia	3,53%	Reino Unido	1,71%
Bélgica	3,48%	Canadá	1,70%
Estados Unidos	3,45%	Portugal	1,62%
Japón	3,27%	Hungría	1,61%
Austria	3,20%	Italia	1,53%
Suiza	3,15%	Grecia	1,50%
Alemania	3,14%	Nueva Zelanda	1,41%
Dinamarca	2,96%	España	1,41%
Finlandia	2,91%	Polonia	1,39%
OCDE - Total	2,68%	Irlanda	1,23%
Islandia	2,47%	Letonia	1,16%
Francia	2,35%	Luxemburgo	1,13%
Países Bajos	2,29%	Turquía	1,09%
Noruega	2,28%	Eslovaquia	0,91%
Unión Europea (27)	2,20%	Lituania	0,71%
Eslovenia	2,15%	Chile	0,34%
República Checa	1,99%	México	0,30%
		Colombia	0,29%

Nota. Tomado de (Observatorio del Sistema Nacional de Ciencias, 2022)

3.7.5 Medio ambiente

En Chile existe un marco regulatorio por ejemplo la Ley 19300 que sienta las bases generales del medio ambiente, fue publicada el 09 de marzo de 1994 y su última modificación a la fecha es del 06 de septiembre de 2023, señala:

Esta ley tiene por objeto darle un contenido concreto y un desarrollo jurídico adecuado a la garantía constitucional que asegura a todas las personas el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación.

Los principios de esta ley:

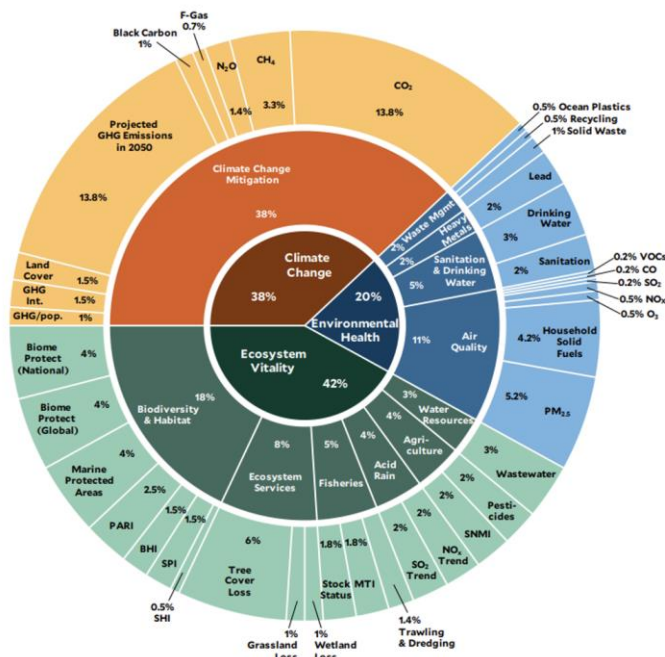
- 1) El principio preventivo: mediante esto se pretende evitar que se produzcan los problemas ambientales.
- 2) El segundo principio es el que contamina paga. El propósito es el que actualmente contamina o que lo haga en el futuro, debe incorporar en sus costos de producción todas las inversiones necesarias para evitar la contaminación. Por lo tanto los primeros responsables por disminuir la contaminación serán los particulares.
- 3) En tercer lugar, el proyecto tiene como principio inspirador el gradualismo. La ley no pretende exigir de un día para otro los estándares ambientales más exigentes, ni someter a todas las actividades del país sin importar su tamaño, a los procedimientos de evaluación ambiental.
- 4) En cuarto lugar, el proyecto establece el principio de responsabilidad, con el cual se pretende que los responsables por los daños ambientales reparen a sus víctimas de todo daño. (Ministerio Secretaria General de la Presidencia, 2023)

Respecto a las estadísticas a nivel Mundial, existe un informe de evaluación ambiental, el Environmental Performance Index (EPI), se publica cada dos años y se realiza con colaboración entre la Universidad de Yale y el Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) de la Universidad de Columbia, el objetivo de este reporte es proporcionar una medida comparativa del desempeño ambiental de los países a nivel mundial.

El EPI se basa en varios indicadores que evalúan cuestiones ambientales clave, como la calidad del aire, la calidad del agua, la biodiversidad, la gestión de residuos, el cuidado del ecosistema y la mitigación del cambio climático, entre otros. Estos indicadores se seleccionan y ponderan de acuerdo con su importancia relativa, ver figura 43.

Figura 42

The 2022 EPI Framework. 40 performance indicators fall into 11 issue categories, which are aggregate into three policy objectives. Weights show the percentage of the total EPI score.



Nota. Tomado de (Wolf et al., 2022)

La importancia de este indicador radica en varios aspectos, en primer lugar, proporciona a los países una herramienta objetiva para evaluar su desempeño ambiental y compararse con otros en materia de políticas ambientales, además, el EPI destaca áreas en las que los países pueden mejorar, lo que puede guiar la toma de decisiones políticas y la asignación de recursos para abordar los desafíos ambientales. También es relevante a nivel global, ya que ayuda a la comunidad internacional a identificar áreas críticas que requieren atención, así como a rastrear el progreso hacia objetivos ambientales, como los relacionados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Es una herramienta fundamental para evaluar y comparar el desempeño ambiental a nivel nacional e internacional, lo que puede influir en políticas y acciones para abordar los problemas ambientales en todo el mundo.

En el reporte de 2022 Chile se ubica en posición 61 en el ranking con una puntuación de 46,7 respecto a 180 países a nivel mundial, respecto a la región de América Latina y el Caribe, se encuentra 12 en el ranking, sobre México, Brasil, Argentina, destacar que el primer lugar lo ocupa Dinamarca con 77,9 puntos en el ranking, ver figura 44.

Figura 43

2022 EPI rank, score and regional rank (REG) for 180 countries

RANK	COUNTRY	SCORE	REG	RANK	COUNTRY	SCORE	REG	RANK	COUNTRY	SCORE	REG
1	Denmark	77.9	1	60	Djibouti	47.5	6	121	Honduras	36.5	30
2	United Kingdom	77.7	2	62	Albania	47.1	15	122	Gambia	36.4	21
3	Finland	76.5	3	63	Montenegro	46.9	16	122	Samoa	36.4	11
4	Malta	75.2	4	63	South Korea	46.9	4	124	Marshall Islands	36.2	12
5	Sweden	72.7	5	65	Chile	46.7	12	125	Uganda	35.8	22
6	Luxembourg	72.3	6	66	Ecuador	46.5	13	126	Kyrgyzstan	35.7	12
7	Slovenia	67.3	1	67	Venezuela	46.4	14	127	Burkina Faso	35.5	23
8	Austria	66.5	7	68	Costa Rica	46.3	15	127	Egypt	35.5	8
9	Switzerland	65.9	8	69	Zimbabwe	46.2	7	129	Timor-Leste	35.1	13
10	Iceland	62.8	9	70	Suriname	45.9	16	130	Malaysia	35.0	14
11	Netherlands	62.6	10	71	Brunei Darussalam	45.7	5	130	Solomon Islands	35.0	14
12	France	62.5	11	72	Jamaica	45.6	17	132	Sri Lanka	34.7	4
13	Germany	62.4	12	73	Mexico	45.5	18	133	Iran	34.5	9
14	Estonia	61.4	2	74	Taiwan	45.3	6	134	Tanzania	34.2	24
15	Latvia	61.1	3	75	Central African Republic	44.9	8	135	Togo	34.0	25
16	Croatia	60.2	4	75	Eswatini	44.9	8	136	Senegal	33.9	26
17	Australia	60.1	13	77	Equatorial Guinea	44.8	10	137	Qatar	33.0	10
18	Slovakia	60.0	5	77	Mauritius	44.8	10	138	Côte d'Ivoire	32.8	27
19	Czech Republic	59.9	6	79	Serbia	43.9	17	138	Rwanda	32.8	27
20	Norway	59.3	14	80	Tonga	43.8	7	140	Sierra Leone	32.7	29
21	Belgium	58.2	15	81	Afghanistan	43.6	1	141	Lesotho	32.3	30
22	Cyprus	58.0	7	81	Brazil	43.6	19	142	Lebanon	32.2	11
23	Italy	57.7	16	81	Jordan	43.6	3	143	Ethiopia	31.8	31
24	Ireland	57.4	17	84	Moldova	42.7	4	144	Eritrea	31.7	32
25	Japan	57.2	1	85	Bhutan	42.5	2	144	Mozambique	31.7	32
26	New Zealand	56.7	18	85	Comoros	42.5	12	146	Guinea	31.6	34
27	Spain	56.6	19	87	Colombia	42.4	20	147	Fiji	31.3	16
28	Bahamas	56.2	1	87	Kuwait	42.4	4	148	Kenya	30.8	35
28	Greece	56.2	8	89	Dominican Republic	42.2	21	149	Laos	30.7	17
30	Romania	56.0	9	90	Bahrain	42.0	5	149	Oman	30.7	12
31	Lithuania	55.9	10	91	Cabo Verde	41.9	13	151	Angola	30.5	36
32	Seychelles	55.6	1	92	Argentina	41.1	22	151	Burundi	30.5	36
33	Hungary	55.1	11	93	Kazakhstan	40.9	5	153	Cameroon	30.2	38
34	North Macedonia	54.3	12	93	Paraguay	40.9	23	154	Cambodia	30.1	18
35	Botswana	54.0	2	95	El Salvador	40.8	24	155	Algeria	29.6	13
36	Barbados	53.2	2	96	Tunisia	40.7	6	155	Benin	29.6	39
36	St. Vincent and Grenadines	53.2	2	97	Malawi	40.6	14	155	Mongolia	29.6	19
38	São Tomé and Príncipe	52.9	3	98	Guinea-Bissau	40.2	15	158	Philippines	28.9	20
39	Antigua and Barbuda	52.4	4	99	Bolivia	40.1	25	159	Mali	28.5	40
39	United Arab Emirates	52.4	1	99	Republic of Congo	40.1	16	160	China	28.4	21
41	Bulgaria	51.9	13	101	Peru	39.8	26	160	Morocco	28.4	14
42	Dominica	51.2	5	102	Bosnia and Herzegovina	39.4	18	162	Nepal	28.3	5
43	United States of America	51.1	20	103	Georgia	39.1	6	162	Nigeria	28.3	41
44	Namibia	50.9	4	104	Azerbaijan	38.6	7	164	Indonesia	28.2	22
44	Singapore	50.9	2	105	Guyana	38.5	27	165	Chad	28.1	42
46	Poland	50.6	14	106	Zambia	38.4	17	165	Mauritania	28.1	42
47	Panama	50.5	6	107	Uzbekistan	38.2	8	167	Guatemala	28.0	31
48	Portugal	50.4	21	108	Thailand	38.1	8	167	Madagascar	28.0	44
49	Belize	50.0	7	109	Saudi Arabia	37.9	7	169	Iraq	27.8	15
49	Canada	50.0	22	110	Nicaragua	37.7	28	170	Ghana	27.7	45
51	Gabon	49.7	5	110	Niger	37.7	18	171	Sudan	27.6	16
52	Ukraine	49.6	1	112	Russia	37.5	9	172	Turkey	26.3	19
53	Saint Lucia	49.4	8	113	Maldives	37.4	3	173	Haiti	26.1	32
54	Kiribati	49.0	3	113	Micronesia	37.4	9	174	Liberia	24.9	46
55	Belarus	48.5	2	113	Uruguay	37.4	29	175	Papua New Guinea	24.8	23
56	Armenia	48.3	3	116	South Africa	37.2	19	176	Pakistan	24.6	6
57	Israel	48.2	2	117	Tajikistan	37.1	10	177	Bangladesh	23.1	7
58	Grenada	47.9	9	118	Turkmenistan	37.0	11	178	Viet Nam	20.1	24
59	Trinidad and Tobago	47.8	10	119	Dem. Rep. Congo	36.9	20	179	Myanmar	19.4	25
60	Cuba	47.5	11	119	Vanuatu	36.9	10	180	India	18.9	8

Asia-Pacific

Eastern Europe

Former Soviet States

Global West

Greater Middle East

Latin America & Caribbean

Southern Asia

Sub-Saharan Africa

Nota. Tomado de (Wolf et al., 2022)

La posición de Chile en el EPI en comparación con otros países de América del Sur podría indicar su liderazgo regional en términos de políticas y prácticas ambientales en otras palabras si Chile ocupa una posición relativamente alta, esto sugiere que el país está tomando medidas

significativas para abordar problemáticas ambientales y servir como ejemplo para otros países de la región.

De cara a los inversionistas interesados en proyectos sostenibles y ambientalmente responsables, pueden considerar la posición de Chile en el EPI como un indicador de su compromiso con la sostenibilidad, volviéndose así un país atractivo para las inversiones en este tipo de proyectos, por tanto, una alta clasificación es ideal.

Dado que Chile está aumentando la producción de litio y se evalúa la posibilidad de elaborar baterías de ion de litio o componentes de estas, esto podría atraer inversiones en tecnologías y energías limpias, como vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía. Promover la energía renovable y la movilidad eléctrica pueden aumentar la atracción del país para inversiones en estos sectores.

No obstante a pesar de un buen puntaje en el EPI, Chile podría tener desafíos ambientales pendientes, como la gestión de recursos naturales y la adaptación al cambio climático, por tanto es crucial que el país continúe mejorando en estas áreas para mantener su posición y atractivo para inversionistas comprometidos con la sostenibilidad.

3.7.6 Legal

Es la fuente principal de donde emana el marco legal es la Constitución Política de la República de Chile de 1980, el cual fue reformado en 2005 bajo el gobierno de Ricardo Lagos Escobar. (Dirección del Trabajo, 2023 a)

como se ha mencionado, el país se encuentra en un proceso de elaboración de una nueva propuesta constitucional que una vez presentada debe ser votada por todos los chilenos y eventualmente podría traer cambios a la normativa actual.

La seguridad social es un punto transversal a toda actividad económica que se quiera desarrollar en el territorio nacional, busca garantizar el acceso a medicina, garantizar la seguridad del ingreso frente a enfermedades, accidentes, invalidez, maternidad y la vejez.

Básicamente son 4 los componentes del sistema de previsión:

Sistema de pensiones, ante las contingencias de vejez invalidez y muerte.

Sistema de salud, ante las contingencias de enfermedad y embarazo.

Seguro de accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales, ante la seguridad y salud en el trabajo.

Seguro de Cesantía, ante la contingencia de desempleo.

Respecto a las cotizaciones previsionales obligatorias, se realizan a través de instituciones privadas AFP, donde de forma obligatoria se realizará el descuento del 10% de las remuneraciones imponibles en una cuenta de capitalización individual, el objetivo es que con los ahorros propios, los cotizantes se puedan sostener luego de jubilar, además en caso de fallecimiento del cotizante

sus beneficiarios tengan alguna pensión, la cotización obligatoria tiene un tope de 81,6 UF que se reajusta anual.

Por sobre la cotización además existe un cobro de comisión que va entre un 0,49% a 1,45% de las remuneraciones, junto con un porcentaje adicional 1,88% para el seguro de invalidez y sobrevivencia (SIS).

Respecto al seguro de cesantía, corresponde al 3% de la remuneración imponible mensual del trabajador, en el caso de los trabajadores con contrato indefinido la distribución del 3% del seguro se realizará de la siguiente forma: un 0,6% de cargo al trabajador se abonará directo a su cuenta personal individual de seguro de cesantía (CIC), 2,4% restante es de cargo del empleador, que a su vez se divide en 1,6% directo para la cuenta (CIC) y 0,8% al fondo solidario del seguro de cesantía (FCS).

En el caso de otros formatos de contrato como a plazo, faenas o servicios, el aporte del empleador corresponde al 3% completo de la remuneración imponible del trabajador, este 3% será distribuido en un 2,8% para la cuenta CIC del mismo trabajador y un 0,2% al fondo solidario (FCS) como se mencionó anteriormente.

3.7.6.1 Aduanas.

3.7.6.1.1 Importaciones. Respecto al arancel de aduanas para las mercancías que ingresan al país.

“En Chile el arancel general para todas las mercancías es de un 6% de derechos ad valorem, calculado sobre el valor aduanero o CIF de estas.” (Chile Aduanas, www.aduana.cl, 2023 b)

“EJEMPLO:

Valor CIF US \$1.000,00

Derecho ad valorem (6% de 1.000) US \$ 60,00

IVA (19%) (sobre 1.060,00) US \$ 201,40

TOTAL TRIBUTOS ADUANEROS US \$ 261,40” (Chile Aduanas, www.aduana.cl, 2023

c)

Existen casos especiales para algunos productos o mercancías, a los cuales se aplican impuestos especiales, en otras palabras: CIF + derecho ad valorem, por otro lado, también pudiesen aplicar rebajas.

Esto último puede variar según los acuerdos de libre comercio que pueda tener Chile con los países de origen, algunos de ellos citados anteriormente en el apartado de Políticas.

Para clasificar las mercancías existe un código arancelario, este código aduanero permite a todos los actores comercio y logística funcionar de forma clara ya que es un sistema de armonización de mercancías (SA), en otras palabras, una nomenclatura utilizada a nivel mundial para clasificar productos, bajo la norma Dto. RR. EE. N° 171/2008, publicada el 24-01-2008.

3.7.6.1.2 *Exportaciones.*

En Chile existen algunos beneficios para los exportadores de productos y servicios, con el objeto de incentivar la actividad exportadora. Por lo tanto, hay que tener muy claro que, al momento de realizar una exportación, las mercancías quedan exentas de todo tipo de impuesto o derecho arancelario. (Subsecretaría de Relaciones Económicas Internacionales, 2023)

3.7.6.2 Ley del Lobby.

“Entrega información acerca de la regulación legal a las actividades lobby que se ejercen sobre autoridades y funcionarios.” (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2019)

El lobby comprende acciones o gestiones pagadas que buscan influir en decisiones oficiales en favor de intereses privados, en este sentido un lobista, ya sea de nacionalidad chilena o extranjera, trabaja para promover intereses personales o de un grupo, pudiendo recibir o no compensación. La ley determina qué entidades están sujetas al lobby y las obliga a documentar y hacer públicos sus horarios, reuniones, agendas, viajes relacionados con su trabajo y donaciones recibidas. Además, la ley requiere un registro de lobistas, que debe ser mantenido por los órganos e instituciones designados por la ley. En este registro se incluyen todas las personas, tanto chilenas como extranjeras, que realicen actividades de lobby.

Las acciones reguladas incluyen la creación, modificación o anulación de actos administrativos y leyes, junto con las decisiones tomadas por autoridades y funcionarios. También abarcan las resoluciones del Congreso Nacional, tanto de sus miembros como de sus comités, así como los acuerdos para establecer, modificar o finalizar contratos, y la planificación, implementación y evaluación de políticas, planes y programas.

Asimismo, garantiza que las autoridades traten por igual a todas las partes que solicitan reuniones, con sanciones administrativas predefinidas por la ley en caso de infracción. Estas sanciones se aplican tanto a los que reciben como a los que realizan actividades de lobby.

3.7.6.3 Dirección del trabajo. En Chile, existe un Código del Trabajo que rige las relaciones entre trabajadores y empleadores en diversos ámbitos, abarcando el sector privado, funcionarios públicos, la administración pública, el Congreso Nacional, el Poder Judicial y las empresas estatales. Este código se divide en dos, Libro I y II que se refieren a los derechos individuales, y Libro III y IV que tratan los derechos colectivos.

A su vez existe una serie de leyes y decretos que regulan el trabajo, a continuación, las tablas con las principales regulaciones ver Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12.

3.7.6.4 Leyes.

Tabla 10

Principales leyes laborales.

Ley	Fecha	Asunto
Ley N° 21.015	01-04-2018	Incentiva la inclusión de personas con discapacidad al mundo laboral.
Ley N° 21.220	01-04-2018	Modifica el Código del Trabajo en materia de trabajo a distancia
Ley N° 19.889	03-07-2012	Regula las condiciones de trabajo y contratación de los trabajadores de artes y espectáculos.
Ley N° 20.545	18-10-2011	Modifica las normas sobre protección a la maternidad e incorpora el Permiso Postnatal Parental. Promulgada el 06 de octubre de 2011 por el Presidente Sebastián Piñera Echenique.
Ley N° 20.255	17-03-2008	Establece reforma previsional
Ley N° 20.215	14-09-2007	Modifica normas relativas a los trabajadores dependientes del comercio en los períodos de Fiestas Patrias, Navidad y otras festividades.
Ley N° 20.137	16-12-2006	Otorga permiso laboral por nacimiento y muerte de parientes. Publicada en el Diario Oficial el 16 de diciembre de 2006
Ley N° 20.123	13-10-2006	Regula el trabajo en régimen de Subcontratación, el funcionamiento de las Empresas de Servicios Transitorios, y el contrato de trabajo de servicios transitorios. Publicada en el Diario Oficial el 14 de Octubre de 2006, entrada en plena vigencia desde el 14 de Enero de 2007.

Ley N° 20.058	25-09-2005	Modifica diversas normas del Código del Trabajo. Promulgada el 13 de Septiembre de 2005, publicada en el Diario Oficial el 26 de Septiembre de 2005.
Ley N° 20.047	01-09-2005	Establece permiso paternal en el Código. Promulgada el 24 de Agosto de 2005, publicada el 2 de Septiembre de 2005 en el Diario Oficial de la República de Chile.
Ley N° 20.012	01-05-2005	Otorga bono extraordinario para los sectores de menores ingresos. Promulgada el 22 de abril de 2005 y publicada el 2 de Mayo de 2005 en el Diario Oficial.
Ley N° 20.005	18-03-2005	Tipifica y sanciona el acoso sexual. Promulgada el 8 de Marzo de 2005 y publicada el 18 de Marzo de 2005. Incluye modificaciones al Código del Trabajo.
Ley N° 20.001	05-02-2005	Regula el peso máxima de carga humana. Promulgada el 28 de Enero de 2005 y publicada el 05 de Febrero de 2005.
Ley N° 19.728	14-05-2001	Seguro de Desempleo. Promulgada el 30 de Abril de 2001.
Ley N°19.378	12-04-2000	Ley que norma la administración, régimen de financiamiento y coordinación de la atención primaria de salud. Promulgada el 24 de marzo de 1995 y publicada el 13 de abril de 2000.
Ley N° 19.578	29-07-1998	Concede aumento a las pensiones y establece su financiamiento por medio de modificaciones a normas tributarias.
Ley N° 19.404	20-08-1995	Introduce modificaciones al Decreto Ley n° 3.500, de 1980, y dicta normas relativas a pensiones de vejez, considerando el desempeño de trabajos pesados. Publicado en el Diario Oficial del 21 de agosto de 1995.
Ley N° 19.345	07-11-1994	Dispone aplicación de la Ley N° 16.744 sobre seguro social contra riesgos de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales a trabajadores del sector público.
Ley N° 19.296	13-03-1994	Establece normas sobre asociaciones de funcionarios de la Administración del Estado. Promulgada el 28 de febrero de 1994 y publicada el 14 de marzo de 1994.
Ley N° 18.739	04-01-1985	Autoriza reprogramación de las deudas por imposiciones, aportes e impuestos establecidos en los decretos leyes N°s 3.500 y 3.501, de 1980, de los empleadores con las instituciones de previsión
Ley N° 18.379	04-01-1985	Que presume de buena fe declaraciones erróneas de imposiciones. Publicada en el Diario Oficial el 4 de Enero de 1985.
Ley N° 18.482		Normas complementarias de administración financiera y de incidencia presupuestaria
Ley N° 20.096		Establece los mecanismos de control aplicables a las sustancias agotadoras de la capa de ozono. Promulgada el 4 de febrero de 2006 y publicada en el Diario Oficial el 23 de marzo de 2006.
Ley N° 18.156		Establece exención de cotizaciones previsionales a los técnicos extranjeros y a las empresas que los contraten bajo las condiciones que se indican y deroga la Ley N° 9.705. Publicada en el Diario Oficial de 25 de agosto de 1982, y modificada por Ley 18.726, publicada en Diario Oficial el 23 de julio de 1988.
Ley N° 17.322		Normas para la cobranza judicial de cotizaciones, aportes y multas de las instituciones de seguridad social. Ley Publicada en el Diario Oficial de 19 de agosto de 1970 que fue modificada por la ley N° 20.023, publicada en el Diario Oficial de 31 de mayo de 2005, en cuyo Artículo 1° transitorio, establece que esta modificación entró en vigencia conjuntamente con el inicio del funcionamiento de los Juzgados de Cobranza Laboral y Previsional, es decir el 01 de marzo de 2006, y además modificada por los siguientes cuerpos legales: Ley 19.785, D.O. 14 de febrero de 2002; Ley 19.250, D.O. 30 de septiembre de 1993; Ley 19.447, D.O. 08 de febrero de 1996; Ley 19.260, D.O. 04 de diciembre de 1993; Ley 18.812, D.O. 15 de julio de 1989; Ley 18.768, D.O. 29 de diciembre de 1988; Ley 18.482, D.O. 28 de diciembre de 1985; Ley 18.379, D.O. 04 de enero de 1985; Ley 18.196, D.O. 29 de diciembre de 1982; Ley 18.137, D.O. 05 de julio de 1982; Ley 18.048, D.O. 06 de noviembre de 1981; D.L. 2.062, D.O. 19 de diciembre de 1977; DFL 115, de Ministerio de Trabajo y Previsión Social, D.O. 26 de enero de 1979; D.L. 1.526, D.O. 07 de agosto de 1976.
Ley N° 19.070, Estatuto Docente		DFL N° 1, fija texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 19.070 que aprobó el estatuto de los profesionales de la educación, y de las leyes que la complementan y modifican.
Ley N° 19.240		Sustituye plantas de personal de la Dirección del Trabajo.

Ley N° 18.736		Establece forma especial de acreditar el fallecimiento de personas desaparecidas en catastrofe que indica, para fines de seguridad social.
Ley N° 15.737		Concede al personal de rayos X y radioterapia que ejerza sus actividades en los servicios que indica el goce de los beneficios que señala.
Ley N° 16.744	31-01-1968	Aprueba seguro social contra riesgos de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales.
Ley N° 12.084	17-08-1956	Sanciona la percepción indebida de beneficios previsionales. Promulgada el 13 de agosto de 1956 por el Presidente Carlos Ibáñez del Campo
Ley N° 10.475	07-09-1952	Concede los derechos que indica, relacionados con pensiones de invalidez, antigüedad, etc., a los empleados que hagan imposiciones en la caja de previsión de empleados particulares

Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Dirección del Trabajo, www.dt.gob.cl, 2023 b)

3.7.6.5 Decretos.

Tabla 11

Principales Decretos Ley Laborales

Decretos Ley	Fecha	Asunto
Decreto N° 50	10-09-2007	Aprueba reglamento para la aplicación del artículo 13 del Código del Trabajo sobre trabajo de menores.
Decreto N° 35 (2005)	09-05-2005	Aprueba Reglamento para la aplicación de la asignación de estímulo y desempeño establecida en el Título 1 de la Ley N°19.994
Decreto Ley N° 3.500	13-11-1980	Fija el régimen de previsión social derivado de la capitalización individual y establece nuevo sistema de pensiones. promulgada el 4 de noviembre de 1980 y publicada el 13 de noviembre de 1980.
Decreto N° 319	01-07-1978	Aprueba reglamento del artículo 183-C inciso segundo del Código del Trabajo, incorporado por la Ley N° 20.123, sobre acreditación de cumplimiento de obligaciones laborales y previsionales.
Decreto N° 586 (1965)		Reglamento sobre feriado progresivo para empleados y obreros.
Decreto Ley N° 2.251	01-07-1978	Bonifica la contratación de trabajadores ciegos y sordomudos y otorga subsidio a enfermos del Mal de Hanssen. Publicado en el D.O. 01 de julio de 1978.

Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Dirección del Trabajo, www.dt.gob.cl, 2023 c)

3.7.6.6 Decretos con Fuerza de Ley.

Tabla 12

Principales Decretos con Fuerza de Ley

Decretos con fuerza de Ley	Fecha	Asunto
D.F.L. N° 35	30-12-2004	Determina, para el Ministerio del Trabajo y Previsión Social y Servicios Públicos que indica, los cargos que tendrán la calidad dispuesta en el artículo 7° bis de la Ley N° 18.834 y cambia denominaciones que señala
DFL N° 11	12-02-1993	Fija la cotización adicional diferenciada establecida en la ley N° 16.744, para los trabajadores hípicos independientes, según su actividad
DFL N° 101	23-10-1989	Incorpora al seguro social contra riesgos de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales contemplado en la ley 16.744 a los pescadores artesanales independientes
DFL N° 54	05-08-1987	Incorpora a los trabajadores independientes que indica al seguro social contra riesgos de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales
Decreto N° 66	25-10-1985	Instituye premio "Presidente de la República", a trabajador que formule la mejor proposición sobre la prevención de riesgos profesionales
Decreto N° 68	02-10-1983	Incorpora al seguro social contra riesgos de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales a los conductores propietarios de automoviles de alquiler que indica
Decreto N° 202	13-10-1981	Aprueba el reglamento de autorización de licencias por los servicios de salud del decreto ley N° 2.763, de 1979
DFL N° 90	11-01-1979	Establece régimen previsional de asignación por muerte
Decreto Ley N° 2.300	07-08-1978	Establece forma de acreditar para fines de Seguridad Social el fallecimiento de persona desaparecida con ocasión de accidente marítimo o aéreo.
DFL N° 44	23-07-1978	Fija normas comunes para los subsidios por incapacidad laboral de los trabajadores dependientes del sector privado.
Decreto N° 244	11-10-1977	Incorpora a los suplementeros al seguro social contra riesgos de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales
Decreto N° 488	07-12-1976	Incorpora el seguro social contra riesgos de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales a los campesinos asignatarios de tierras

Decreto N° 90		Modifica decreto N° 60 de 1999 y fija texto refundido, coordinado y sistematizado de decreto N° 48 de 1986 que aprueba reglamento sobre trabajo portuario
DFL N° 19		Incorpora al seguro social contra accidentes del trabajo y enfermedades profesionales a pirquineros independientes.
Ley Orgánica de la Dirección del Trabajo D.F.L. N° 2		Ley de 1967, del Ministerio del Trabajo y Previsión Social que dispone la reestructuración y fija funciones de la Dirección del Trabajo
Decreto N° 285	26-02-1969	Estatuto orgánico de mutualidades de empleadores.

Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Dirección del Trabajo, www.dt.gob.cl, 2023 d)

3.7.6.7 Minería.

El marco legal respecto a la industrial minera es bastante extenso, para efectos de este análisis serán mencionados en forma general por su relevancia como regulación y a su vez como barreras de entrada, así establece los derechos de propiedad, reparticiones y concesiones ver Tabla 13.

Tabla 13

Principales Leyes para la Minería

Ley	Asunto
Ley 19137	Establece normas sobre pertenencias mineras de Codelco-Chile que no forman parte de yacimientos en actual explotación.
Ley 19.300	(Ley de Bases del Medio Ambiente): En su artículo primero, establece el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación.
Ley 20.235	La normativa regula la figura de las Personas Competentes y crea la Comisión Calificadora de Competencias de Recursos y Reservas Mineras.
Ley 20.026	Establece un Impuesto Específico a la Actividad Minería.
Ley 20.551	(Regula el cierre de faenas e instalaciones mineras): En su artículo primero, establece que el cierre de las faenas de la industria extractiva minera se registrará por esta ley.

Ley 19.719	(Patente Minera Especial para Pequeños Mineros y Mineros Artesanales): La normativa, además, condona recargos legales y concede facilidades de pago para patentes atrasadas.
Ley 18.097	(Ley Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras): En su artículo primero la normativa establece que las concesiones mineras pueden ser de exploración o de explotación.

Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Minería Chilena, 2023)

Tabla 14

Decreto con fuerza de Ley

Decreto con fuerza de Ley	Asunto
DFL 302	(Aprueba Disposiciones Orgánicas y Reglamentarias del Ministerio de Minería): El Ministerio de Minería tendrá a su cargo toda la intervención que realiza actualmente el Estado a través de sus diversas reparticiones en las actividades de la Minería.

Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Minería Chilena, 2023)

3.7.6.8 Código de Minería. En su primer artículo, afirma que el Estado posee el control total, exclusivo, inalienable e imprescriptible de todas las minas, a pesar de que las personas naturales o jurídicas sean propietarias de los terrenos que contengan dichas minas.

3.7.6.9 Constitución Política de Chile. Contiene disposiciones transitorias y artículos relacionados con la actividad minera en el país.

3.8 FODA

Un análisis sobre la capacidad de Chile para producir baterías de litio en comparación con China y el costo de oportunidad de vender el carbonato de litio en lugar de producir baterías podría ser el siguiente:

3.8.1 Fortalezas

3.8.1.1 Reservas de Litio. Chile posee algunas de las reservas más grandes de litio en el mundo, especialmente en el Salar de Atacama. Esto le proporciona una ventaja competitiva en términos de acceso a materia prima. Chile es uno de los principales productores de litio a partir de depósitos de salmuera además de poseer alguna de las reservas más grande de litio según lo indicado en el reporte Mineral Commodity Summaries 2023 de U.S. Geological Survey 9.300.000 toneladas, ubicándolo como uno de los países con más reservas de litio en el mundo, esto le proporciona una ventaja competitiva sobre otros productores en términos de acceso a materia prima, además se ubica como el segundo productor mundial después de Australia. En 2022, produjo 39.000 toneladas.

3.8.1.2 Experiencia Minera. Chile se beneficia de su extensa experiencia histórica en la minería ver Figura 45 y de una sólida infraestructura, lo que le otorga una ventaja significativa en la extracción de litio. Además, su estabilidad política atrae a inversores extranjeros, creando un entorno seguro para la inversión en la industria de baterías.

Figura 44

Producción y participación de Chile por tipo de mineral

Tipo de Mineral	Producción en Chile en Toneladas Métricas (1)	Participación en la producción mundial	Ranking en la producción mundial	Participación en reservas mundiales
Cobre	5.328 millones TM	24%	1	21%
Oro	30 TM	1%	>15	8%
Plata	1160 TM	4%	7	5%
Molibdeno	45.627 TM	18%	2	12%
Hierro	10,95 millones TM	0,70%	>15	n.d.

Nota. Tomado de (Consejo Minero, 2023)

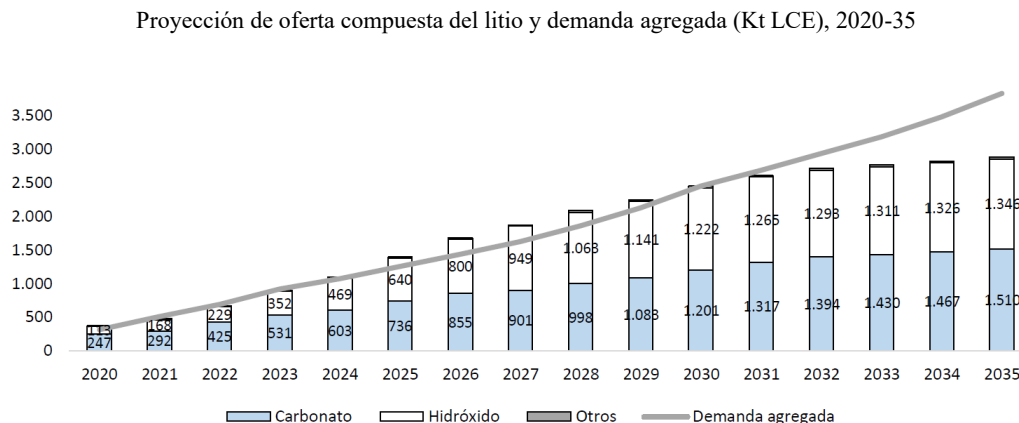
3.8.1.3 Estabilidad Política. Chile ha sido históricamente políticamente estable respecto a la región, y se encuentra por sobre la media en los indicadores de percepción de corrupción con 67 puntos, ver figura 22, lo que atrae a inversores extranjeros y brinda un entorno seguro para la inversión en la industria de baterías.

3.8.1.4 Condiciones Geográficas. Por otro lado, las condiciones geográficas permiten que Chile acceda fácilmente a mercados claves de América del norte y sur, esto facilitaría la exportación de litio sus derivados y baterías.

3.8.2 Oportunidades

3.8.2.1 Demanda Global de Baterías. La creciente demanda global de baterías de litio y por tanto la demanda agregada del litio, especialmente en la industria automotriz y de energías renovables, representa una oportunidad significativa para Chile para diversificar su economía y aumentar sus ingresos, podemos ver en las proyecciones de Cochilco que existirá ya para 2030 una demanda insatisfecha respecto a las exportaciones por este mineral, ver figura 45.

Figura 45



Nota. Tomado de (González et al., 2023)

Además, “ De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, la demanda de litio podría multiplicarse por 42 en 2040, en el escenario de Desarrollo sostenible conforme con el cumplimiento de los objetivos del Acuerdo de París.” (Salazar-Xirinachs, 2023)

3.8.2.2 Inversiones Extranjeras. Atraer inversión extranjera para la producción de baterías podría acelerar el desarrollo de esta industria en Chile.

Por ejemplo, el grupo chino Tsingshan Holding tiene previsto invertir 233 millones de dólares en un proyecto destinado a la fabricación de productos de litio con valor agregado en el norte de Chile. Esta inversión se enmarca en la creciente importancia de garantizar el suministro de metales esenciales, como el litio, en el contexto de la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles.

El acuerdo fue anunciado como parte del viaje a China del presidente chileno, Gabriel Boric, donde se reunió con Xiang. Chile, que alberga las mayores reservas de litio, busca impulsar la producción del metal bajo un nuevo modelo público-privado, al tiempo que fomenta las

inversiones y la transferencia de competencias a lo largo de la cadena de suministro de baterías.
(Attwood, 2023)

3.8.3 Debilidades

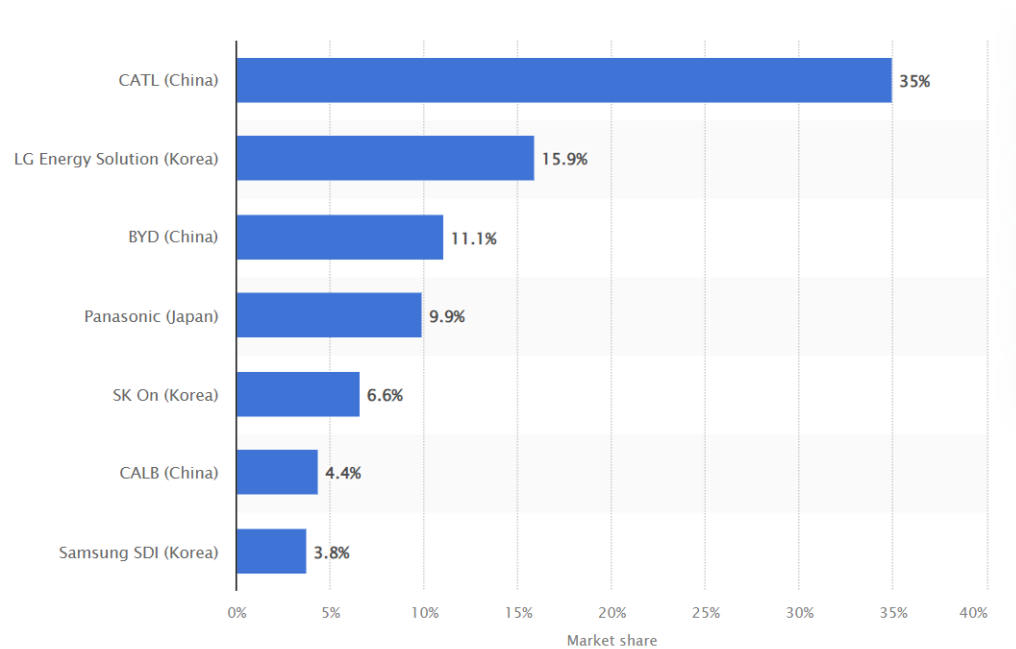
3.8.3.1 Tecnología de Fabricación. Chile podría carecer de la experiencia y tecnología necesarias para la fabricación de baterías de litio de alto valor agregado, lo que podría requerir una inversión significativa en investigación y desarrollo.

Desde el punto de vista técnico, es posible avanzar a armar baterías, pero necesitan acelerar ese proceso de aprendizaje. Hoy, esas capacidades están a niveles de laboratorio y hay algunos investigadores que pueden colaborar, pero escalarlas a niveles industriales lleva tiempo, y ese tiempo puede hacer que no funcione el modelo. Por eso son importantes las alianzas con los que ya producen industrialmente. (Pereda, 2023)

3.8.3.2 Competencia de China. China en la fabricación de litio domina la escala productiva debido a los bajos costos laborales y acceso de suministros y cadena de materiales, en figura 47 vemos como los mayores productores de baterías son de China.

Figura 46

Global market share of lithium ion battery makers as of Q1 2022



Nota. Tomado de (Statista Research Department, 2023)

3.8.3.3 Infraestructura de Transporte. Infraestructura en transporte en Chile no es óptimo, limita la posible exportación de baterías en comparación con otros países como China, siendo esto una desventaja estratégica a la hora de pensar en Chile como exportador de baterías de litio en grandes volúmenes.

3.8.4 Amenazas

3.8.4.1 Competencia Global. La competencia de países como china, Japón, Corea y Australia ponen a Chile en desventaja ante el alto nivel competitivo de estos gigantes productores de baterías de litio, además la posible entrada de bienes sustitutos,

La principal amenaza es la posibilidad de desarrollo de tecnologías alternativas de baterías que sean menos intensivas en el uso de litio o que no lo utilicen del todo, así como el desarrollo de oferta de litio en otras regiones y países, lo que sugiere que la explotación del litio es posiblemente una ventana de oportunidad con horizonte limitado en el tiempo, por lo que los países deben agilizar sus proyectos de extracción e industrialización. (Salazar-Xirinachs, 2023)

3.8.4.2 Costos de Producción.

Si los costos de producción de baterías en Chile son significativamente más altos que en otros lugares, esto podría hacer que la producción sea menos rentable y atractiva para los inversores, respecto a los costos de mano de obra ver figura 22, en el apartado de análisis económico costos de mano de obra, se indica que a 2019 los costos de mano de obra de Chile son 21,5% más altos que en China (aproximadamente).

3.8.4.3 Impacto Ambiental. El impacto ambiental es un tema relevante a la hora de abordar la extracción y producción de litio en Chile, se deben cumplir normativas y regulaciones ambientales para un desarrollo sustentable.

4 Metodología

El análisis está dividido en dos partes, la primera parte un análisis econométrico de la demanda de carbonato de litio, donde el objetivo es encontrar la función de demanda y sus parámetros β_k , utilizando algunos métodos conocidos como, mínimos cuadrados ordinarios (MCO), mínimos cuadrados ordinarios en 2 etapas con variables instrumentales (MC2E) y un modelo autorregresivo de medias móviles (ARIMA). La segunda parte del análisis tiene que ver con estimación de costos de producir un pack de baterías de 100 kwh usando el modelo BatPaC 5.1. Aquí se busca calcular principalmente, (i) la diferencia entre el litio que Chile exporta versus el valor del litio que se importa cuando viene agregado en un pack de baterías (por ejemplo, de 100 kwh como se mencionó anteriormente) y (ii) el costo aproximado de fabricación de baterías de forma local, de manera de obtener una aproximación entre el costo beneficio de un pack de batería vs costo beneficio del carbonato de litio como materia prima.

Para el análisis econométrico se utilizó el modelo log lineal, el objetivo es determinar las elasticidades de las variables que mejor se ajustan a la curva de demanda del carbonato de litio, tanto para la demanda mundial como para la demanda de mineral producido por Chile. Para el análisis se utilizaron principalmente datos de exportaciones obtenidos desde base de datos online tales como: UN comtrade data base, consultando el periodo entre enero 2009 y diciembre 2023 frecuencia mensual, para diferentes materias primas ver tabla 31 Anexo A, obteniendo así el valor total en dólares de las exportaciones y también el volumen en kilogramos o en unidades de los productos consultados, el precio promedio por unidad se obtuvo dividiendo el valor total de exportaciones en dólares sobre el volumen total en kilogramos para obtener los USD/kilogramo de la materia prima consulta por ejemplo carbonato de litio o bien USD/unidad del producto consultado por ejemplo baterías de litio, otros valores como indicadores económicos de Estados

Unidos, Japón y Alemania fueron obtenidos del sitio del Federal Reserve Bank of St. Louis, así también para los datos económicos de Chile fueron tomados de bases de datos del Banco Central de Chile, entre otras fuentes ver referencias, todas las series de datos en las fuentes mencionadas están en frecuencia mensual.

Respecto a los modelos utilizados, tanto para los modelos MCO, MC2E y ARIMA la variable explicada será las exportaciones de carbonato de litio en kg, ya que como se ha mencionado el objetivo es determinar función de demanda “cantidad” de litio, para definir algunos conceptos se utilizó principalmente el texto “Econometría” de Damodar N. Gujarati y Dawn C. Porter quinta edición 2010. Para comenzar se definen dos conceptos: el modelo logarítmico lineal y la elasticidad.

Considerando un modelo de regresión exponencial:

$$Y_i = \beta_1 X_i^{\beta_2} e^{\mu_i}$$

Se puede expresar:

$$\ln Y_i = \ln \beta_1 + \beta_2 \ln X_i + \mu_i$$

Donde $\ln$ = logaritmo natural en base e, donde $e = 2,71828$

$$\ln Y_i = \alpha + \beta_2 \ln X_i + \mu_i$$

Donde $\alpha = \ln \beta_1$... el modelo es línea para los parámetros α y β_2 , línea en los logaritmos de las variables Y y X, y se estima por regresión MCO. (Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 159).

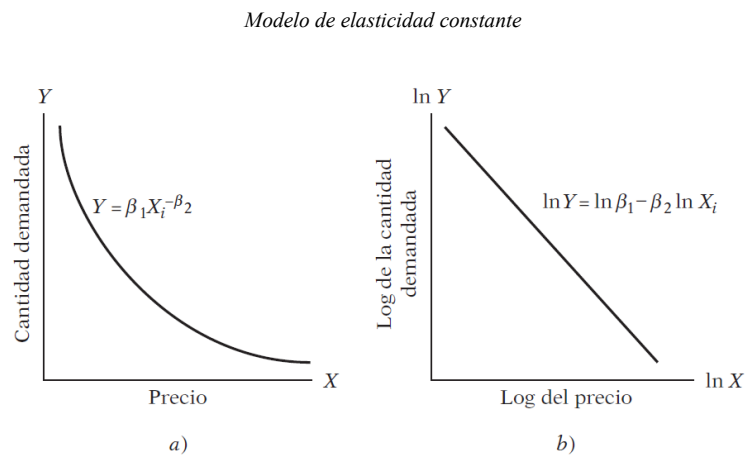
Por tanto, en primer lugar, la función del modelo a estudiar queda expresada como vimos anteriormente $\ln Y_i = \alpha + \beta_2 \ln X_i + \mu_i$

Otro concepto importante es elasticidad en modelos log-lineal.

una característica atractiva del modelo log-log, que lo ha hecho muy popular en el trabajo empírico, es que el coeficiente de la pendiente β_2 mide la elasticidad de Y respecto de X, es decir, el cambio porcentual en Y ante un pequeño cambio porcentual en X. Así, si Y representa la cantidad demandada de un bien y X su precio unitario, β_2 mide la elasticidad-precio de la demanda, parámetro de gran interés en economía. (Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 160).

De forma gráfica para ilustrar la transformación del modelo ver figura 47.

Figura 47



Nota. Tomado de (Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 160)

Por lo anterior el objetivo de la primera etapa es obtener los estimadores β_i . Para ello se recurre a diferentes métodos como los mencionados anteriormente.

Supuestos del modelo de regresión lineal:

La Esperanza de los residuos es cero $E(u) = 0$, principio de homoscedasticidad y no correlación lineal $E(uu') = \sigma^2 I$, es decir varianza constante y correlación lineal 0, la variable independiente X_k es no estocástica en otras palabras, es un conjunto de números fijos, el número de columnas de

X es k y k menor que el número de observaciones n finalmente el vector de residuos tiene distribución normal, Media cero y varianza σ^2 , ver tabla 15.

Tabla 15

Supuestos del modelo clásico de regresión lineal

Notación escalar		Notación matricial
1. $E(u_i) = 0$,	para cada i (3.2.1)	1. $E(\mathbf{u}) = \mathbf{0}$ donde $\mathbf{u}$ y $\mathbf{0}$ son vectores columna $n \times 1$, con $\mathbf{0}$ como vector nulo
2. $E(u_i, u_j) = 0$ $= \sigma^2$	$i \neq j$ (3.2.5) $i \neq j$ (3.2.2)	2. $E(\mathbf{u}\mathbf{u}') = \sigma^2 \mathbf{I}$ donde $\mathbf{I}$ es una matriz de identidad $n \times n$
3. $X_2, X_3, \dots, X_k$ son fijas o no estocásticas		3. La matriz $\mathbf{X}$, $n \times k$ es no estocástica; es decir, consiste en un conjunto de números fijos
4. No hay relación lineal exacta entre las variables X ; es decir, no hay multicolinealidad	(7.1.9)	4. El rango de $\mathbf{X}$ es $p(\mathbf{X}) = k$, donde k es el número de columnas en $\mathbf{X}$ y k es menor que el número de observaciones, n
5. Para las pruebas de hipótesis $u_i \sim N(0, \sigma^2)$	(4.2.4)	5. El vector $\mathbf{u}$ tiene una distribución normal multivariada, es decir, $\mathbf{u} \sim N(0, \sigma^2 \mathbf{I})$

Nota. Tomado de (Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 852)

Respecto al primer método MCO.

“el método de MCO consiste en estimar $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ de manera que $\sum \hat{u}_i^2$ sea lo más pequeño posible.” (Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 854)

Para obtener la estimación por MCO de β , primero expresamos la regresión muestral compacta en notación matricial como:

$$y = X\hat{\beta} + \hat{u}$$

donde $\hat{\beta}$ es un vector columna de k elementos compuesto por los estimadores de MCO de los coeficientes de regresión, y donde $\hat{u}$ es un vector columna de $n \times 1$ con n residuos. (Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 853)

Para el cálculo de los Estimadores, donde el vector resultante $\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_i \end{bmatrix}$ es el vector de los estimadores.

$$\hat{\beta} = (\hat{X}X)^{-1} \hat{X}$$

(Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 855)

Por otro lado la matriz de varianzas y covarianzas:

$$var - cov(\hat{\beta}) = \sigma^2 (\hat{X}X)^{-1}$$

(Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 856)

Sabemos que los estimadores por propiedad del teorema de Gauss-Marokov, los estimadores del vector $\hat{\beta}$ serán lineales, insesgados, de varianza mínima son MELI (mejores estimadores lineales insesgados).

En los casos de dos y tres variables, sabemos que los estimadores de MCO son lineales e insesgados, y en la clase de todos los estimadores lineales e insesgados, éstos tienen varianza mínima (propiedad de Gauss-Markov). En resumen, los estimadores de MCO son los mejores estimadores lineales insesgados (MELI). Esta propiedad se extiende a todo el vector $\hat{\beta}$; es decir, $\hat{\beta}$ es lineal (cada uno de sus elementos es una función lineal de Y, la variable dependiente). $E(\hat{\beta}) = \beta$, es decir, el valor esperado de cada elemento de $\hat{\beta}$ es igual al elemento correspondiente de la verdadera β , y en la clase de todos los estimadores lineales e insesgados de β , el estimador de MCO, $\hat{\beta}$ tiene varianza mínima. (Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 858)

Para los modelos Variables Instrumentales por MC2E (mínimos cuadrados en dos etapas). Para el caso de los modelos en los cuales se sospecha de correlación entre las variables independientes y los errores, se procede a usar variables instrumentales o proxys donde estas variables si bien tendrán alta correlación con la variable X_i de la cual sospechamos, no obstante, no tendrán correlación con el residuo.

Por ejemplo, cuando hay error de medición en la variable explicativa X si se tiene que

$$Y_i = \alpha + \beta X_i^* + u_i$$

Si: $X_i = X_i^* + w_i$ y, por otra parte: $z_i = u_i - \beta w_i$ como una composición de errores.

Ahora bien, aunque supongamos que w_i tiene media cero, es serialmente independiente y no está correlacionado con u_i , no podemos suponer todavía que el término de error compuesto z_i es independiente de la variable explicativa X_i porque [suponiendo que $E(z_i) = 0$]

$$\begin{aligned} cov(z_i, X_i) &= E[z_i - E(z_i)][X_i - E(X_i)] \\ &= E(u_i - \beta w_i^2)(w_i) \\ &= E(-\beta w_i^2) \\ &= -\beta \sigma_w^2 \end{aligned}$$

Así la variable explicativa y el término de error están correlacionados, lo cual viola el supuesto básico del modelo clásico de regresión lineal de que la variable explicativa no está correlacionada con el término de perturbación estocástico. Si se viola este supuesto, puede demostrarse que los estimadores de MCO no solamente están sesgados, sino que son también

inconsistentes, es decir, permanecen sesgados, aunque el tamaño de la muestra, n , aumente indefinidamente. (Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 484)

No obstante, una alternativa para solucionar problemas como el anterior mencionado es la utilización de variables instrumentales.

Otro remedio sugerido son las variables instrumentales o representantes (proxy) que, aunque están muy correlacionadas con las variables X originales, no están correlacionadas con los términos de error ecuacional y de medición (es decir, u_i y w_i). Si es posible encontrar tales variables representantes, también lo es obtener una estimación consistente de β . (Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 485)

Para ilustrar el método MC2E si se tienen dos funciones, por ejemplo: Y_{1t} e Y_{2t} donde:

$$Y_{1t} = \beta_{10} + \beta_{11}Y_{2t} + \gamma_{11}X_{1t} + \gamma_{12}X_{2t} + u_{1t}$$

$$Y_{2t} = \beta_{20} + \beta_{21}Y_{1t} + u_{2t}$$

(Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 718)

Etapas 1:

$$Y_{1t} = \hat{\Pi}_0 + \hat{\Pi}_1X_{1t} + \hat{\Pi}_2X_{2t} + \hat{u}_t$$

Donde $\hat{u}_t$ son los residuos de MCO tradicionales.

$$\hat{Y}_{1t} = \hat{\Pi}_0 + \hat{\Pi}_1X_{1t} + \hat{\Pi}_2X_{2t}$$

Donde $\hat{Y}_{1t}$ es una estimación del valor medio de Y condicional de las X fijas.

Y_{1t} puede expresarse ahora como:

$$Y_{1t} = \hat{Y}_{1t} + \hat{u}_t$$

Etapas:

$$Y_{2t} = \beta_{20} + \beta_{21} (\hat{Y}_{1t} + \hat{u}_t) + u_{2t}$$

$$Y_{2t} = \beta_{20} + \beta_{21} \hat{Y}_{1t} + (u_{2t} + \beta_{21} \hat{u}_t)$$

$$Y_{2t} = \beta_{20} + \beta_{21} \hat{Y}_{1t} + u_t^*$$

Donde $u_t^* = u_{2t} + \beta_{21} \hat{u}_t$

(Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 719)

Podemos notar que $Y_{2t} = \beta_{20} + \beta_{21} \hat{Y}_{1t} + u_t^*$ es similar a la expresión, $Y_{2t} = \beta_{20} + \beta_{21} Y_{1t} + u_{2t}$, donde Y_{1t} es reemplazado por $\hat{Y}_{1t}$ no obstante en esta última ecuación $\hat{Y}_{1t}$ no estará correlacionada con el residuo u_t^* a diferencia de Y_{1t} donde si existía correlación con u_{2t} , por tanto esta transformación ahora cumple con el principio de no correlación de la regresión lineal general.

El problema que presentaran estos estimadores es que en general serán sesgados y por tanto su varianza no es mínima es mayor que la de los estimadores por MCO, y en este sentido ya no son MELI.

Respecto a los modelos ARIMA o metodología Box-Jenkins (BJ).

A diferencia de los modelos de regresión, en los cuales Y_t se explica por las k regresoras $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$, en los modelos de series de tiempo del tipo BJ, Y_t se explica por valores pasados o rezagados de sí misma y por los términos de error estocásticos. Por esta razón, los

modelos ARIMA reciben algunas veces el nombre de modelos ateóricos (Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 775).

Un paso previo a los modelos ARIMA son los modelos ARMA, Auto Regresivo de Medias Móviles.

Desde luego, es muy probable que, Y tenga características de AR y de MA a la vez, y, por consiguiente, sea ARMA. Así, Y_t sigue un proceso ARMA(1, 1) si se escribe como

$$Y_t = \theta + \alpha Y_{t-1} + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1}$$

porque hay un término autorregresivo y uno de promedios móviles. θ representa un término constante.

En general, en un proceso ARMA(p, q), habrá p términos autorregresivos y q términos de promedios móviles. (Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 776)

Por consiguiente, si debemos diferenciar una serie de tiempo d veces para hacerla estacionaria y luego aplicarle el modelo ARMA(p,q), decimos que la serie de tiempo original es ARIMA(p,d, q), es decir, es una serie de tiempo autorregresiva integrada de promedios móviles. (Gujarati y Dawn C. Porter, 2010, p. 777)

En general la metodología de Box-Jenkins (BJ) constara de cuatro pasos:

- 1- Identificar los valores p d q.
- 2- Estimación, determinar los parámetros autorregresivos, y de medias móviles.
- 3- Verificar si el modelo se ajusta al modelo de forma razonable, proceso iterativo.
- 4- Pronosticar.

Finalmente, para el cálculo de los modelos se utilizó el software Stata, los comandos principalmente utilizados son para el modelo MCO: “regress”, para el modelo MC2E de variables instrumentales: “ivregress 2sls” y para el modelo ARIMA: “arima”, en el cual se evaluaron las variables en Anexo A ver tabla 31 y ver capítulo Resultados, de las cuales varias fueron rechazadas por multicolinealidad, para quedar finalmente solo con las variables en Anexo A tabla 32.

Para la estimación de costos de una batería de litio, primero fue necesario conocer la formulación química de una batería tipo NCM622 la cual es: $LiNi_{0.6}Mn_{0.2}Co_{0.2}O_2$, luego con el peso atómico y la cantidad de moles de cada elemento se calculó la cantidad en masa de la formula y por tanto la distribución porcentual en masa de cada material ver tabla 24.

Posteriormente conociendo la distribución en masa, se calculó cuantos gramos de cada elemento son necesarios para formar un kilo de material activo del cátodo de una batería de este tipo NCM622, y por tanto conociendo los precios por gramo de dichos elementos con referencia a precios del año 2022, podemos calcular el costo de todos los materiales y la suma total de costos, con esta información ya es posible calcular la distribución de costo de cada elemento respecto al costo total del material de activo de catodo, que en el caso del litio corresponde a 13,54% (aproximadamente) ver tabla 24.

4.1.1(Introducción al modelo BaTPaC)

El simulador utilizado es la quinta versión del modelo BatPaC, diseñado en el Laboratorio Nacional de Argonne, que se utiliza para calcular el diseño y costo de baterías de iones de litio para vehículos. BatPaC es un modelo público que permite diseñar baterías y calcular el costo.

Puede ser personalizado para cumplir con los requisitos de potencia, energía y tipo de vehículo.

El modelo ha sido revisado públicamente por expertos en baterías y esta versión incluye mejoras basadas en comentarios de usuarios y cambios en la industria.

BatPaC calcula el tamaño, peso y costo de paquetes de baterías basados en celdas prismáticas, rígidas y paquetes, el usuario puede modificar los parámetros de diseño, y el modelo considera una variedad de factores que afectan el tamaño y costo de la batería.

El proceso de diseño es iterativo y tiene en cuenta los requisitos de potencia y carga. Además, se abordan aspectos como la gestión de baterías, la gestión térmica y los costos de fabricación. El modelo asume una planta altamente automatizada y costos basados en economías de escala.

El objetivo de utilizar el modelo BatPaC es para descomponer y analizar los costos asociados al litio en las baterías además obtendremos el costo de 1 kwh de batería, del cual con los datos por defecto que vienen precargados, considerados para una planta de 50Gwh anuales, el modelo arroja un valor de 97 usd/kwh ver tabla 25, otro dato importante que aportara el modelo es la distribución de costos asociado a la materia prima y otros materiales, ya que necesitamos conocer que porcentaje del costo total de la batería son las materias primas, y que porcentaje de estas materias primas son el costo del cátodo, lo que considerando el dato obtenido respecto al porcentaje de costos asociados al litio 13,54% como vimos anteriormente, nos dará finalmente el dato que buscamos, y esto es ¿cuánto es el porcentaje de costo del litio sobre el total de la batería?, para así obtener el costo por gramo de litio en dicha batería, la idea de esta pregunta es compararlo con el costo de producción de 1 gramo de carbonato de litio, bajo la premisa que, dicho porcentaje de costos es también aplicable al precio y por tanto finalmente podamos comparar el precio del gramo litio que paga el usuario final al comprar una batería versus el

precio del gramo de carbonato de litio antes de ser utilizado en la batería y así estimar la diferencia en precio entre ambos como un valor agregado.

5 Alcance

A continuación, se describen los alcances clave de este análisis, divididos principalmente en dos enfoques la estimación de las elasticidades de la demanda de carbonato de litio y la estimación de costos de baterías de ion de litio.

Enfoque en elasticidades de la demanda de carbonato de litio:

La investigación se centrará en la elaboración de modelos econométricos de la demanda de carbonato de litio utilizando técnicas como el Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), el Modelo de Componentes Estacionales y Estructurales (MC2E) y el Modelo Autorregresivo Integrado de Medias Móviles (ARIMA) ver capítulo anterior de metodologías.

El objetivo principal es determinar las elasticidades de la demanda de carbonato de litio en respuesta a diversas variables económicas, ambientales y tecnológicas.

No se realizarán pronósticos a largo ni corto plazo de la demanda de carbonato de litio; en su lugar, se analizarán las relaciones entre las variables.

Los datos utilizados provendrán principalmente de las exportaciones de commodities y productos relacionados con el litio, obtenidos de la plataforma de Naciones Unidas COMTRADE,

La calidad y disponibilidad de los datos dependerán de la información recopilada en COMTRADE y de su adecuación para el análisis econométrico utilizando software Stata.

La investigación entonces se enfocará en entender cómo cambia la demanda en función de las variables analizadas.

Además de la demanda, se abordará el estudio de costos de baterías de ion de litio utilizando el modelo BatPaC.

El enfoque estará en estimar el costo por gramo de litio en una batería y el precio por gramo de litio que paga el usuario final de manera estimada.

No se evaluará como proyecto la industria de producción de baterías:

La investigación no evaluará la viabilidad de proyectos de producción de baterías de ion de litio ni se centrará en aspectos relacionados con la implementación de tales proyectos, ni análisis financiero o flujos entre otros.

El análisis se limitará a proporcionar una aproximación al costo y al valor agregado del litio en las baterías, sin considerar la factibilidad de la fabricación de baterías de ion de litio.

En resumen, este análisis se enfoca en comprender las elasticidades de la demanda de carbonato de litio y en estimar los costos asociados al litio en baterías de ion de litio. Los alcances definidos del estudio garantizan un enfoque específico y limitado, que permitirá alcanzar los objetivos de investigación de manera más acotada, sin abordar aspectos más amplios de la producción de baterías o pronósticos a largo plazo de la demanda.

6 Resultados

6.1 Modelos de estimación de demanda de litio para Chile y el Mundo.

Para la estimación de demanda de litio se contrastaron tres tipos de modelos, un tipo por regresión lineal (MCO), un modelo con variables instrumentales en dos etapas MC2E y un modelo autorregresivo integrado de medias móviles ARIMA. Cada uno de estos modelos se utilizó para estimar la demanda mundial y la demanda de exportaciones de Chile, dando como resultado 6 modelos en total.

Los datos utilizados para el estudio corresponden a series de exportaciones de litio, manufacturas, como baterías de litio, vehículos eléctricos y otros productos relacionados, como paneles solares.

También se usaron indicadores económicos como tipos de cambio, indicadores de productividad, tasas de interés de bonos del gobierno, y una muestra menor de variables no relacionadas directamente a este mineral como, emisiones de toneladas de Co2 y exportaciones de soya entre otros.

Cabe mencionar que varias series fueron descartadas por presentar altos niveles de multicolinealidad o bien no ser estadísticamente significativas. La lista completa de variables utilizadas y los códigos de exportación de los productos se encuentran adjuntos en el Anexo así también, los resultados de las pruebas realizados tanto para multicolinealidad, estacionariedad y heteroscedasticidad junto con las imágenes de los resultados de Stata.

La base de datos contempla series de exportaciones desde enero de 2009 hasta diciembre 2022 no obstante algunas series comienzan en años posteriores, revisar el capítulo de metodologías.

6.1.1 Modelo de Regresión Log-Lineal MCO:

6.1.1.1 Regresión muestral de k-variables (FRM):

6.1.1.1.1 Forma matricial compacta:

$$Y = X\beta + u$$

Donde Y es logaritmo natural de las exportaciones de litio en kilogramos demandada en el tiempo t, β es un vector columna de k elementos compuesto por los estimadores de MCO de los coeficientes de regresión, donde u es error que se asume, se distribuye en forma normal, con media 0 y varianza constante.

6.1.1.2 Modelo Log de Variables Instrumentales, o mínimos cuadrados en dos etapas Log-Lineal MC2E:

En este modelo bajo la sospecha de endogeneidad de una de las variables explicativas, si

$$Q_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \dots + \beta_k X_{kt} + \theta Y_t + u_t$$

Se tiene que $cov(Y, u) \neq 0$

Si una variable observable Z cumple con:

$$cov(Z, u) = 0$$

$$cov(Z, Y) \neq 0$$

Si es así Z será un instrumento para Y.

Para Z de 1 a p elementos en una serie de tiempo se tiene que para el modelo MC2E:

Etapas 1:

$$Y_t = \Pi_0 + \Pi_1 Z_{1t} + \dots + \Pi_p Z_{pt} + v_t$$

Etapla 2:

$$Q_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \cdots + \beta_k X_{kt} + \theta Y_t + u_t$$

Donde Q_t presenta el logaritmo natural de la cantidad demandada de litio en kilogramos en el tiempo t .

Además, hay que señalar que Stata realiza ambos pasos de una vez por tanto no hay que realizar dos regresiones.

6.1.1.3 Modelo ARIMA: El modelo Autorregresivo integrado de medias móviles, será diferenciado d veces $I(d)$ y luego aplicado un modelo ARMA(p,q) quedaría definido como:

ARIMA(p,d,q):

$$\Delta_d Y_t = \theta + \alpha_1 Y_{t-1} + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1}$$

Donde Y_t será el logaritmo natural de la demanda de litio mundial en kilogramos en el tiempo t .

6.2 Modelos de demanda mundial de litio.

La estimación de los modelos se realizó utilizando el software Stata, a continuación, se presentan los resultados obtenidos los valores representan los estimadores y su significancia y los valores en paréntesis representan las varianzas ver tabla 16.

Tabla de resultados de Stata para la demanda de litio mundial:

Tabla 16

Resultado de modelos de estimación para la demanda de litio Mundial.

Variables	[1] <i>Log MCO</i>	[2.0] <i>Log MCO</i>	[2.1] <i>Log MC2E</i>	[3] <i>ARIMA(2,1,0)</i>
Exportaciones de Baterías de litio (Lc42)	0,2269969*** (0,00034917)			
Precio medio de las exportaciones de litio (D. Lc40)				-0,6536123*** (0,0058545)
Unidades de baterías de litio exportadas (Lc41)		0,0703254** (0,00066757)	0,0694388* (0,00081381)	
Exportaciones de laptops (D. Lc49)				-0,0830068 (0,00218309)
Índice de producción industrial de Chile (Lc58)		2,413298*** (0,38589258)	2,45764** (0,80516968)	
Precio de la electricidad en USA kwh/h (Lc62)		1,51135** (0,25879971)	1,502788** (0,95163433)	
Índice de producción industrial de Japón (Lc64)		-0,8530381* (0,16414911)	-0,8643744* (0,18576823)	
Precio del gas natural (Lc70)	0,2303196*** (0,00340571)	0,2375065** (0,00558231)	0,2388059** (0,00572373)	
Exportaciones de níquel (D. Lc72)				0,0989158** (0,00157971)
Exportaciones de grafito (Lc75)		0,3807336*** (0,0107624)	0,3807946*** (0,00103225)	
Exportaciones de Soya (Lc81)	0,1181776** (0,00218329)			
Exportaciones de Soya (D. L. Lc81)				0,1205252** (0,00185453)
Exportaciones de Paneles solares (Lc84)	0,2422394*** (0,00294992)			
Exportaciones de kilogramos de sodio (D. Lc92)				0,051975* (0,00067028)
Exportaciones sodio (Lc93):	0,090182** (0,00072279)			
Constante	2,132648 (0,95163433)		3,586123 (14,258752)	0,0159225 (0,00011095)
ARMA				
L1: primer rezago del logaritmo natural de exportaciones de Litio Mundial en kilogramos				-0,6063305*** (0,00708504)
L2: segundo rezago del logaritmo natural de exportaciones de Litio Mundial en kilogramos				-0,2450006**

				(0,00710191)
Observaciones	168	168	168	166
R ²	0,8082	0,8019	0,8019	

*Nota: Para la significancia estadística de los parámetros: * p< 0.05; ** p< 0.01; *** p< 0.001*

[2] Log MCO corresponde al modelo MCO previo a variables instrumentales MC2E.

Para [2.1] Log MC2E: Instrumented: Lc58, Instruments: Lc60: Logaritmo natural del tipo de cambio dólar yuan, Lc95: Tasa de interés de bonos del estado de Chile * 100, Lc96: logaritmo natural de Tasa de interés de los bonos de reserva de USA * 100.

6.2.1 [1] Log MCO:

El primer modelo corresponde al modelo de regresión lineal, obtenido por Mínimos cuadrados ordinarios, donde el modelo queda definido como:

$$Lc38_t = \beta_0 + \beta_1 Lc42_t + \beta_2 Lc70_t + \beta_3 Lc84_t + \beta_4 Lc93_t + \beta_5 Lc81_t + u$$

Las variables correspondientes se presentan a continuación en Tabla 2, además en anexo se puede revisar el listado de variables completo, respecto a los valores de los estimadores β_k ver Tabla 17 columna [1] Log MCO.

Tabla 17

Variables Modelo [1] Log MCO para demanda Mundial

Nombre	Variable logarítmica
Logaritmo natural de exportaciones de litio Mundial en kilogramos	Lc38
Logaritmo natural de exportaciones de baterías de litio mundial Volumen en dólares	Lc42
Logaritmo natural de precio en dólares del gas natura	Lc70
Logaritmo natural de exportaciones de paneles solares mundial volumen en dólares	Lc84
Logaritmo natural de exportaciones de sodio mundial volumen en dólares	Lc93
Logaritmo natural de exportaciones de soya mundial volumen en dólares	Lc81

Nota. Elaboración propia.

La variable explicada corresponde a (Lc38) ver Tabla 16, las variables explicativas corresponden a las restantes en Tabla 16. Respecto a los estimadores de los parámetros, β_0 representa la

constante, β_1 la elasticidad del valor de las exportaciones de baterías de litio en dólares (Lc42) respecto a la variable explicada, β_2 la elasticidad precio en dólares del gas natural (Lc70) respecto a la variable explicada, β_3 la elasticidad del valor de exportaciones de paneles solares en dólares (Lc84) respecto a la variable explicada, β_4 la elasticidad del valor de las exportaciones de sodio en dólares respecto a la variable explicada, β_5 la elasticidad del valor de las exportaciones de soya en dólares respecto a la variable explicada.

Por tanto, el modelo quedaría definido:

$$Lc38_t = 2,132648 + 0,2269969 * Lc42_t + 0,2303196 * Lc70_t + 0,1181776 * Lc81_t \\ + 0,2422394 * Lc84_t + 0,090182 * Lc93_t$$

6.2.1.1 Observaciones: Las variables del modelo son significativas al menos en su mayoría se cumple que $p < 0,05$, junto con esto, $R^2 = 0,8082$, en otras palabras, el 80% (aproximadamente) de la variabilidad de la variable dependiente es explicada por las variables independientes, es decir el ajuste del modelo es bastante alto.

La elasticidad de las exportaciones de litio (Lc38) respecto de las exportaciones de baterías de litio (Lc42) es de 0,2269969. Esto implica que, por cada 1 punto de aumento en el valor de valor de las exportaciones de baterías de litio, la demanda mundial de litio (en kilogramos) aumenta en 0,23 (aproximadamente). De la misma forma para las demás variables, si aumenta el precio del gas natural en 1 punto, la demanda mundial de litio aumenta 0,2303196, si aumentan las exportaciones de Soya en 1 punto, la demanda mundial de litio aumenta en 0,12 (aproximadamente) y si aumentan las exportaciones de paneles solares en 1 punto, la demanda mundial de litio aumenta en 0,24. La elasticidad con respecto a las exportaciones de sodio es igual a 0,090182.

En este contexto vemos como los parámetros más altos se encuentran relacionados a las variables de paneles solares, al precio del gas natural y las exportaciones de baterías de litio, es decir variables que tienen relación directa con energías o almacenamiento de energía. En otras palabras, mientras más baterías sean demandadas, más litio es requerido para su elaboración, por otra parte, mientras más aumente la demanda por paneles solares como fuente de energía alternativa, más litio será demandado ya que para almacenar la energía producida por los paneles es necesario contar con baterías. Por otro lado, en el caso del precio del gas natural como fuente de energía alternativa, mientras más aumenta el precio del gas natural, más aumentaría la demanda por litio, similar a lo que ocurre con los paneles solares. Es necesario destacar aquí que el sodio que es utilizado para la elaboración de baterías de sodio (que son sustitutos de las baterías de litio, pero menos eficientes), tiene elasticidad menor, En el caso de la soya, cuya elasticidad también es positiva, los resultados indicarían que posee un ciclo de demanda similar al del litio, Es decir, las personas optarían por energías limpias que necesiten almacenamiento de baterías de litio y a la vez estarían demandando productos derivados de la soya para dietas alternativas.

6.2.2 [2] Log MC2E:

El segundo modelo corresponde a variables instrumentales, quedando cada etapa como:

$$\text{Etapa 1: } Lc58_t^* = \Pi_0 + \Pi_1 Lc60_t + \Pi_2 Lc95_t + \Pi_3 Lc96_t + v_t$$

$$\text{Etapa 2: } Lc38_t = \beta_0 + \beta_1 Lc41_t + \beta_2 Lc62_t + \beta_3 Lc64_t + \beta_4 Lc70_t + \beta_5 Lc75_t + \theta Lc58_t^* + u_t$$

Notar que Stata realiza de una sola vez el proceso bajo el comando 2sls.

Tabla 18

Variables modelo Instrumental Mundial

Nombre	Variable logarítmica
--------	----------------------

Logaritmo natural de exportaciones de litio Mundial en kilogramos	Lc38
Logaritmo natural de exportaciones de baterías de litio mundial volumen en unidades	Lc41
Logaritmo natural de índice de producción industrial de Chile	Lc58
Logaritmo natural de precio de la electricidad kwh/h en dólares en USA	Lc62
Logaritmo natural de índice de producción industrial de Japón	Lc64
Logaritmo natural de precio en dólares del gas natural	Lc70
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de grafito mundial volumen en dólares	Lc75
Logaritmo natural de tipo de cambio dólar yuan	Lc60
Logaritmo natural de tasa de interés de bonos del estado de Chile	Lc95
Logaritmo natural de tasa de interés de los bonos de reserva de USA	Lc96

Nota. Elaboración propia.

La variable explicada corresponde a (Lc38) ver Tabla 18, las variables explicativas corresponden a las restantes en Tabla 18, por otra parte respecto a los estimadores de los parámetros, β_0 representa la constante, β_1 la elasticidad de las exportaciones de baterías de litio en unidades (Lc41) respecto a la variable explicada, β_2 la elasticidad precio de la electricidad kwh/h en dólares en USA (Lc62) respecto a la variable explicada, β_3 la elasticidad del índice de producción industrial de Japón (Lc64) respecto a la variable explicada, β_4 la elasticidad precio en dólares del gas natural (Lc70) respecto a la variable explicada, β_5 la elasticidad del valor de las exportaciones de grafito mundial volumen en dólares (Lc75) respecto a la variable explicada, por otro lado θ la elasticidad de índice de producción industrial de Chile (Lc58) instrumentalizado por las variables (Lc60), (Lc95) y (Lc96) ver Tabla 18.

Por tanto, el modelo quedaría definido:

$$Lc38 = 3,586123 + 0,0694388 * Lc41 + 2,45764 * Lc58 + 1,502788 * Lc62 + \\ -0,8643744 * Lc64 + 0,2388059 * Lc70 + 0,3807946 * Lc75$$

6.2.2.1 Observaciones. Todas las variables del modelo cumplen con $p < 0,05$, siendo estadísticamente significativas, además $R^2 = 0,8019$ tanto en el modelo instrumental ([2.1] *Log MC2E*) como en el modelo original sin instrumentalizar ([2.0] *Log MCO*).

Se presume endogeneidad de (Lc58), sabemos que el índice de producción de Chile contempla también la producción minera y en este caso en particular el litio que es la variable explicada se procede a instrumentalizar este índice. Las variables instrumentales utilizadas fueron, tipo de cambio dólar yuan (Lc60), tasa de interés de bonos del estado de Chile (Lc95) y tasa de interés de los bonos de reserva de USA (Lc96). Pese a esto, el parámetro estimado en el modelo MC2E ($\hat{\theta} = 2,45764$) es mayor al modelo MCO ($\theta = 2,413298$). Esto implica que, por cada punto de variación en el índice de producción industrial de Chile, la demanda mundial de litio variara 2,5 veces (aproximadamente) dado que el país es uno de los principales exportadores mundiales del mineral, variaciones en su productividad afectarían directamente las exportaciones. Por otra parte, la elasticidad de (Lc38) respecto al valor de las exportaciones de baterías de litio en unidades, variable (Lc41) es de 0,0694388. Esto implica que por cada 1 punto de aumento en el valor de (Lc41), la demanda mundial de litio aumentara 0,0694388. De la misma forma para las demás variables, donde se obtienen elasticidades de 1,502788 para el precio de la electricidad (kwh/h en dólares en USA), igual a -0,8643744 para el índice de producción industrial de Japón (Lc64), 0,2388059 para el precio del gas natural y 0,3807946 para las exportaciones de grafito (Lc75).

Como se mencionó, el índice más alto corresponde al índice de producción industrial, (Lc58). Dado que Chile es uno de los productores más grandes de carbonato de litio, cambios en su producción industrial tendrían un gran efecto en la producción y demanda global.

Por otra parte, la elasticidad de la demanda de litio respecto al precio de la electricidad en USA (Lc62), también presenta un parámetro alto. Esto quiere decir que aumentos en la demanda por

electricidad (en EEUU), causarían aumentos en la demanda de litio, lo que podría estar relacionado con el aumento de la demanda de otras fuentes de electricidad almacenables en baterías, como eólicas, solar etc.

Respecto al índice de productividad de Japón vemos una elasticidad negativa. Por una parte, esto se puede interpretar como un desfase en los ciclos productivos de Japón respecto al litio. Por otra parte, dado que el mayor consumidor de litio es China, su economía podría tener poder de mercado como compradora y generar impactos negativos en la demanda global por litio.

Respecto al gas natural, en el modelo de variables instrumentales se obtiene una elasticidad de 0,23, similar a la obtenida en el modelo MCO. En este sentido podríamos hablar de cierta consistencia en los modelos respecto a esta elasticidad.

Finalmente, y en línea con lo esperado, el grafito presenta una elasticidad positiva ya que uno de sus tantos usos está relacionado con la elaboración de baterías de litio. Según lo anterior, estos dos insumos podrían compartir ciclos de demanda.

6.2.3[3] ARIMA (2,1,0)

El tercer modelo corresponde al modelo Autorregresivo integrado de medias móviles Arima(2,1,0), queda definido como:

$$Lc38_t = \beta_0 - \beta_1 * D1.Lc40_t + \beta_2 * D1.Lc72_t + \beta_3 * Lc81_{t-1} + \beta_4 * Lc49_t + \beta_5 * Lc92_t + \beta_6 * Lc38_{t-1} + \beta_7 * Lc38_{t-2}$$

Tabla 19

Variables Modelo ARIMA Mundial

Nombre	Variable logarítmica
Logaritmo natural de exportaciones de litio Mundial en kilogramos	Lc38
Logaritmo natural de precio medio de las exportaciones litio a nivel mundial en dólares	Lc40
Logaritmo natural del valor de las exportaciones mundiales de laptops en dólares	Lc49
Logaritmo natural del valor de las exportaciones mundiales de níquel en dólares	Lc72
Logaritmo natural del primer rezago del valor de exportaciones de soya mundial en dólares	Lc81 _{t-1}
Logaritmo natural de exportaciones mundiales de sodio cantidad en kilogramos	Lc92
Logaritmo natural del primer rezago de las exportaciones de litio Mundial en kilogramos	Lc38 _{t-1}
Logaritmo natural del segundo rezago de las exportaciones de litio Mundial en kilogramos	Lc38 _{t-2}

Nota. Elaboración propia.

En ambos modelos anteriores (Lc38) es la variable explicada, ver Tabla 19, las variables explicativas corresponden a las restantes en Tabla 19, además se incluyen dos rezagos de la variable Lc38, ya que la parte autorregresiva del modelo Arima(2,1,0), contempla 2 rezagos parámetro $p = 2$. Los estimadores de los parámetros son: β_0 representa la constante, β_1 la elasticidad precio medio de las exportaciones litio (Lc40), β_2 la elasticidad del valor de las exportaciones de níquel (Lc72), β_3 la elasticidad del valor del primer rezago de las exportaciones de soya (Lc81_{t-1}), β_4 la elasticidad del valor de las exportaciones de laptops (Lc49), β_5 la elasticidad de las exportaciones de sodio (Lc92), además, β_6 y β_7 corresponden a la elasticidad

del primer rezago y segundo rezago $Lc38_{t-1}$ y $Lc38_{t-2}$ respectivamente en relación a la variable explicada ver Tabla 19.

Por tanto, el modelo quedaría definido:

$$\begin{aligned} Lc38_t = & 0,159225 - 0,6536123 * D1.Lc40_t + 0,0989158 * D1.Lc72_t + 0,1205252 * \\ & Lc81_{t-1} - 0,830068 * Lc49_t + 0,051975 * Lc92_t - 0,6063305 * Lc38_{t-1} + \\ & -0,2450006 * Lc38_{t-2} \end{aligned}$$

6.2.3.1 Observaciones. En este modelo todas las variables son significativas con excepción del valor de las exportaciones de laptops (**D. Lc49**) es decir $p > 0.05$, no obstante, el modelo en su conjunto es significativo, ver anexo 1 (Ilustración 16) y página 11 del mismo anexo (test Arima para la demanda mundial).

La elasticidad de (Lc38) es -0,6536123% respecto al precio medio de las exportaciones litio (Lc40), 0,0989158 % respecto a el valor de las exportaciones de níquel (Lc72), 0,1205252% respecto de ($Lc81_{t-1}$) primer rezago del valor de exportaciones de soya, -0,830068% respecto a (Lc49) valor de las exportaciones mundiales de laptops, 0,051975% respecto a (Lc92) exportaciones mundiales de sodio, -0,6063305% respecto al primer rezago de las exportaciones de litio ($Lc38_{t-1}$) y -0,2450006% respecto al segundo rezago de las exportaciones de litio ($Lc38_{t-2}$).

La elasticidad β_1 del precio del litio (Lc40) es negativa, en efecto, aumentos de precio del litio podrían impactar negativamente en la cantidad demandada, respecto al grafito la relación es positiva, podría explicarse dado que algunas baterías requieren grafito en su elaboración.

Se Introduce Lc81 soya como variable de control externa, no tiene relación directa entre el litio y los bienes finales en la cadena productiva, pero comparte un ciclo de demanda similar además de lo ya indicado para esta variable en el modelo log MCO.

Además observar que la elasticidad β_4 respecto a las exportaciones de laptops (Lc49), es negativa -0.830068, dado que es el volumen en dólares total de exportaciones es decir ($P \times Q$), una idea, es que aumentos en P = Precios de los laptops, cobra más peso que el volumen de unidades Q . Respecto a la variable Lc92 con un beta positivo de 0,051975 corresponde como se indica al sodio, este fue elegido como uno de los posibles bienes sustitutos, recientemente una de las alternativas económicas respecto a las fuertes alzas del valor del precio del litio.

6.3 Modelos para la demanda de Litio en Chile

A continuación, se presentan los resultados de las estimaciones para la demanda de las exportaciones de Litio de Chile ver tabla 20.

Tabla de resultados de modelo de demanda de litio para Chile:

Tabla 20

Resultado de modelos de estimación para la demanda de litio para Chile.

Variables	[1] <i>Log MCO</i>	[2.0] <i>Log MCO</i>	[2.1] <i>Log MC2E</i>	[3] <i>ARIMA(1,0,0)</i>
Precio medio de litio (Lc6)		0,113318** (0,00254656)	0,1958023** (0,00544893)	
Unidades de baterías de litio exportadas (Lc41)		0,1273446*** (0,00072453)	0,1034198** (0,00094772)	
Precio medio de baterías de litio exportadas (Lc43)	-0,2160102* (0,01127281)			-0,5783544*** (0,02307058)
Precio medio de las exportaciones mundiales de vehículos eléctricos (Lc56)				0,1675653 (0,00732802)
Precio del barril de petróleo crudo (Lc61)	0,1975091* (0,0071059)			
Exportaciones de kilogramos de níquel (Lc71)	0,1239979*** (0,00063123)			
Exportaciones de níquel (D. Lc72)		0,2679651*** (0,00078277)	0,2745703*** (0,00093682)	0,2993569*** (0,00289812)
Exportaciones de grafito (Lc75)	0,2714154*** (0,00192086)			
Exportaciones de silicio (Lc78)		-0,1685826 (0,0770624)	-0,2190012* (0,0097844)	
Exportaciones de kilogramos de cobre (Lc89)				-0,6183883** (0,0669672)
Exportaciones de kilogramos de sodio (D. Lc92)				
Precio del sodio (Lc94):	-0,0528844* (0,00057079)			
Constante	8,44513 (0,46054229)	11,836 (2,9133119)	12,9898 (3,5388155)	21,19161 (37,902644)
ARMA				
L1: primer rezago del logaritmo natural de exportaciones de Litio Mundial en kilogramos				-0,1596519 (0,01991614)
Observaciones	168	168	142	72
R ²	0,7145	0,7637	0,7851	

*Nota: Para la significancia estadística de los parámetros: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$*

[2] *Log MCO* corresponde al modelo MCO previo a variables instrumentales MC2E.

Para [2] *Log MC2E: Instrumented*: Lc6, Instruments: Lc70: Logaritmo natural del precio del gas natural en dólares, Lc60: logaritmo natural del tipo de cambio dólar/yuan, Lc97: logaritmo natural de Tasa de interés de los bonos de Japón 10 años * 100.

Elaboración propia.

6.3.1/[1] Log MCO

Así también el primer modelo corresponde al modelo de regresión lineal, obtenido por Mínimos cuadrados ordinarios, el modelo queda definido como:

$$Lc4 = \beta_0 + \beta_1 * Lc43 + \beta_2 * Lc61 + \beta_3 * Lc94 + \beta_4 * Lc75 + \beta_5 * Lc71$$

Las variables correspondientes se presentan a continuación en Tabla 21, además en anexo se puede revisar el listado de variables completo, respecto a los valores de los estimadores β_k ver Tabla 18 columna [1] Log MCO.

Tabla 21

Variables Modelo [1] Log MCO para demanda de Chile

Nombre	Variable	Variable logarítmica
Logaritmo natural de las exportaciones de litio de Chile volumen en kilogramos.	c4	Lc4
Logaritmo natural del precio promedio de las exportaciones Mundiales de baterías de litio en dólares.	c43	Lc43
Logaritmo natural del valor del barril de petróleo crudo en dólares.	c61	Lc61
Logaritmo natural de precio promedio de las exportaciones Mundiales de sodio en dólares.	c94	Lc94
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de grafito mundial en dólares.	c75	Lc75
Logaritmo natural de las exportaciones de níquel mundial volumen en kilogramos.	c71	Lc71

Nota. Elaboración propia.

La variable explicada corresponde a (Lc4) ver Tabla 21, las variables explicativas corresponden a las restantes en Tabla 21, respecto a los estimadores de los parámetros, β_0 representa la constante, β_1 la elasticidad del del precio promedio de las exportaciones Mundiales de baterías de litio en dólares (Lc43) respecto a la variable explicada, β_2 la elasticidad del valor del barril de petróleo crudo en dólares (Lc61) respecto a respecto a la variable explicada, β_3 la elasticidad del precio promedio de las exportaciones Mundiales de sodio en dólares (Lc94) respecto a la variable

explicada, β_4 la elasticidad del valor de las exportaciones de grafito mundial en dólares (Lc75) respecto a la variable explicada, β_5 la elasticidad de las exportaciones de níquel mundial volumen en kilogramos (Lc71) respecto a la variable explicada.

Por tanto, el modelo quedaría definido:

$$Lc4 = 8,44513 - 0,2160102 * Lc43 + 0,1975091 * Lc61 - 0,0528844 * Lc94 \\ + 0,2714154 * Lc75 + 0,1239979 * Lc71$$

6.3.1.1 Observaciones. Todas las variables del modelo son estadísticamente significativas en general $p < 0.05$ y con un $R^2 = 0,7145$. La elasticidad de (Lc4) respecto al precio promedio de las exportaciones de baterías de litio (Lc43) es de -0,2160102, 0,1975091 respecto a (Lc61) valor del barril de petróleo crudo, -0,0528844 respecto de (Lc94) precio promedio de las exportaciones de sodio, 0,2714154 respecto a (Lc75) valor de las exportaciones de grafito y finalmente 0,1239979 respecto a (Lc71) exportaciones de níquel en kilogramos.

Podemos ver que la elasticidad del precio promedio de las baterías de litio es negativo, vale decir por cada aumento en el precio de las baterías la demanda por litio de Chile bajara estos es algo esperado ya que la elaboración de las baterías es principalmente con litio, y sabemos que aproximadamente el 70% del litio es demandado para baterías, por tanto aumentos en el precio de las baterías afectaran la demanda por litio, por otra parte respecto a variaciones del precio del barril de petróleo tiene una elasticidad positiva, implica que aumentos en el precio del petróleo, podrían generar un aumento por la demanda de energías limpias por ejemplo la energía eléctrica y que debe ser almacenada en baterías de litio, respecto al precio del sodio la elasticidad es negativa, esto puede ser contra intuitivo en sentido de que el sodio al ser materia prima para baterías sustitutas de las baterías de litio, se esperaría una relación positiva es decir si aumenta el precio

del sodio esperaríamos aumentos en la demanda de litio, no obstante en el modelo ocurre lo contrario, finalmente las elasticidades tanto del grafito como del níquel presentan elasticidades positivas esto tiene sentido ya que se emplean también junto con el litio en la elaboración de baterías.

6.3.2 [2] Log MC2E

El segundo modelo corresponde a variables instrumentales respecto a la demanda por litio de Chile, queda expresado como:

$$\text{Etapa 1: } Lc6_t^* = \Pi_0 + \Pi_1 Lc70_t + \Pi_2 Lc60_t + \Pi_3 Lc97_t + v_t$$

$$\text{Etapa 2: } Lc4_t = \beta_0 + \beta_1 Lc41_t + \beta_2 Lc72_t + \beta_3 Lc78_t + \beta_4 Lc70_t + \theta Lc6_t^* + u_t$$

Notar que al igual que el modelo instrumental para la demanda de litio mundial, Stata realiza de una sola vez el proceso bajo el comando 2sls.

Tabla 22

Variables modelo instrumental Chile

Nombre	Variable logarítmica
Logaritmo natural de exportaciones de litio de Chile volumen en kilogramos	Lc4
Logaritmo natural de precio medio de las exportaciones de litio de Chile	Lc6
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de baterías de litio mundial en unidades	Lc41
Logaritmo natural del valor de las exportaciones mundiales de níquel en dólares	Lc72
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de silicio mundial en dólares	Lc78
Logaritmo natural de precio en dólares del gas natural	Lc70
Logaritmo natural de tipo de cambio dólar yuan	Lc60
Logaritmo natural de tasa de interés de bonos de Japón	Lc97

Nota. Elaboración propia.

La variable explicada corresponde a (Lc4) ver Tabla 22, las variables explicativas corresponden a las restantes en Tabla 22, por otra parte respecto a los estimadores de los parámetros, β_0 representa la constante, β_1 la elasticidad del valor de las exportaciones de baterías de litio mundial en

unidades (Lc41) respecto a la variable explicada, β_2 la elasticidad del valor de las exportaciones mundiales de níquel en dólares (Lc72) respecto a la variable explicada, β_3 la elasticidad del valor de las exportaciones de silicio mundial en dólares (Lc78) respecto a la variable explicada, β_4 la elasticidad del precio en dólares del gas natural (Lc70) respecto a la variable explicada, por otro lado θ la elasticidad de precio medio de las exportaciones de litio de Chile (Lc6) instrumentalizado por las variables (Lc70), (Lc60) y (Lc97) ver Tabla 7.

Por tanto, el modelo quedaría definido:

$$Lc4 = 12.9898 + 0.1034198 * Lc41 + 0.2745703 * Lc72 - 0.2190012 * Lc78 + 0,1958023 * Lc6^*$$

6.3.2.1 Observaciones. En este modelo todas las variables son significativas y presenta un buen ajuste, es decir un $R^2 = 0,7851$. Es importante notar que en el modelo original [2.0] Log MCO, previo a la instrumentalización, el valor de las exportaciones de silicio (Lc78) no es significativo $p > 0,05$, y el ajuste del modelo es levemente menor $R^2 = 0,7637$.

Bajo presunta endogeneidad de (Lc6) precio medio de las exportaciones de litio de Chile, se procede a instrumentalizar esta variable en función de otras tres: (Lc70), (Lc60) y (Lc97), el parámetro resultante es $\hat{\theta} = 0,1958023$ mayor al del modelo original log MCO $\theta = 0,113318$, no obstante, en el modelo instrumental logra que las exportaciones de silicio (Lc78) sean significativas y además logra un mayor R^2 .

La elasticidad de (Lc4) respecto al valor de las exportaciones de baterías de litio, variable (Lc41) es de 0,1034198 y en relación con las demás variables los valores son, 0,2745703 respecto a (Lc72) valor de las exportaciones mundiales de níquel, -0,2190012 respecto de (Lc78) valor de las exportaciones de silicio.

Respecto a la elasticidad del precio del litio, la relación es positiva, esto es un contra intuitivo, nos está indicando que mientras más suba el precio aumentara la demanda de litio de Chile, esto en parte ya que en los últimos años, pese a que a aumentando el valor del kilogramo de litio, el volumen de exportaciones no ha bajado por tanto podríamos hablar de una demanda parcialmente inelástica, y que el ingreso de los productos como las baterías sea muy superior al precio del litio utilizado, ahora bien, la elasticidad de las exportaciones de unidades de baterías de litio es positiva indicando que se moverán en sentidos similares es decir aumentos en la cantidad de unidades de baterías de litio, generaran un aumento en demanda de la cantidad de kilogramos de litio de Chile, esto ocurre al igual que en modelos anteriores como por ejemplo modelos MCO y MC2E mundiales, así también con la elasticidad de la demanda por las exportaciones de grafito, que como se ha mencionado en modelos anteriores, al igual que el litio es materia prima para la elaboración de baterías, finalmente para la elasticidad del silicio esta es negativa, en otras palabras aumentos en el valor de las exportaciones de silicio generaran una disminución en la demanda de litio de Chile, esto se podría explicar dado que el valor de exportaciones esta dado por $p * q$, si el precio p del silicio aumenta y q se mantiene en cantidades similares o constantes, aumentara el valor total de exportaciones de silicio, pero dado que su aumentos es por efecto precio, menor cantidad de productos dependientes del silicio serán demandados como por ejemplo semiconductores y por tanto menor cantidad de baterías y por consecuencia menor cantidad de litio para elaborarlas serán requeridos.

6.3.3 [3]ARIMA (1,0,0)

El tercer modelo corresponde al modelo Autorregresivo integrado de medias móviles Arima(1,0,0), queda definido como:

$$Lc4_t = \beta_0 - \beta_1 * Lc43_t + \beta_2 * Lc72_t + \beta_3 * Lc56_t - \beta_4 * Lc89_t - \beta_5 * Lc4_{t-1}$$

Tabla 23

Variables modelo ARIMA Chile

Nombre	Variable	Logarítmica
Logaritmo natural de exportaciones de litio de Chile volumen en kilogramos	c4	Lc4
Logaritmo natural de precio promedio de las exportaciones Mundiales de baterías de litio en dólares.	c43	Lc43
Logaritmo natural del valor de las exportaciones mundiales de níquel en dólares	c72	Lc72
Logaritmo natural del precio en dólares de las exportaciones mundiales de vehículos eléctricos	c56	Lc56
Logaritmo natural de las exportaciones mundiales de cobre cantidad en kilogramos	c89	Lc89

Nota. Elaboración propia

Como hemos visto la variable explicada corresponde a (Lc4) ver Tabla 23. En el caso de las variables explicativas, estas corresponden a las restantes en Tabla 23 más un rezago de la variable Lc4, correspondiente al modelo Arima(1,0,0). Respecto a los estimadores de los parámetros, β_0 representa la constante, β_1 la elasticidad del precio de las exportaciones Mundiales de baterías de litio en dólares (Lc43), β_2 la elasticidad del valor de las exportaciones mundiales de níquel en dólares (Lc72), β_3 la elasticidad del precio en dólares de las exportaciones mundiales de vehículos eléctricos (Lc56), β_4 es la elasticidad de la demanda de litio en relación a las exportaciones de cobre (Lc89) y β_5 es el coeficiente del primer rezago de la variable ($Lc4_{t-1}$).

Por tanto, el modelo quedaría definido como:

$$Lc4_t = 21,19161 - 0,5783544 * Lc43_t + 0,2993569 * Lc72_t + 0,1675653 * Lc56_t - 0,6183883 * Lc89_t - 0,1596519 * Lc4_{t-1}$$

6.3.3.1 Observaciones. En el modelo no todas las variables son estrictamente significativas ya que para el precio medio de las exportaciones de vehículos eléctricos es $p > 0,05$, no obstante, el modelo en conjunto si es significativo ver ilustración 34 en anexo y Test ARIMA, donde se cumple la prueba de Wald.

La elasticidad de (Lc4) respecto al precio promedio de las exportaciones de baterías de litio, variable (Lc43) es de -0,5783544, de la misma forma para las demás variables, 0,2993569 respecto a (Lc72) valor de las exportaciones mundiales de níquel, 0,1675653 respecto de (Lc56) precio de las exportaciones mundiales de vehículos eléctricos, -0,6183883 respecto a (Lc89) exportaciones mundiales de cobre, -0,1596519 respecto al primer rezago de las exportaciones de litio de Chile ($Lc4_{t-1}$).

Vemos como beta del valor de las exportaciones de baterías es negativo, esto ya fue observado en modelos anteriores, en efecto, aumentos en el precio de las baterías implicara una disminución en la demanda de litio y dado que Chile es uno de los mayores exportadores de litio, la demanda se verá afectada. Por otro lado tanto para variaciones en las exportaciones de grafito y de vehículos eléctricos la elasticidad es positiva, como vimos en modelos previos, puede entenderse dado que el grafito es también materia prima para la elaboración de baterías de litio, así mismo los vehículos eléctricos su fuente de alimentación en general es con baterías de este tipo no obstante, aquí esperaríamos una elasticidad negativa ya que aumentos en el precio de los vehículos eléctricos debiesen disminuir la demanda y siendo estos los que más baterías de litio requieren, una baja en la demanda por vehículos eléctricos implicaría una baja en la demanda por litio. Por otro lado, la elasticidad negativa respecto a las exportaciones de cobre, aunque sea contra intuitivo dado que el cobre también es un material usado en fabricación de baterías y objetos eléctricos por sus propiedades conductivas, podría explicarse como ciclos de demanda distintos.

6.3.4 Conclusiones

El mejor modelo para la demanda Mundial de litio es modelo [1] *Log MCO*. En la primera parte, se observa que todas las variables son significativas al 5% ($p < 0,01$), con un ajuste global del 80,8% (aproximadamente). Además, a diferencia del modelo de variables instrumentales, los estimadores MCO son MELI, es decir son los mejores estimadores insesgados y finalmente todas las variables presentan elasticidades en su signo, tal que explican intuitivamente de forma correcta a la variable dependiente. En el caso del modelo ARIMA, no todas las variables fueron significativas y en otros casos, los signos tienen valores negativos, en contra de lo esperado, como es el caso de las exportaciones de laptops.

De la misma forma para los modelos de demanda de litio de Chile, el mejor modelo es [1] *Log MCO* ya que, todas las variables son significativas al 5%, con $p < 0,05$. No obstante, en este caso, el ajuste del modelo estimado por MCO es menor al modelo estimado por MC2E, con valores de R^2 iguales a 71,5% y 78,51%, respectivamente. Cabe destacar que en este último modelo se obtiene una elasticidad positiva para el precio del litio, lo que es contrario a lo esperado. El coeficiente de exportaciones de silicio fue negativo y significativo al 5%.

6.4 Evaluación de costos

En este capítulo se revisarán la distribución de costos para una batería de litio, el objetivo es comparar el costo de una batería utilizando el Modelo BaTPaC 5,1 con sus valores estándar, es decir el costo en Estados Unidos, versus los costos de producción en Chile, a su vez determinar si Chile al ser productor de litio tiene o no una ventaja real a la hora de elaborar baterías con este mineral.

6.4.1 Descripción de la Estimación de Costos

Como se mencionó para el cálculo de la estimación de costos de un pack de baterías ion de litio se utilizó el modelo BatPaC versión 5.1, para este ejercicio en particular se evalúa, un cátodo del tipo NMC 622 es decir 6 partes de níquel, 2 de manganeso y 2 de cobalto, cuya formulación química es $LiNi_{0.6}Mn_{0.2}Co_{0.2}O_2$, la tabla con los resultados del modelo estándar es decir, los resultados con los valores que por defecto utiliza el modelo en función de precios de Estados Unidos a Agosto de 2023 se encuentran en Anexo B.

Como línea base para el cálculo se estima un Pack de baterías de 100 wkh, con 20 celdas por modulo, la escala de la planta por defecto considera la producción de 500.000 packs por año, es decir una capacidad de 50 Gwh al año.

Por otra parte, solo como ejercicio se evaluará la elaboración de un pack de batería en Chile utilizando el mismo modelo mencionado anteriormente, solo modificando algunas variables como el costo de la energía y mano de obra, además respecto al insumo del material de carbonato de litio, al ser producción local se asumirá que el valor del kilogramo de material de carbonato de litio es igual al costo de producción, esto con el objeto de ver el impacto en el costo de producir 1 kwh de cátodo en Chile.

En relación con esto último se utilizó lo mencionado en capítulo 3.8.3.6 respecto a los costos de la mano de obra, se indica que a 2019 el costo es de 7,99 USD actualizado por IPC a 2022 se estima en 9,95 USD, ver Tabla 49.

Figura 48

Estimación del costo de mano de obra actualizado por IPC en USD/h

Año	2019	2020	2021	2022
Mano obra USD	7,99	8,23	8,82	9,95

Nota. Elaboración propia con datos tomados de (ILOSTAT, 2022) y (Banco Central de Chile, 2023 d)

Por otra parte, para la locación se consideró la comuna de Mejillones en la región de Antofagasta, dado que estratégicamente los salares de litio se encuentran también en dicha región y por otro lado existen licitaciones de terrenos por parte del gobierno a precios convenientes 0,1 USD/m² aproximadamente ver Tabla 24.

Tabla 24

Licitaciones para el sector de Mejillones durante 2021

Terreno	Año	Comuna	Superficie ha	Superficie en Km	superficie en metros	Renta concesional anual mínima UF	valor UF/m ²	Peso/m ²	us d/m ²
Quebrada Ordóñez	2021	Mejillones	125	1,247	1.247.000	2180	0,0017	61,38	0,07
acceso sur 3	2021	"Lotes A y B"; a	796,92	7,969	7.969.200	18887	0,0024	83,21	0,10
acceso sur 1	2021	Aprox. a 5 km a	35,04	0,350	350.400	989,07	0,0028	99,11	0,12
acceso sur 4	2021	Aprox. a 9,3 km	40,29	0,403	402.900	1099,82	0,0027	95,84	0,11
acceso sur 2	2021	Aprox. a 9 km a	1496,17	14,962	14.961.700	33068,64	0,0022	77,60	0,09

Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Ministerio de Bienes Nacionales, <https://licitaciones.bienes.cl/>, 2021 a) y (Ministerio de Bienes Nacionales, 2021 b)

Para la conversión se utilizó el valor UF y el tipo de cambio al cierre de 2022 ver tabla 25.

Tabla 25

Tipo de cambio y UF al cierre de diciembre 2022

Indicador	202212
CLP/USD	859,51
UF	35.110,98

Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Servicio de Impuestos Internos, 2023 c) y (Banco Central de Chile, 2023 b)

A continuación, en figura 51 y 52 respectivamente podemos ver una referencia de licitaciones en el sector.

Figura 49



Para los costos de energía, se actualizo respecto al tarifado de suministros a diciembre 2022 con ELECDA donde se indica que el valor del kilowatt hora en el tramo AT4 es de 32,45 CLP aproximadamente equivalentes a 0,035 USD que es aproximadamente igual a los 0,04 USD que utiliza el modelo BaTPaC 5.1 por defecto considerando el valor de la energía en Estados Unidos. Un paso antes de la estimación de costo es también conocer la distribución en masa del lito respecto a la elaboración de 1 kilogramo de cátodo ya que finalmente el material se vende por masa, por tanto, se formuló una tabla considerando cada elemento de la formula del cato presentada anteriormente, con sus porcentajes correspondientes, su peso atómico y los resultados en masa en kilogramos, ver Tabla 26.

Tabla 26

Balance de masa y costos para 1 kg de Material Activo de cátodo

NMC622 Positive Electrode: $\text{Li}(\text{Ni}_{0.6}\text{Mn}_{0.2}\text{Co}_{0.2})\text{O}_2$									
Elemento	Moles	Peso Atómico (g/mol)	Masa (g)	Distribución Masa	Gramos para 1 Kilo de Catodo	Precio \$/kg	Costo \$/kg	Distribución del Costo	
Litio (Li)	1	6,941	6,941	7,16%	71,609	38,204	2,736	13,54%	
Níquel (Ni)	0,6	58,693	35,2158	36,33%	363,315	30,048	10,917	54,0%	
Manganeso (Mn)	0,2	54,938	10,9876	11,34%	113,357	2,402	0,272	1,3%	
Cobalto (Co)	0,2	58,933	11,7866	12,16%	121,600	51,591	6,273	31,1%	
Oxígeno (O)	2	15,999	31,998	33,01%	330,118	0	-	0,0%	
total	4	195,504	96,929	100,00%	1.000,000		20,198	100%	

Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Kevin W. Knehr, 2022), (González et al, 2023), (investing.com, 2023 a), (investing.com, 2023 b), (UN Comtrade Database, 2023 a) y (IUPAC, 2022).

Para los precios por kilogramo de cada material se consideraron al periodo de 2022 como referencia desde diferentes fuentes, logrando una distribución aproximada de costos, notar que sobre el total de la formula en masa el litio equivale al 7% de la masa total y en costos como se a mencionada a precios promedio de 2022 equivale al 13,54% de los costos del material activo del cátodo, siendo el níquel el elemento con mayor peso relativo sobre los costos totales con un 54% respectivamente.

6.4.2Resultados de versión por defecto

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del modelo, el costo de una celda es de 97 USD/kwh y por tanto como se requieren 100 kwh su valor es de 9.709 USD/pack, ahora bien considerando material adicional para formar, el módulo, el pack y finalmente el sistema completo de batería el costo con un 15% de error aproximadamente es de 117 USD/kwh y nuevamente como evaluamos 100 kwh, el pack para esta capacidad da un total de 11.698 USD/pack, ver en tabla 27.

Tabla 27

Costos del Pack de baterías y Celdas		Battery 1
Numbers in Col A are used for graphing (add additional values to add to summary table)		
Costs		
<u>Battery System</u>		
Battery system cost, \$	±15% error	\$ 11.698
Battery system cost, \$/kWh		\$ 117
Battery system cost, \$/kWh _(Useable)		\$ 138
<u>Pack</u>		
20 Pack cost, \$/pack		\$ 11.658
21 Pack cost, \$/kWh		\$ 117
22 Pack cost, \$/kWh _(Useable)		\$ 137
<u>Module</u>		
Module cost, \$/module		\$ 533
Module cost per pack, \$/pack		\$ 10.667
Module cost, \$/kWh		\$ 107
Module cost, \$/kWh _(Useable)		\$ 125
<u>Cell</u>		
Cell cost, \$/cell		\$ 24
Cell cost, \$/module		\$ 485
Cell cost, \$/pack		\$ 9.709
23 Cell cost, \$/kWh		\$ 97
Cell cost, \$/kWh _(Useable)		\$ 114

Nota. Tomado de (Kevin W. Knehr, 2022)

Respecto a la estructura de costos de elementos y materiales, podemos ver que los materiales activos del cátodo son los de mayor valor con 4.878 USD, luego el total de elementos y materiales da un total de 8.814 USD, ver tabla 28. Ahora bien, respecto al costo total del pack, es claro ver en tabla 28, que los costos se concentran principalmente en dos ítems, el mayor costo en el costo total de materiales minerales y otros para el cátodo, ánodo y otros elementos con un total de 7.027, así también como otros materiales y elementos comprados como electrolitos, conectores, solventes entre otros da un total de 1.432 USD y el sistema de manejo de la batería con un costo de 355 USD. Estos 3 ítems mencionados anteriormente dan como resultado los 8.814 USD descritos en

tabla 28, y como podemos ver en Tabla 29 el costo total del pack es de 11.658 USD, es evidente ver que el costo de materias primas y otros elementos concentran prácticamente el 75% de los costos totales, y en este sentido, el precio del litio podría jugar un rol importante sobre el costo total.

Tabla 28

Costos de los elementos y materiales por pack de baterías

ítem	Costos	
Positive active material	\$	4.878
Negative active material	\$	872
Carbon additive	\$	23
Binders	\$	70
Solvents	\$	144
Positive current collector	\$	50
Negative current collector	\$	322
Separators	\$	380
Electrolyte	\$	287
Additives	\$	-
Cell purchased items	\$	227
Module purchased items	\$	762
Pack purchased items	\$	444
Battery management system	\$	355
Total cost	\$	8.814

Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 29

Costos totales de un pack de baterías

ítem	Costos	
Total cost of materials	\$	7.027
Total cost of purchased items	\$	1.432
Total cost of battery management system	\$	355
Total cost of direct labor	\$	176
Total cost of energy	\$	150
Total cost of variable overhead	\$	246
Total cost of depreciation	\$	644
Total cost of general, sales, administration	\$	171
Total cost of research and development	\$	225
Total cost of financing	\$	80
Per unit profit	\$	534

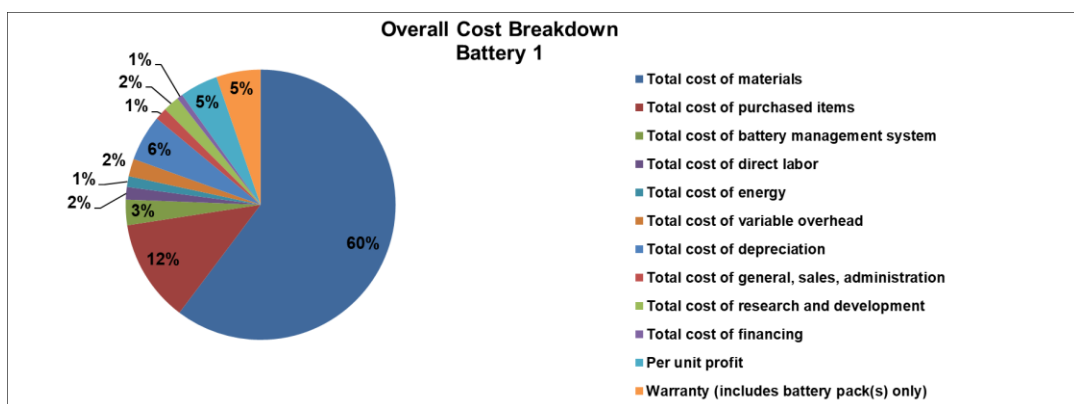
Warranty (includes battery pack(s) only)	\$	618
Total pack cost	\$	11.658

Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Kevin W. Knehr, 2022)

En figura 53, podemos corroborar que los costos de los materiales 60% más los ítems necesarios 12%, suman el 72% más un 3% del sistema de administración de la batería da como resultado lo calculado anteriormente 75% de los costos totales.

Figura 51

distribución de los costos de la batería

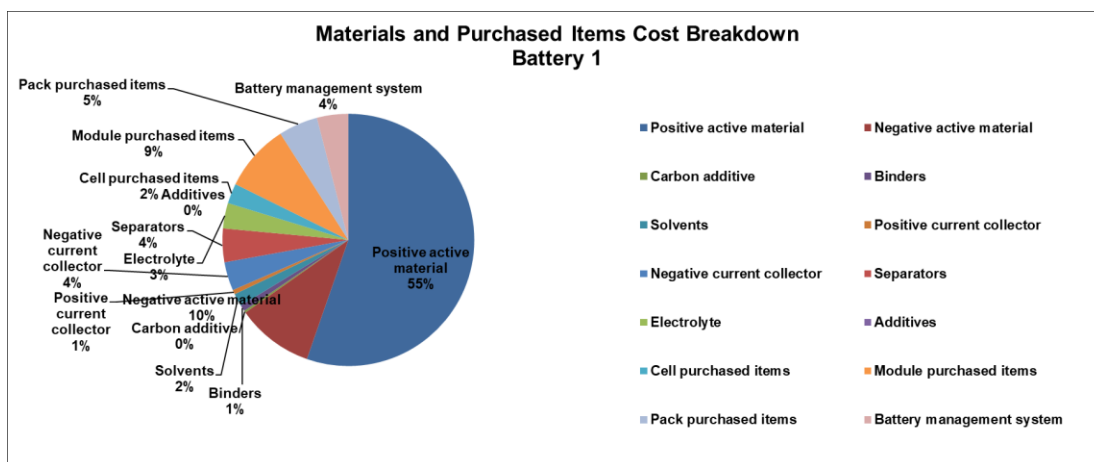


Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Otra vista interesante es la apertura de los costos de materiales, ítems comprados y sistema de administración de batería, este 75% que ya mencionamos se distribuye en 55% solo para los materiales activos del polo positivo o cátodo, el restante 45% corresponde a diversos materiales, solventes y elementos necesarios para el funcionamiento como se ha mencionado anteriormente. Este 55% es de nuestro interés por que es aquí donde entra en juego el litio ya que como vimos el 13% (aproximadamente) de los costos del material activo corresponde a este mineral en otras palabras el 13% del 55% como hemos visto, ver Figura 54.

Figura 52

distribución de los costos de los elementos y materiales de la batería



Nota, (Kevin W. Knehr, 2022)

6.4.3 Resultados para Chile con litio a costo de producción

Dado que el costo del material activo en el modelo por defecto es 30,5 USD/kg y como sabemos que por distribución el litio es el 13% (aproximadamente) del costo, tenemos que 3,965 USD corresponden al mineral, reemplazaremos este valor por el valor que corresponda a la cantidad de 71,609 gramos de litio al costo, dado que esta es lo que se necesita para formar 1 kg de material activo de cátodo. De esta forma, el costo de producir un gramo de litio es (aproximadamente) 0,0051996 USD en 2022, por tanto 71,609 gramos costarán 0,37234 USD (aproximadamente) los resultados se pueden ver en tabla dando un material de activo con litio al costo de 26,907 USD/kg es decir 3,59 USD menos por kilo de material total del cátodo ver Tabla 30.

Tabla 30

costos del material activo del cátodo utilizando litio al costo de producción.

Ítem	Valor	Unidad
Material activo	30,5	USD/kg
costo litio en cátodo	3,965	USD/kg
Material activo sin litio	26,535	USD/kg
litio al costo	0,372	USD/kg
Material Activo con litio al Costo	26,907	USD/kg

Nota. Elaboración propia con datos de (Kevin W. Knehr, 2022) y (González et al, 2023)

De tabla 30 si $0,372/26,907 = 1,38\%$ es el nuevo peso en costo del litio para 1 kilogramo de cátodo.

Además, como se indicó en el apartado de descripción de la estimación de costos, para energía se utilizó el tramo AT4 es de 32,45 CLP por kwh, (aproximadamente) equivalentes a 0,035 USD y un valor de mano de obra de 9,95 USD actualizado por IPC a 2022 (aproximadamente).

Con todo esto, los resultados obtenidos indican que una celda de batería de 1 kwh, costaría 89 USD/kwh es decir es 8 USD menos que el costo del modelo por defecto 97 USD, en este sentido entonces, considerando el costo del módulo, el pack y por tanto un sistema completo de baterías resultaría en 10.867 USD par un sistema de 100 kwh/pack de capacidad ver tabla 31.

Tabla 31

Costos del Pack de baterías y Celdas

Numbers in Col A are used for graphing (add additional values to add to summary table)		Battery 1
Costs		
<u>Battery System</u>		
Battery system cost, \$	±15% error	\$ 10.867
Battery system cost, \$/kWh		\$ 109
Battery system cost, \$/kWh _(Useable)		\$ 128
<u>Pack</u>		
20 Pack cost, \$/pack		\$ 10.827
21 Pack cost, \$/kWh		\$ 108
22 Pack cost, \$/kWh _(Useable)		\$ 127
<u>Module</u>		
Module cost, \$/module		\$ 492
Module cost per pack, \$/pack		\$ 9.847
Module cost, \$/kWh		\$ 98
Module cost, \$/kWh _(Useable)		\$ 116
<u>Cell</u>		
Cell cost, \$/cell		\$ 22
Cell cost, \$/module		\$ 445
Cell cost, \$/pack		\$ 8.900
23 Cell cost, \$/kWh		\$ 89
Cell cost, \$/kWh _(Useable)		\$ 105

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Ahora bien, en el modelo por defecto obtuvimos un valor de 11.698 USD por 100kwh/pack, quiere decir un ahorro en costo de 831 USD por pack, aproximadamente un 7%, siempre que el litio sea al costo de producción, en otras palabras, integrar toda la cadena desde la extracción hasta la fabricación de la batería.

Tabla 32

Costos de los elementos y materiales por pack de baterías

Ítem	Costos
Positive active material	\$ 4.303
Negative active material	\$ 872
Carbon additive	\$ 23
Binders	\$ 70
Solvents	\$ 144
Positive current collector	\$ 50
Negative current collector	\$ 322
Separators	\$ 380
Electrolyte	\$ 287
Additives	\$ -
Cell purchased items	\$ 227
Module purchased items	\$ 762
Pack purchased items	\$ 444

Battery management system	\$	355
Total cost	\$	8.239

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 33

Costos totales de un pack de baterías

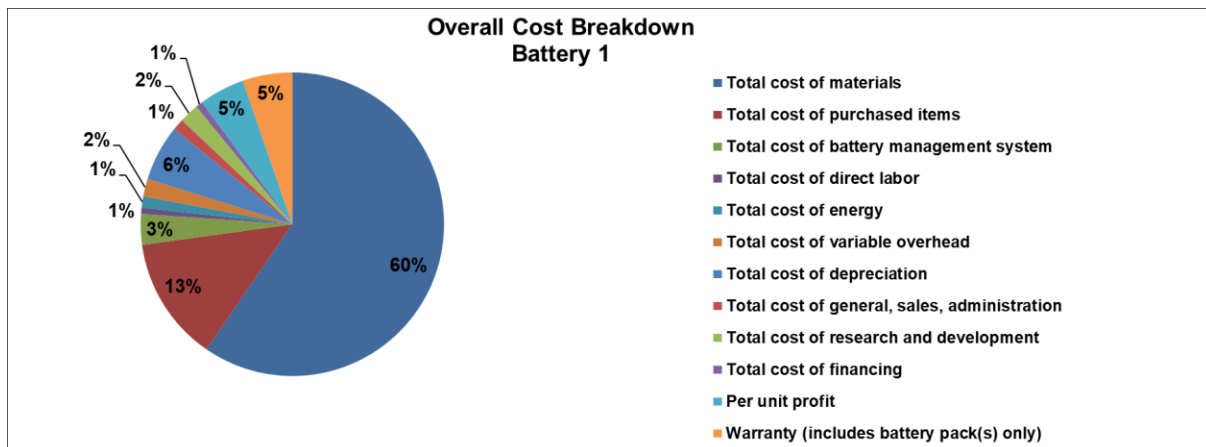
Ítem	Costos	
Total cost of materials	\$	6.452
Total cost of purchased items	\$	1.432
Total cost of battery management system	\$	355
Total cost of direct labor	\$	70
Total cost of energy	\$	131
Total cost of variable overhead	\$	204
Total cost of depreciation	\$	644
Total cost of general, sales, administration	\$	134
Total cost of research and development	\$	225
Total cost of financing	\$	79
Per unit profit	\$	527
Warranty (includes battery pack(s) only)	\$	574
Total pack cost	\$	10.827

Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Kevin W. Knehr, 2022)

Respecto a la distribución de costos, como vemos en Figura 55, es bastante similar a la distribución de costos del modelo con valores por defecto, ver Figura 53.

Figura 53

distribución de los costos de la batería

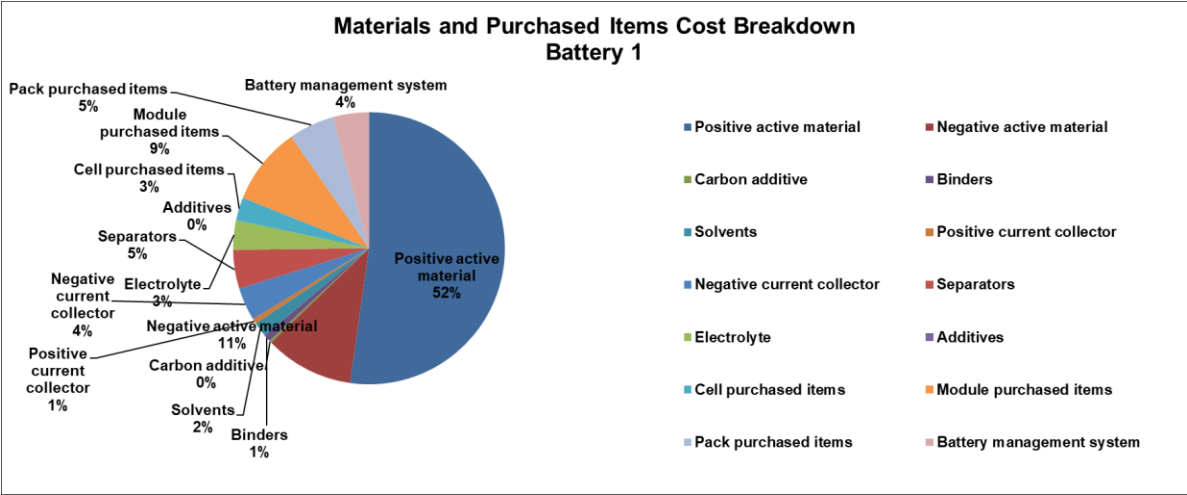


Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Por otra parte, la diferencia más notoria es que en esta oportunidad al considerar o integrar el litio al costo de producción en la cadena, el costo total del material activo del polo positivo baja de 55% ver Figura 54, a un 52% ver Figura 56, es decir se logra una disminución aproximada de un 3% sobre el costo total del material activo del cátodo (aproximadamente).

Figura 54

distribución de los costos de los elementos y materiales de la batería



Nota. Elaboración propia con datos tomados de (Kevin W. Knehr, 2022)

7 Conclusiones y recomendaciones

En los capitulos anteriores vimos que el litio representa el 7% aproximadamente (en masa) respecto al total de la masa del catodo y en terminos de precio (aproximadamente) el 13,5% dependiendo el periodo en que se realice el analisis. No obstante, este 13,5% es relativo al 60% de los costos de la bateria, que corresponden al material activo del cátodo. Por lo tanto, mas allá de su importancia relativa, la ventaja de Chile en la elaboración de baterias, es que puede asegurar la continuidad de la producción, ya que este mineral se obtendría a pocos kilometros de la planta. Por otro lado, como vimos en el analisis pestel, los indicadores economicos, ambientales y politicos sitúan al país en un lugar privilegiado dentro de la región, con estándares por sobre la media a nivel mundial. El pais que posee una de las reservas mas grande de mineral, se encuentra en proceso de superar la inflación post pandemia y desarrollando una estrategia público-privado para su explotación. De esta forma, como se vió en la evaluación, Chile puede ofrecer costos competitivos a nivel mundial, al menos en comparacion con Estados Unidos. Considerando un costo promedio de una bateria de 101 USD/kwh en 2021 como se puede ver la distribución en Figura 10, Chile podria ofrecer costos dentro de la media e incluso menores. En relación a otros minerales como el manganeso, estos podrian eventualmente ser obtenidos desde Brasil, país que ya fabria vehiculos electricos. Con el surgimiento de nuevos proyectos de empresas chinas en este mercado, una estrategia local podria ser desarrollar tratados por materias prima y manofactura con brasil para asegurar suministros.

En lo que respecta a los costos de las operaciones de salmueras en relación a las de mineral de roca integrada, la situación es disímil según el tipo de producto. En particular, la producción de carbonato de litio a partir de salmueras tiende a fluctuar entre USD/t 3.600-5.000. (Gonzáles et al, 2023)

De lo anterior el reporte de Cochilco indica que para 2020 los costos de producción de carbonato de litio rondan los intervalos entre 3600 a 5000 usd por tonelada, actualizado por ipc en tabla 34.

Tabla 34

Costos de producción anual de carbonato de litio USD/T

Costos de producción en salares	2020		2021		2022	
Carbonato de litio USD/t	3.600,0	5.000,0	3.859,2	5.360,0	4.353,2	6.046,1
Carbonato de litio USD/kg	3,6	5,0	3,9	5,4	4,4	6,0

Nota. Elaboración propia con datos Tomados de (González et al, 2023) y (Banco Central de Chile, www.bcentral.cl, 2023 d)

Con la proyección de 2022 podemos obtener un promedio entre (4353,2 USD/t y 6046,1 USD/t) de 5.199,6 USD/t en otras palabras 5,1996 USD/kg. En el mismo reporte se indica que respecto al precio promedio del carbonato de litio para 2022 que fue de 38204 USD/t o 38,204 USD/kg, este dato esta alineado con lo que se puede observar en comtradeplus.un.org, al revisar las exportaciones de Carbonato de litio desde Chile al mundo se reportaron 7.762.747.002 USD respecto a un total de 198.610.110 kg lo que da un total de 39,08 USD/kg.

Al comparar la diferencia entre el costo de producción y el precio de venta notamos que para 2022 en promedio $38,204 \text{ USD/kg} - 5,1996 \text{ USD/kg} = 33,004 \text{ USD/kg}$ de margen bruto, en otras palabras, el precio de 1 kg de carbonato de litio en 2022 fue 7 veces el costo de producción.

De tabla 2 respecto a los posibles usos del litio vemos que para generar 1 kwh en una batería NMC 622 se necesita aproximadamente 0,11 kg de litio el costo promedio de producir un 1 kwh es 97 USD en, el precio promedio de 1 kwh en 2022 es 151 USD ver Figura 9.

Respecto a la distribución de los costos si el 60% de los costos son la materia prima ver figura 55.

Ahora bien, dentro del costo de los ítems de compras y materiales $60\% + 12\% = 72\%$ podemos observar en figura que de este el 55% es el material activo del cátodo.

Además de tabla 24, sabemos que dentro de los costos del material activo del cátodo el 13,5% aproximadamente corresponde al litio, por lo tanto, para estimar cuanto es el porcentaje del costo del litio sobre el costo total de 1 kwh aplicando la distribución, $0,1354 * 0,55 * 0,72$ es lo que representa el litio en el pack esto es 0,0536 es decir un 5,36% del costo del pack corresponde al litio. Ahora bien, si asumimos la misma distribución de costo al precio de venta, es decir el 5,36% del precio promedio de venta podría ser asignado al litio $151 \text{ USD} * 0,0536 = 8,096 \text{ USD}$ corresponderían al precio que paga el usuario final de 0,11 gramos de litio aproximadamente. Por lo tanto 1 kg de litio de batería se vendería a 73,603 USD/kg quiere decir que la razón entre el costo de producir 1 kilogramo de litio y el precio de venta que paga el usuario final de ese kilogramo de litio agregado, en un producto de 1 kwh de batería es aproximadamente precio/costo producción del kg de litio: $(73,603 \text{ USD/kg}) / (5,1996 \text{ USD/kg}) = 14,15$ veces.

Ahora bien, los costos para Chile para 1 kwh aplicando la distribución, $0,0138 * 0,52 * 0,73 = 0,00524$

esto implica un 0,524% (aproximadamente) respecto a los costos totales, notar que con el modelo por defecto es 5,36% y ahora obtuvimos 0,524%, es decir aproximadamente 10 veces menor y que en diferencia es $5,36\% - 0,524\% = 4,836\%$ de ahorro en costo o bien si se quiere ver como posibles ingresos en margen respectivamente si se mantiene el mismo nivel de precio.

Finalmente, si solo depende del costo del litio y como vemos que su participación en una batería es aproximadamente un 5,36% y sabiendo que los precios de las baterías van a la baja en los últimos años ver Figura 9, da la impresión que el hecho de fabricar baterías en Chile no fuese tan atractivo, más aun con toda la tecnología, conocimientos e inversión que esto implica y con mayor razón siendo un país poco industrializado, no obstante hay que considerar el factor de escalas ya que dados los compromisos por el cambio climático firmado por los países, el recambio de

combustibles fósiles a energías renovables y dentro de ellas la electro movilidad es inminente, el litio juega un rol fundamental en ese contexto y en relación a la demanda por litio vemos que Cochilco pronostica que existirá una alta demanda insatisfecha ya cerca de 2030, por tanto en ese contexto y sumado a esto, el aprendizaje y desarrollo que puede ofrecer elaborar productos como baterías de ion de litio, es que podría ser conveniente para Chile integrarse al mismo y asociarse con empresas productoras o a parte de su cadena más allá de solo tareas extractivas.

Algunas recomendaciones como aproximación a una industria más desarrollada entorno al litio es en primer lugar, invertir en perfeccionar las técnicas de extracción y refinamiento, ya que bajar los costos, aumentar el volumen y calidad, ayuda tanto para la venta actual de carbonato de litio, como para una futura integración en la cadena productiva de baterías. Esta ya sea a través de fabricación del cátodo o de la batería terminada. Complementariamente, se recomienda bajar barreras de entrada al mínimo posible, en otras palabras, facilitar el ingreso de privados y fomentar inversión externa en proyectos de elaboración de baterías o sus componentes, con aquellos actores que ya poseen las tecnologías y el saber hacer, aprovechando al máximo esa posibilidad de intercambio en conocimiento y tecnología junto con la inversión asociada.

Como se indica en el artículo ventajas comparativas implícitas:

Desde el punto de vista Ricardiano, por otra parte, la conjetura sería que el dominio de tecnologías específicas afecta la productividad de las industrias relacionadas, una característica no incorporada en los Modelos Ricardianos actuales. Esfuerzos para mejorar la productividad de una industria puede extenderse a industrias relacionadas. Aspectos no explotados de las tecnologías relacionadas se reflejan en la diferencia entre las estructuras de un país y la norma internacional. Estas diferencias disminuyen a lo largo tiempo a medida que las empresas explotan los derrames tecnológicos. (Hausmann et al., 2022, p.15).

Es clave en este sentido, establecer políticas de mediano y largo plazo que fomenten el desarrollo de la industria con inversión extranjera en post de lograr nuevos conocimientos y tecnologías, y así explotar al máximo las ventajas comparativas que tiene Chile respecto a los otros países de la región, con el objetivo de apuntar a un país más industrializado, agregando cada vez más valor en los productos que el país ofrece.

8 Referencias

- aim. (2019). *Clasificación grupos socioeconómicos y manual de aplicación*. aim.
- Attwood, J. (16 de 10 de 2023). *www.bloomberglinea.com*. *www.bloomberglinea.com*:
<https://www.bloomberglinea.com/latinoamerica/chile/china-tsingshan-asegura-suministro-litio-chileno-para-baterias/>
- Banco Central de Chile. (2022 a). *Cuentas Nacionales de Chile*,. Banco central de Chile. *www.bcentral.cl*:
<https://www.bcentral.cl/en/web/banco-central/content/-/detalle/informe-de-cuentas-nacionales-de-chile-cuarto-trimestre-de-2022>
- Banco Central de Chile. (7 de 12 de 2022 b). *www.bcentral.cl*. *www.bcentral.cl*:
<https://www.bcentral.cl/contenido/-/detalle/informe-de-politica-monetaria-diciembre-2022>
- Banco Central de Chile. (2022 c). *Informe de Política Monetaria diciembre 2022*. Banco Central de Chile.
- Banco Central de Chile. (11 de 10 de 2023 a). *www.bcentral.cl*. *www.bcentral.cl*:
<https://www.bcentral.cl/web/banco-central/tasas-de-interes-excel>
- Banco Central de Chile. (13 de 10 de 2023 b). *www.bcentral.cl*. *www.bcentral.cl*:
https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_TIPO_CAMBIO/MN_TIPO_CAMBIO4/DOLAR_OBS_ADO/TCB_505?cbFechaDiaria=2023&cbFrecuencia=MONTHLY&cbCalculo=NONE&cbFechaBase=
- Banco Central de Chile. (4 de 9 de 2023 c). *www.bcentral.cl*. *www.bcentral.cl*:
https://si3.bcentral.cl/Bdemovil/BDE/Series/MOV_SC_ML3
- Banco Central de Chile. (4 de 9 de 2023 d). *www.bcentral.cl*. *www.bcentral.cl*:
https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_PRECIOS/MN_CAP_PRECIOS/IPC_VAR_ANUAL_HIST_NEW
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (16 de 04 de 2019). *www.bcn.cl*. *www.bcn.cl*:
<https://www.bcn.cl/portal/leyfacil/recurso/ley-del-lobby>
- Chile Aduanas. (09 de 10 de 2023 a). *www.aduana.cl*. <https://www.aduana.cl/tratados-y-acuerdos-de-libre-comercio/aduana/2007-02-28/122217.html>
- Chile Aduanas. (2023 b). *www.aduana.cl*. Retrieved 16 de 10 de 2023, from *www.aduana.cl*:
<https://www.aduana.cl/preguntas-de-clasificacion/aduana/2013-04-12/074704.html#:~:text=En%20Chile%20el%20arancel%20general,o%20CIF%20de%20las%20>
- Chile Aduanas. (2023 c). *www.aduana.cl*. Retrieved 16 de 10 de 2023, from *www.aduana.cl*:
<https://www.aduana.cl/cuales-son-los-impuestos-que-debo-pagar-al-importar/aduana/2020-11-16/110804.html>
- Consejo Minero. (2023). *Cifras Actualizadas de la Minería*. Consejo Minero.
- datosmacro. (12 de 10 de 2023). *datosmacro.expansion.com*. *datosmacro.expansion.com*:
<https://datosmacro.expansion.com/pib/chile>

- Dirección del Trabajo. (2023 a). *www.dt.gob.cl*. Retrieved 16 de 10 de 2023, from *www.dt.gob.cl*:
<https://www.dt.gob.cl/legislacion/1624/w3-propertyvalue-23996.html>
- Dirección del Trabajo. (15 de 10 de 2023 b). *www.dt.gob.cl*. *www.dt.gob.cl*:
<https://www.dt.gob.cl/legislacion/1624/w3-propertyvalue-22764.html>
- Dirección del Trabajo. (15 de 10 de 2023 c). *www.dt.gob.cl*. *www.dt.gob.cl*:
<https://www.dt.gob.cl/legislacion/1624/w3-propertyvalue-26854.html>
- Dirección del Trabajo. (15 de 10 de 2023 d). *www.dt.gob.cl*. *www.dt.gob.cl*:
<https://www.dt.gob.cl/legislacion/1624/w3-propertyvalue-23998.html>
- Dow Jones. (04 de junio de 2023). *S&P Down Jones Indices*. *www.spglobal.com*:
<https://www.spglobal.com/spdji/es/indices/esg/dow-jones-sustainability-world-index/#overview>
- Estay, H. (05 de julio de 2022). *Minería Chilena*. *www.mch.cl*: <https://www.mch.cl/2022/07/05/amtc-presenta-tecnologia-para-la-extraccion-de-litio-de-forma-sustentable/#>
- Fleck, A. (21 de 4 de 2023). *www.statista.com*. *www.statista.com*:
<https://www.statista.com/chart/29789/map-of-countries-preparation-for-frontier-technologies/>
- Frith, J. (14 de Septiembre de 2021). *EV Battery Prices Risk Reversing Downward Trend as Metals Surge*. *www.bloomberg.com*: <https://www.bloomberg.com/news/newsletters/2021-09-14/ev-battery-prices-risk-reversing-downward-trend-as-metals-surge>
- Gob.cl. (3 de 8 de 2023). *www.gob.cl*. *www.gob.cl*: <https://www.gob.cl/noticias/royalty-minero-presidente-promulga-ley-que-entrega-millonarios-recursos-para-el-desarrollo-de-las-regiones/>
- Gobierno de Chile. (20 de abril de 2023). *litioporchile*. *www.gob.cl*: <https://www.gob.cl/litioporchile/>
- Gonzáles, A., y Cantallopts, J. (2021). *El mercado de litio Desarrollo reciente y proyecciones al 2030*. Cochilco.
- Gonzáles, A., Donoso, F., y Garay, V. (2023). *El mercado de litio desarrollo reciente y proyecciones al 2035*. Cochilco.
- Gujarati, D. N., y Dawn C. Porter. (2010). *Econometría*. Mc Graw Hill,.
- Hausmann, R., Stock, D. P., y Yildirim, M. A. (2022). Implied comparative advantage. *Research Policy*, 51.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104143>
- Henze, V. (12 de Noviembre de 2022 a). *China's Battery Supply Chain Tops BNEF Ranking for Third Consecutive Time, with Canada a Close Second*. BloombergNEF:
<https://about.bnef.com/blog/chinas-battery-supply-chain-tops-bnef-ranking-for-third-consecutive-time-with-canada-a-close-second/>
- Henze, V. (6 de Diciembre de 2022 b). *Lithium-ion Battery Pack Prices Rise for First Time to an Average of \$151/kWh*. BloombergNEF: <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-rise-for-first-time-to-an-average-of-151-kwh/>

<http://data.un.org>. (14 de 05 de 2023). UNdata:

http://data.un.org/Data.aspx?q=lithium&d=ComTrade&f=_l1Code%3a29%3bcmdCode%3a283691

ILOSTAT. (27 de 7 de 2022). <https://ilostat.ilo.org/>. <https://ilostat.ilo.org/>:

<https://ilostat.ilo.org/topics/labour-costs/>

Instituto Nacional de Estadísticas Chile. (12 de 5 de 2023). www.ine.gob.cl. www.ine.gob.cl:

<https://www.ine.gob.cl/sala-de-prensa/prensa/general/noticia/2023/05/12/tasa-de-desocupaci%C3%B3n-nacional-descendi%C3%B3-anualmente-en-2022-y-se-ubic%C3%B3-en-7-9#:~:text=M%C3%A1s%20de%208%2C8%20millones,situ%C3%B3%20en%207%2C9%25>.

International Institute for Management Development. (2022). *IMD World Digital Competitiveness Ranking 2022*. IMD.

International transparency. (2022). *Corruption perceptions index*. transparency International.

www.transparency.org/cpi

investing.com. (25 de 10 de 2023 a). <https://www.investing.com/>. <https://www.investing.com/>:

<https://www.investing.com/commodities/nickel-historical-data?cid=959208>

investing.com. (25 de 10 de 2023 b). <https://www.investing.com/>. <https://www.investing.com/>:

<https://www.investing.com/commodities/cobalt-historical-data>

IUPAC. (4 de 5 de 2022). <https://iupac.org/>. <https://iupac.org/>: <https://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements/>

Kevin W. Knehr, J. J. (2022). *Battery Performance and Cost Modeling for Electric-Drive Vehicles: A Manual for BatPaC v5.0*. Argonne National Lab. (ANL), Argonne, IL (United States).

<https://doi.org/https://doi.org/10.2172/1877590>

Mathilde Carlier. (2 de 2022). www.statista.com. www.statista.com:

<https://www.statista.com/statistics/1330756/ev-battery-cost-breakdown-by-component/>

Minería Chilena. (15 de 10 de 2023). www.mch.cl. www.mch.cl: <https://www.mch.cl/2023/02/21/estas-son-algunas-leyes-que-regulan-la-actividad-minera-de-la-mineria-en-chile/#>

Ministerio de Bienes Nacionales. (30 de 12 de 2021 a). <https://licitaciones.bienes.cl/>.

<https://licitaciones.bienes.cl/>: <https://licitaciones.bienes.cl/licitacion/mejillones-este-1/>

Ministerio de Bienes Nacionales. (30 de 12 de 2021 b). <https://licitaciones.bienes.cl/>.

<https://licitaciones.bienes.cl/>: <https://licitaciones.bienes.cl/licitacion/acceso-sur-mejillones-ernc/>

Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2022). *CASEN 2022*.

Ministerio de Minería. (13 de octubre de 2021). Decreto 23. www.bcn.cl/leychile:

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1166331&f=2022-08-10>

Ministerio de salud. (9 de 10 de 2023). www.gob.cl. <https://www.gob.cl/pasoapaso/cifrasoficiales/>

- Ministerio Secretaria General de la Presidencia. (6 de 9 de 2023). *www.bcn.cl*. *www.bcn.cl*: <https://bcn.cl/2f707>
- Moreno-Brieva, F., y Marín, R. (2019). Technology generation and international collaboration in the Global Value Chain of Lithium Batteries. (Elsevier, Ed.) *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 232-243. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.026>
- Obaya, M., y Céspedes, M. (2021). Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio: implicaciones para los países del triángulo del litio. (CEPAL, Ed.) *Documentos de Proyectos*, 58, 147. <https://hdl.handle.net/11362/46943>
- Observatorio del Sistema Nacional de Ciencias. (6 de 2022). *www.observa.minciencia.gob.cl*. *www.observa.minciencia.gob.cl*: <https://observa.minciencia.gob.cl/indicadores/comparacion-internacional/gasto-en-id-respecto-al-pib>
- Pereda, J. (26 de 04 de 2023). *www.t13.cl*. *www.t13.cl*: <https://www.t13.cl/noticia/negocios/ex-ante/las-dudas-sobre-objetivo-del-gobierno-chile-fabrique-baterias-litio-estacionari-26-4-2023>
- Pérez, V., y Schwarz, S. (2014). *La explotación del litio en Chile en el contexto del mercado internacional*. Coquimbo.
- Salazar-Xirinachs, J. (8 de 7 de 2023). <https://elpais.com/>. <https://elpais.com/>: <https://elpais.com/chile/2023-07-08/extraccion-e-industrializacion-del-litio-en-america-latina-y-el-caribe-oportunidades-y-desafios.html>
- Sayem, M., M.A, H., Lipu, M. H., M, M., Jern, K. P., M.J, H., y T.M., I. M. (2023). State of the art of lithium-ion battery material potentials: An analytical evaluations, issues and future research directions. *Journal of Cleaner Production*, 394. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136246>
- Servicio de Impuestos Internos. (14 de 6 de 2023 a). *www.sii.cl*. *www.sii.cl*: https://www.sii.cl/preguntas_frecuentes/renta/001_002_4708.htm
- Servicio de Impuestos Internos. (14 de 6 de 2023 b). *www.sii.cl*. *www.sii.cl*: https://www.sii.cl/preguntas_frecuentes/renta/001_002_4708.htm
- Servicio de Impuestos Internos. (2023 c). *www.sii.cl*. Retrieved 16 de 10 de 2023, from *www.sii.cl*: https://www.sii.cl/valores_y_fechas/uf/uf2022.htm
- Statista Research Department. (5 de 8 de 2022). *www.statista.com*. *www.statista.com*: <https://www.statista.com/statistics/744071/manufacturing-labor-costs-per-hour-china-vietnam-mexico/>
- Statista Research Department. (9 de 10 de 2023). *www.statista.com*. *www.statista.com*: <https://www.statista.com/statistics/235323/lithium-batteries-top-manufacturers/>
- Subsecretaría de Minería. (2013). *Compilación de informes sobre: Mercado del litio, Potencial de litio en salares del norte de Chile*. Coquimbo.

Subsecretaría de Relaciones Económicas Internacionales. (2023). *www.subrei.gob.cl*. Retrieved 16 de 10 de 2023, from *www.subrei.gob.cl*: <https://www.subrei.gob.cl/preguntas-frecuentes/impuestos-a-las-exportaciones>

Toledo, M. (16 de Febrero de 2023). *Boom del litio da un gran impulso a las exportaciones chilenas y el 80% se destina a China*. *www.df.cl*: <https://www.df.cl/economia-y-politica/comercio-exterior/boom-del-litio-da-un-gran-impulso-a-las-exportaciones-chilenas-y-el-80>

U.S. Geological Survey. (2022). *Mineral commodity summaries 2022*. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/https://doi.org/10.3133/mcs2022>

U.S. Geological Survey. (2023). *Mineral commodity summaries 2023*. U.S. Geological Survey.

UN Comtrade Database. (26 de 10 de 2023 a). <https://comtradeplus.un.org/>.
<https://comtradeplus.un.org/>:
<https://comtradeplus.un.org/TradeFlow?Frequency=A&Flows=X&CommodityCodes=TOTAL&Partners=0&Reporters=all&period=2022&AggregateBy=none&BreakdownMode=plus>

United Nations. (2023). *Technology and innovation report*. United Nations.

Wolf et al. (2022). *2022 Enviromental Performance Index*. New Haven.

World Inequality Lab. (2022). *World inequality report 2022*. World Inequality Lab.

World Intellectual property organization. (2022). *Global Innovation Index 2022*. WIPO.

9 ANEXOS

9.1 Anexo A:

Tabla 35

índice de Variables

Nombre	Variable logarítmica
Año	Lc1
Periodo en formato año mes	Lc2
Tiempo (números correlativos para time series en Stata desde 588 - 760)	Lc3
Logaritmo natural de exportaciones de litio de Chile volumen en kilogramos	Lc4
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de litio de Chile en dólares	Lc5
Logaritmo natural de precio medio de las exportaciones de litio de Chile	Lc6
Logaritmo natural de Acciones de en dólares de BAIC	Lc7
Logaritmo natural de Acciones de en dólares de PCRFY_panasonic	Lc8
Logaritmo natural de Acciones de en dólares de 006400 KS Samsung SDI	Lc9
Logaritmo natural de Acciones de en dólares de 051910 KS LG Chem	Lc10
Logaritmo natural de Acciones de en dólares de TSLA	Lc11
Logaritmo natural de Acciones de en dólares de AAPL	Lc12
Logaritmo natural de Acciones de en dólares de 689009 SS segway-ninebot	Lc13
Logaritmo natural de Acciones de en dólares de 1810 HK XIAOMI	Lc14
Logaritmo natural de Acciones de en dólares de NIU	Lc15
Logaritmo natural de Acciones de en dólares de Contemporary_Amperex_Tech(CATL)	Lc16
Logaritmo natural de Acciones de en dólares de BYD Co Ltd-H_1211	Lc17
Logaritmo natural de Acciones de en dólares de SQM	Lc18
Logaritmo natural del precio del cobre dólares por libra	Lc19
Logaritmo natural de las exportaciones de baterías de litio desde China volumen en unidades	Lc20
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de baterías de litio de China en dólares	Lc21
Logaritmo natural de precio promedio de las exportaciones de China de batería de litio en dólares	Lc22
Logaritmo natural de exportaciones de Celulares de China volumen en unidades	Lc23
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de Celulares de China en dólares	Lc24
Logaritmo natural de precio medio de las exportaciones de celulares de China en dólares	Lc25
Logaritmo natural de exportaciones de Laptops de China volumen en unidades	Lc26
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de Laptops de China en dólares	Lc27
Logaritmo natural de precio promedio de las exportaciones de Laptops de China en dólares	Lc28
Logaritmo natural del indicador imacec	Lc29
Logaritmo natural de la tasa de desempleo en Chile	Lc30

Nombre	Variable logarítmica
Logaritmo natural de la tasa de desempleo en china	Lc31
Logaritmo natural de exportaciones de vehículos eléctricos de China volumen en unidades	Lc32
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de vehículos eléctricos de China en dólares	Lc33
Logaritmo natural de precio promedio de las exportaciones de vehículos eléctricos de China en dólares	Lc34
Logaritmo natural de exportaciones de otros vehículos de China volumen en unidades	Lc35
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de otros vehículos de China en dólares	Lc36
Logaritmo natural de precio promedio de las exportaciones de China de otros vehículos en dólares	Lc37
Logaritmo natural de exportaciones de litio Mundial en kilogramos	Lc38
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de litio mundial en dólares	Lc39
Logaritmo natural de precio medio de las exportaciones litio a nivel mundial en dólares	Lc40
Logaritmo natural de exportaciones de baterías de litio mundial volumen en unidades	Lc41
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de baterías de litio mundial en dólares	Lc42
Logaritmo natural de precio promedio de las exportaciones mundiales de baterías de litio en dólares.	Lc43
Logaritmo natural del índice de productividad de estados unidos	Lc44
Logaritmo natural de exportaciones de celulares mundial volumen en unidades	Lc45
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de celulares mundial en dólares	Lc46
Logaritmo natural de precio promedio de las exportaciones de celulares mundial en dólares	Lc47
Logaritmo natural de exportaciones de laptops mundial volumen en unidades	Lc48
Logaritmo natural del valor de las exportaciones mundiales de laptops en dólares	Lc49
Logaritmo natural de precio promedio de las exportaciones de laptops mundial en dólares	Lc50
Logaritmo natural de las exportaciones de otros vehículos mundial volumen en unidades	Lc51
Logaritmo natural del valor de exportaciones de otros vehículos mundial en dólares	Lc52
Logaritmo natural de precio promedio de las exportaciones de otros vehículos mundial en dólares	Lc53
Logaritmo natural de exportaciones de vehículos eléctricos mundial volumen en unidades	Lc54
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de vehículos eléctricos mundial en dólares	Lc55
Logaritmo natural de precio en dólares de las exportaciones mundiales de vehículos eléctricos	Lc56
Logaritmo natural del índice de producción industrial de China	Lc57
Logaritmo natural de índice de producción industrial de Chile	Lc58
Logaritmo natural del tipo cambio chile CLP/USD	Lc59
Logaritmo natural de tipo de cambio dólar yuan	Lc60

Nombre	Variable logarítmica
Logaritmo natural del valor del barril de petróleo crudo en dólares.	Lc61
Logaritmo natural de precio de la electricidad kwh/h en dólares en USA	Lc62
Logaritmo natural de índice de producción industrial de Alemania	Lc63
Logaritmo natural de índice de producción industrial de Japón	Lc64
Logaritmo natural de la tasa de desempleo de Alemania	Lc65
Logaritmo natural de la tasa de desempleo de Chile	Lc66
Logaritmo natural de la tasa de desempleo de Japón	Lc67
Logaritmo natural de la tasa de desempleo de USA	Lc68
Logaritmo natural del precio de producción de energía eléctrica en USA	Lc69
Logaritmo natural de precio en dólares del gas natura	Lc70
Logaritmo natural de exportaciones de níquel mundial volumen en kilogramos.	Lc71
Logaritmo natural del valor de las exportaciones níquel mundial en dólares	Lc72
Logaritmo natural del precio promedio del níquel mundial en dólares	Lc73
Logaritmo natural de las exportaciones de grafito mundial volumen en kilogramos	Lc74
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de grafito mundial en dólares	Lc75
Logaritmo natural de precio promedio de exportaciones de grafito mundial en dólares	Lc76
Logaritmo natural de las exportaciones de silicio mundial volumen en kilogramos	Lc77
Logaritmo natural de exportaciones de silicio mundial volumen en dólares	Lc78
Logaritmo natural del precio promedio de exportaciones de silicio mundial en dólares	Lc79
Logaritmo natural de las exportaciones de soya mundial volumen en kilogramos	Lc80
Logaritmo natural de exportaciones de soya mundial en dólares	Lc81
Logaritmo natural de precio promedio de exportaciones de soya mundial en dólares	Lc82
Logaritmo natural de exportaciones de paneles solares mundial volumen en unidades	Lc83
Logaritmo natural de exportaciones de paneles solares mundial en dólares	Lc84
Logaritmo natural del precio promedio de exportaciones paneles solares mundial en dólares	Lc85
Logaritmo natural de toneladas de CO2 emitidas	Lc86
Logaritmo natural del precio del bitcoin en dólares	Lc87
Logaritmo natural de acciones de Starbucks en dólares	Lc88
Logaritmo natural de exportaciones mundiales de cobre cantidad en kilogramos	Lc89
Logaritmo natural de exportaciones de cobre mundial en dólares	Lc90

Nombre	Variable logarítmica
Logaritmo natural de precio promedio de exportaciones de cobre mundial en dólares	Lc91
Logaritmo natural de exportaciones mundiales de sodio cantidad en kilogramos	Lc92
Logaritmo natural de exportaciones de sodio mundial en dólares	Lc93
Logaritmo natural de precio promedio de las exportaciones de sodio en dólares.	Lc94
Logaritmo natural de tasa de interés de bonos del estado de Chile	Lc95
Logaritmo natural de tasa de interés de los bonos de reserva de USA	Lc96
Logaritmo natural de tasa de interés de bonos de Japón	Lc97
Logaritmo natural de IPC de Japón en base a 201501	Lc98
Logaritmo natural de IPC de Chile en base a 201501	Lc99
Logaritmo natural de IPC de USA en base a 201501	Lc100
Logaritmo natural de las exportaciones de litio de Australia volumen en kilogramos	Lc101
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de litio de Australia en dólares	Lc102
Logaritmo natural de precio promedio de las exportaciones de litio de Australia en dólares	Lc103
Logaritmo natural de las exportaciones de litio de Argentina volumen en kilogramos	Lc104
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de litio de Argentina en dólares	Lc105
Logaritmo natural del precio promedio de las exportaciones de litio de Argentina en dólares	Lc106
Logaritmo natural de exportaciones de litio de Bolivia volumen en kilogramos	Lc107
Logaritmo natural del valor de las exportaciones de litio de Bolivia en dólares	Lc108
Logaritmo natural del precio promedio de las exportaciones de litio de Bolivia en dólares	Lc109
Logaritmo natural de las exportaciones de litio de China volumen en kilogramos	Lc110
Logaritmo natural de las exportaciones de litio de China en dólares	Lc111
Logaritmo natural del precio promedio de las exportaciones de litio de China en dólares	Lc112

Nota. La tabla presenta las variables utilizadas en los 6 modelos resultantes, no obstante el total de variables que fueron probadas es 112, las variables en su estado natural es decir, no logarítmico recibieron el nombre de cN° donde N° representa el Numero de la variable para llevar un orden, a su vez la L que antecede al nombre de la variables guardar relación con el logaritmo natural de la variable cN°, ejemplo LcN° para N° = 4 implica c4 luego $\text{Ln}(c4) = \text{Lc}4 = \text{Logaritmo natural de exportaciones de litio de Chile volumen en kilogramos}$.

Elaboración propia.

Tabla 36

índice de Variables

N°	Nombre	Variable logarítmica
4	Logaritmo natural de exportaciones de litio de Chile volumen en kilogramos	Lc4
6	Logaritmo natural de precio medio de las exportaciones de litio de Chile	Lc6
38	Logaritmo natural de exportaciones de litio Mundial en kilogramos	Lc38
40	Logaritmo natural de precio medio de las exportaciones litio a nivel mundial en dólares	Lc40
41	Logaritmo natural del valor de las exportaciones de baterías de litio mundial en unidades	Lc41
42	Logaritmo natural del valor de las exportaciones de baterías de litio mundial en dólares	Lc42
43	Logaritmo natural de precio promedio de las exportaciones Mundiales de baterías de litio en dólares.	Lc43
49	Logaritmo natural del valor de las exportaciones mundiales de laptops en dólares	Lc49
56	Logaritmo natural de precio medio de las exportaciones mundiales de vehículos eléctricos en dólares.	Lc56
58	Logaritmo natural de índice de producción industrial de Chile	Lc58
60	Logaritmo natural de tipo de cambio dólar yuan	Lc60
61	Logaritmo natural de valor del barril de petróleo crudo en dólares.	Lc61
62	Logaritmo natural de precio de la electricidad kwh/h en dólares en USA	Lc62
64	Logaritmo natural de índice de producción industrial de Japón	Lc64
70	Logaritmo natural de precio en dólares del gas natural	Lc70
71	Logaritmo natural de exportaciones de níquel mundial volumen en kilogramos.	Lc71
72	Logaritmo natural del valor de las exportaciones mundiales de níquel en dólares	Lc72
75	Logaritmo natural del valor de las exportaciones de grafito mundial en dólares	Lc75
78	Logaritmo natural del valor de las exportaciones de silicio mundial en dólares	Lc78
81	Logaritmo natural del valor de las exportaciones de soya mundial en dólares	Lc81
84	Logaritmo natural del valor de las exportaciones de paneles solares mundial en dólares	Lc84
89	Logaritmo natural de exportaciones mundiales de cobre cantidad en kilogramos	Lc89
92	Logaritmo natural de exportaciones mundiales de sodio cantidad en kilogramos	Lc92
93	Logaritmo natural del valor de las exportaciones de sodio mundial en dólares	Lc93
94	Logaritmo natural de precio promedio de las exportaciones Mundiales de sodio en dólares.	Lc94
95	Logaritmo natural de tasa de interés de bonos del estado de Chile	Lc95
96	Logaritmo natural de tasa de interés de los bonos de reserva de USA	Lc96
97	Logaritmo natural de tasa de interés de bonos de Japón	Lc97

Nota. La tabla presenta las variables utilizadas en los 6 modelos resultantes, no obstante el total de variables que fueron probadas es 112, las variables en su estado natural es decir, no logarítmico recibieron el nombre de cN° donde N° representa el Numero de la variable para llevar un orden, a su vez la L que antecede al nombre de la variables guardar relación con el logaritmo natural de la variable cN°, ejemplo LcN° para N° = 4 implica c4 luego $\ln(c4) = Lc4$ = Logaritmo natural de exportaciones de litio de Chile volumen en kilogramos.

Elaboración propia.

Imágenes de salidas de Stata para demanda Mundial.

Resultados del modelo Mundial [1] Log MCO.

Figura 55

Modelo Log MCO

Source	SS	df	MS	Number of obs = 168		
Model	37.9099216	5	7.58198432	F(5, 162) = 136.50		
Residual	8.99859718	162	.055546896	Prob > F = 0.0000		
Total	46.9085188	167	.280889334	R-squared = 0.8082		
				Adj R-squared = 0.8022		
				Root MSE = .23568		

Lc38	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Lc84	.2422394	.0543132	4.46	0.000	.1349863	.3494925
Lc42	.2269969	.0186862	12.15	0.000	.190097	.2638967
Lc93	.090182	.0268848	3.35	0.001	.0370921	.1432719
Lc70	.2303196	.0583584	3.95	0.000	.1150783	.3455609
Lc81	.1181776	.0467257	2.53	0.012	.0259076	.2104476
_cons	2.132648	.9755175	2.19	0.030	.2062784	4.059018

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 56

Matriz varianza y covarianza modelo log MCO

```
. $matriz_varianza_covarianzas
. estat vce
```

Covariance matrix of coefficients of regress model

e (V)	Lc84	Lc42	Lc93	Lc70	Lc81	_cons
Lc84	.00294992					
Lc42	-.00016063	.00034917				
Lc93	-.00090688	-.00012871	.00072279			
Lc70	-.00011331	.0002549	-.00007499	.00340571		
Lc81	-.00106425	-.00018035	-.00026649	.00014749	.00218329	
_cons	-.03303958	-.00429936	.01838745	-.00825621	-.01722593	.95163433

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 57

Test VIF modelo log MCO

```
. vif
```

Variable	VIF	1/VIF
Lc84	3.71	0.269688
Lc93	3.53	0.283373
Lc81	2.60	0.384908
Lc42	1.35	0.739859
Lc70	1.07	0.932516
Mean VIF	2.45	

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 58

White test modelo log MCO

```
. whitestat
White's general test statistic : 16.74681  Chi-sq(20)  P-value = .6693
```

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

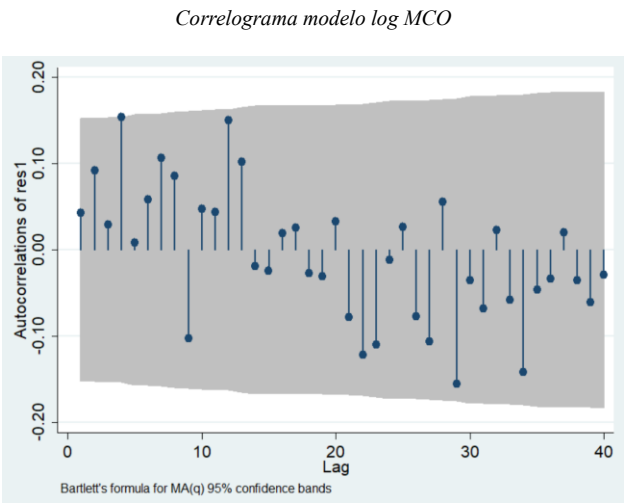
Figura 59

test durbin watson modelo log MCO

```
. estat dwatson
Durbin-Watson d-statistic( 6, 168) = 1.89764
```

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 60



Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 61

test ruido blanco Ljung-Box modelo log MCO

```
Portmanteau test for white noise
-----
Portmanteau (Q) statistic =    43.5229
Prob > chi2(40)          =    0.3238
```

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 62

test de Dickey Fuller modelo log MCO

DF-GLS for res1

Number of obs = 154

Maxlag = 13 chosen by Schwarz criterion

[lags]	DF-GLS tau Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
13	-1.845	-3.498	-2.798	-2.521
12	-1.749	-3.498	-2.814	-2.536
11	-2.019	-3.498	-2.830	-2.551
10	-2.465	-3.498	-2.845	-2.565
9	-2.654	-3.498	-2.860	-2.579
8	-2.882	-3.498	-2.874	-2.592
7	-2.696	-3.498	-2.888	-2.605
6	-2.898	-3.498	-2.901	-2.617
5	-3.373	-3.498	-2.913	-2.628
4	-3.920	-3.498	-2.925	-2.639
3	-4.319	-3.498	-2.936	-2.649
2	-5.805	-3.498	-2.947	-2.658
1	-6.986	-3.498	-2.956	-2.667

Opt Lag (Ng-Perron seq t) = 11 with RMSE .217343

Min SC = -2.876167 at lag 1 with RMSE .2297437

Min MAIC = -2.699852 at lag 12 with RMSE .215387

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Resultados de Test para demanda Mundial.

Test para el modelo Mundial [1] Log MCO:

Test de Multicolinealidad:

Para el estudio de multicolinealidad el criterio utilizado es el de factor de inflación de la varianza Vif, si $Vif < 3$ multicolinealidad aceptable, en este caso como $Vif < 3$ multicolinealidad aceptable ya que $VIF = 2,45$

White test:

$H_0: \sigma^2$ Es constante vs $H_1: \sigma^2$ No es constante.

Para verificar test de White

Si $nR^2 > \chi^2(p)$, se rechaza H_0

Como el Estadístico es 16,74681 y para $\chi^2(20) = 31,41$ se acepta H_0 Sigma cuadrado es constante es Homocedástica.

Test de Durbin Watson

$$H_0: \rho = 0 \text{ vs } H_1: \rho \neq 0$$

Bajo la prueba de Durbin Watson (d):

$$d = 2(1 - \hat{\rho})$$

si $\hat{\rho} = 1$ perfecta autocorrelación $\Rightarrow d = 2(1 - 1) = 0$

si $\hat{\rho} = 0$ no existe autocorrelación $\Rightarrow d = 2(1 - 0) = 2$

Además:

Los valores críticos (tabla): d_L, d_u .

Si $d < d_L$ se rechaza H_0

Si $d_L < d < d_u$, la prueba es incierta

Si $d > d_u$, no se rechaza H_0

Como $d = 1,89764$ $\hat{\rho} = 0,05118$ por tanto es más cercana a 0 existe baja autocorrelación aproximadamente 5%, por otro lado, para K número de variables explicativas 5 y Observaciones 168 en tabla de Estadístico d de Durbin-Watson: para n 200 (valor más cercano) Du 1,735 D1 1,613 resultado no se rechaza $H_0 \rho = 0$ $\rho < 0,5$? tenemos algo de correlación Recordar que Rho es el coeficiente de correlación estimado existe un 5,118% de correlación.

Test de ruido blanco.

Portmanteau o de Ljung-Box:

La hipótesis nula:

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \rho_3 \dots \rho_k = 0 \text{ Vs } H_1: \text{Existe } \rho_1 \neq 0$$

Para verificar: Estadístico LB:

Si $LB > \chi^2(m)$, se rechaza H_0

En este caso como LB o Q = 43,5229 y $\chi^2(40) = 55,76$, entonces $Q < \chi^2(40)$ no podemos rechazar H_0 , por tanto, la serie es estacionaria.

Test Dickey Fuller:

La hipótesis nula:

$$H_0: \delta = 0 \text{ vs } H_1: \delta \neq 0$$

Para verificar:

Si $\tau > \tau^*$, se rechaza H_0 y se dice que la serie es estacionaria.

Por tanto, la serie es estacionaria hasta el quinto rezago (lag 5).

Resultados del modelo Mundial MC2E.

Figura 63

Modelo MCO original

. regress Lc38 Lc58 Lc41 Lc62 Lc64 Lc70 Lc75						
Source	SS	df	MS		Number of obs =	168
Model	37.6155569	6	6.26925948		F(6, 161) =	108.61
Residual	9.29296193	161	.05772026		Prob > F =	0.0000
					R-squared =	0.8019
					Adj R-squared =	0.7945
Total	46.9085188	167	.280889334		Root MSE =	.24025
Lc38	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Lc58	2.413298	.6212025	3.88	0.000	1.186542	3.640054
Lc41	.0703254	.0258373	2.72	0.007	.0193016	.1213491
Lc62	1.51135	.5087236	2.97	0.003	.5067181	2.515981
Lc64	-.8530381	.4051532	-2.11	0.037	-1.653138	-.0529383
Lc70	.2375065	.0747148	3.18	0.002	.0899595	.385054
Lc75	.3807336	.0328061	11.61	0.000	.3159479	.4455194
_cons	3.740675	3.059378	1.22	0.223	-2.301009	9.782359

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 64

Modelo log MC2E

Instrumental variables (2SLS) regression					Number of obs = 168	
					Wald chi2(6) = 671.75	
					Prob > chi2 = 0.0000	
					R-squared = 0.8019	
					Root MSE = .2352	
Lc38	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
Lc58	2.45764	.8973125	2.74	0.006	.69894	4.21634
Lc41	.0694388	.0285273	2.43	0.015	.0135263	.1253513
Lc62	1.502788	.5140553	2.92	0.003	.4952585	2.510318
Lc64	-.8643744	.4310084	-2.01	0.045	-1.709135	-.0196135
Lc70	.2388059	.0756553	3.16	0.002	.0905242	.3870876
Lc75	.3807946	.0321287	11.85	0.000	.3178235	.4437656
_cons	3.586123	3.776076	0.95	0.342	-3.81485	10.9871
Instrumented: Lc58						
Instruments: Lc41 Lc62 Lc64 Lc70 Lc75 Lc60 Lc96 Lc95						

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 65

Matriz varianza y covarianza modelo log MC2E

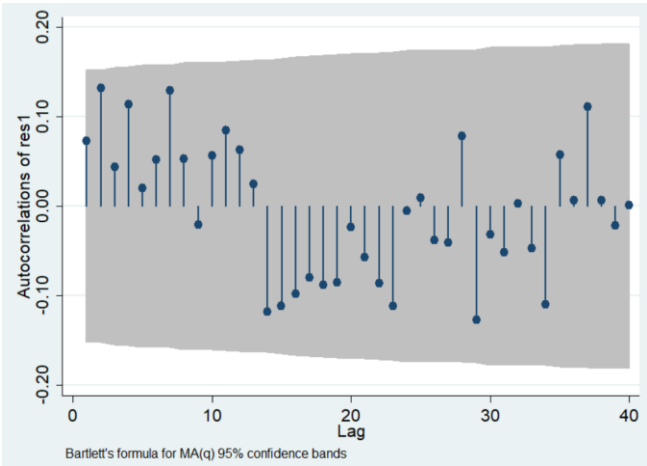
Covariance matrix of coefficients of ivregress model

e (V)	Lc58	Lc41	Lc62	Lc64	Lc70	Lc75	_cons
Lc58	.80516968						
Lc41	-.01609868	.00081381					
Lc62	-.15545735	-.00360189	.26425282				
Lc64	-.20584501	.00624637	.03583774	.18576823			
Lc70	.02359484	.00032133	-.02404448	-.00415467	.00572373		
Lc75	.00110649	-.00028754	-.0024128	-.00531024	.00015197	.00103225	
_cons	-2.8063645	.02755698	1.2102118	.14272047	-.15228885	.00200508	14.258752

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 66

Correlograma modelo log MC2E



Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 67

test ruido blanco Ljung-Box modelo log MC2E

Portmanteau test for white noise

Portmanteau (Q) statistic =	41.2215
Prob > chi2(40) =	0.4170

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 68

test de Dickey Fuller modelo log MC2E

DF-GLS for res1				
Maxlag = 13 chosen by Schwarz criterion				
Number of obs = 154				
[lags]	DF-GLS tau Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
13	-1.669	-3.498	-2.798	-2.521
12	-1.520	-3.498	-2.814	-2.536
11	-1.541	-3.498	-2.830	-2.551
10	-1.610	-3.498	-2.845	-2.565
9	-1.702	-3.498	-2.860	-2.579
8	-1.837	-3.498	-2.874	-2.592
7	-1.843	-3.498	-2.888	-2.605
6	-1.933	-3.498	-2.901	-2.617
5	-2.274	-3.498	-2.913	-2.628
4	-2.629	-3.498	-2.925	-2.639
3	-2.892	-3.498	-2.936	-2.649
2	-3.637	-3.498	-2.947	-2.658
1	-4.617	-3.498	-2.956	-2.667
Opt Lag (Ng-Perron seq t) = 13 with RMSE .2264996				
Min SC = -2.709359 at lag 3 with RMSE .2416912				
Min MAIC = -2.737882 at lag 10 with RMSE .2302729				

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 69

Test Phillips Perron modelo log MC2E

Phillips-Perron test for unit root				
Number of obs = 167				
Newey-West lags = 4				
Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(rho)	-167.841	-20.023	-13.834	-11.089
Z(t)	-12.169	-3.488	-2.886	-2.576
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000				

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Test para el modelo Mundial MC2E:

Test de Multicolinealidad:

En el modelo MC2E o 2SLS, la primera etapa del modelo implica la estimación de la variable endógena utilizando variables instrumentales. Estas variables instrumentales son seleccionadas para resolver el problema de endogeneidad, en ese contexto, no se espera que haya multicolinealidad entre las variables instrumentales y las variables endógenas, dado que las

instrumentales deben ser independientes del error y no estar correlacionadas con las variables endógenas.

White test:

$H_0: \sigma^2$ Es constante vs $H_1: \sigma^2$ No es constante.

Para verificar test de White

Si $nR^2 > \chi^2(p)$, se rechaza H_0

Como el Estadístico es = 16,74681 y para $\chi^2(20) = 31,41$ se acepta H_0 la serie es homocedastica.

Test ruido blanco:

Portmanteau o de Ljung-Box:

La hipótesis nula:

$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \rho_3 \dots \rho_k = 0$ Vs $H_1: \text{Existe } \rho_1 \neq 0$

Para verificar: Estadístico LB:

Si $LB > \chi^2(m)$, se rechaza H_0

En este caso como LB o Q = 41,2215 y $\chi^2(40) = 55,76$, entonces $Q < \chi^2(40)$ no podemos rechazar H_0 , por tanto, la serie es estacionaria.

Test Dickey Fuller:

La hipótesis nula:

$H_0: \delta = 0$ vs $H_1: \delta \neq 0$

Para verificar:

Si $\tau > \tau^*$, se rechaza H_0 y se dice que la serie es estacionaria.

Por tanto, la serie es estacionaria hasta el lag 2.

Resultados del modelo Mundial ARIMA.

Figura 70

Modelo log ARIMA

ARIMA regression						
Sample: 590 - 755			Number of obs		= 166	
Log likelihood = 18.18214			Wald chi2(7)		= 281.16	
			Prob > chi2		= 0.0000	
D.Lc38		OPG				
		Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
Lc38						
Lc40						
D1.		-.6536123	.0765147	-8.54	0.000	-.8035783 -.5036462
Lc72						
D1.		.0989158	.0397456	2.49	0.013	.021016 .1768157
Lc81						
LD.		.1205252	.0430642	2.80	0.005	.0361209 .2049296
Lc49						
D1.		-.0830068	.0467235	-1.78	0.076	-.1745832 .0085697
Lc92						
D1.		.051975	.0258898	2.01	0.045	.001232 .102718
_cons		.0159225	.0105334	1.51	0.131	-.0047226 .0365675
ARMA						
ar						
L1.		-.6063305	.0841727	-7.20	0.000	-.7713059 -.4413551
L2.		-.2450006	.0842728	-2.91	0.004	-.4101723 -.0798289
/sigma		.2166103	.0108964	19.88	0.000	.1952537 .2379668

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 71

Matriz de varianza y covarianza modelo log ARIMA

Covariance matrix of coefficients of arima model										
	Lc38							ARMA		sigma
e (V)	D. Lc40	D. Lc72	LD. Lc81	D. Lc49	D. Lc92	_cons		L. ar	L2. ar	_cons
Lc38										
D.Lc40	.0058545									
D.Lc72	-.00084048	.00157971								
LD.Lc81	.00016752	-.0005973	.00185453							
D.Lc49	.00169773	.00005092	.00025734	.00218309						
D.Lc92	-.00035347	-.00009184	.00028197	-.00023626	.00067028					
_cons	-.00014016	.00004517	-.00006624	.00004342	-.00006778	.00011095				
ARMA										
L.ar	-.00314967	.00004878	-.00008155	-.00035626	.00015128	-.00004702	.00708504			
L2.ar	-.00195677	-.00054995	.00039218	-.00031728	.00006443	.00013281	.00419558	.00710191		
sigma										
_cons	.00014669	.00010986	-.00008519	.0002357	-.0000719	.0000218	-.00008569	-9.455e-06	.00011873	

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 72

test ruido blanco Ljung-Box modelo log ARIMA

Portmanteau test for white noise	
Portmanteau (Q) statistic =	23.2859
Prob > chi2(40) =	0.9839

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 73

test de Dickey Fuller modelo log ARIMA

```
. dfgls res1
```

DF-GLS for res1

Number of obs = 152

Maxlag = 13 chosen by Schwert criterion

[lags]	DF-GLS tau Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
13	-2.063	-3.501	-2.796	-2.520
12	-2.077	-3.501	-2.813	-2.535
11	-2.058	-3.501	-2.829	-2.550
10	-1.964	-3.501	-2.844	-2.565
9	-1.965	-3.501	-2.860	-2.579
8	-1.981	-3.501	-2.874	-2.592
7	-2.052	-3.501	-2.888	-2.605
6	-2.137	-3.501	-2.901	-2.617
5	-2.585	-3.501	-2.914	-2.629
4	-3.105	-3.501	-2.926	-2.640
3	-3.624	-3.501	-2.937	-2.650
2	-4.941	-3.501	-2.948	-2.659
1	-6.355	-3.501	-2.958	-2.668

Opt Lag (Ng-Perron seq t) = 11 with RMSE .2133545

Min SC = -2.762736 at lag 3 with RMSE .2351641

Min MAIC = -2.776241 at lag 11 with RMSE .2133545

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Test ARIMA para la demanda mundial:

Todas las variables resultan ser significativas $p \geq 0,05$ a excepción de Lc49 con 0,076, no obstante, el modelo en si es significativo dado que para la prueba de Wald $281,16 > \chi^2(7) = 14,06714$ se cumple.

Portmanteau o de Ljung-Box:

La hipótesis nula:

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \rho_3 \dots \rho_k = 0 \text{ Vs } H_1: \text{Existe } \rho_1 \neq 0$$

Para verificar: Estadístico LB:

$$\text{Si } LB > \chi^2(m), \text{ se rechaza } H_0$$

En este caso como LB o Q = 23,2859 y $\chi^2(40) = 55,76$, entonces $Q < \chi^2(40)$ se acepta H_0 , por tanto, la serie es estacionaria, es ruido blanco.

Test Dickey Fuller:

La hipótesis nula:

$$H_0: \delta = 0 \text{ vs } H_1: \delta \neq 0$$

Para verificar:

$$\text{Si } \tau > \tau^*, \text{ se rechaza } H_0 \text{ y se dice que la serie es estacionaria.}$$

Por tanto, la serie es estacionaria hasta el lag 4.

Imágenes de salidas de Stata para demanda de Chile.

Resultados de modelo Chile [1] Log MCO.

Figura 74

Modelo Log MCO

Source	SS	df	MS	
Model	39.6602042	5	7.93204084	
Residual	15.8458078	162	.097813628	
Total	55.506012	167	.332371329	

Number of obs =	168
F(5, 162) =	81.09
Prob > F =	0.0000
R-squared =	0.7145
Adj R-squared =	0.7057
Root MSE =	.31275

Lc4	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
Lc43	-.2160102	.1061735	-2.03	0.044	-.4256726 -.0063478
Lc61	.1975091	.0842965	2.34	0.020	.0310474 .3639707
Lc94	-.0528844	.0238911	-2.21	0.028	-.1000626 -.0057061
Lc75	.2714154	.0438277	6.19	0.000	.1848682 .3579626
Lc71	.1239979	.0251244	4.94	0.000	.0743844 .1736114
_cons	8.44513	.6786327	12.44	0.000	7.105023 9.785236

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 75

Matriz varianza y covarianza modelo log MCO

Covariance matrix of coefficients of regress model						
e (V)	Lc43	Lc61	Lc94	Lc75	Lc71	_cons
Lc43	.01127281					
Lc61	-.00121931	.0071059				
Lc94	-.00009959	-.00101132	.00057079			
Lc75	.00068428	.00017289	-.00028869	.00192086		
Lc71	.00103739	-.00055855	.00035907	-.00058566	.00063123	
_cons	-.01590231	-.02360049	.00310073	-.02475115	.0035589	.46054229

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 76

Test VIF modelo log MCO

. vif		
Variable	VIF	1/VIF
Lc71	3.74	0.267555
Lc94	2.56	0.391317
Lc43	1.95	0.512490
Lc75	1.90	0.525231
Lc61	1.43	0.701046
Mean VIF	2.31	

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 77

White test modelo log MCO

```
. whitest  
White's general test statistic : 23.53676 Chi-sq(20) P-value = .2632
```

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Ilustración 1

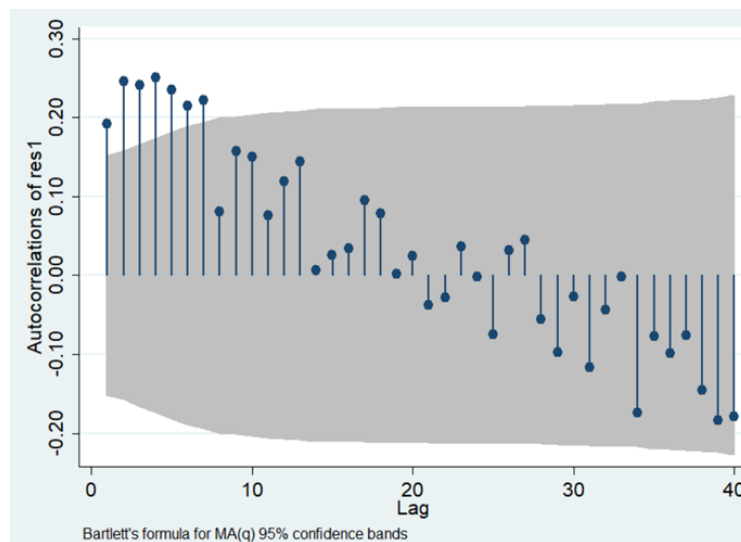
test Durbin Watson modelo log MCO

```
. estat dwatson  
Durbin-Watson d-statistic( 6, 168) = 1.595217
```

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 78

Correlograma modelo log MCO



Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 79

test ruido blanco Ljung-Box modelo log MCO

```
Portmanteau test for white noise
```

Portmanteau (Q) statistic =	123.6274
Prob > chi2(40) =	0.0000

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 80

test de Dickey Fuller modelo log MCO

DF-GLS for res1		Number of obs = 154		
Maxlag = 13 chosen by Schwert criterion				
[lags]	DF-GLS tau Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
13	-1.808	-3.498	-2.798	-2.521
12	-1.675	-3.498	-2.814	-2.536
11	-1.864	-3.498	-2.830	-2.551
10	-2.055	-3.498	-2.845	-2.565
9	-1.996	-3.498	-2.860	-2.579
8	-2.201	-3.498	-2.874	-2.592
7	-2.309	-3.498	-2.888	-2.605
6	-2.243	-3.498	-2.901	-2.617
5	-2.495	-3.498	-2.913	-2.628
4	-2.889	-3.498	-2.925	-2.639
3	-3.438	-3.498	-2.936	-2.649
2	-4.388	-3.498	-2.947	-2.658
1	-6.089	-3.498	-2.956	-2.667
Opt Lag (Ng-Perron seq t) = 3 with RMSE .2845448				
Min SC = -2.384761 at lag 2 with RMSE .2889673				
Min MAIC = -2.289241 at lag 12 with RMSE .2760215				

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Test para modelo chile MCO.

Test de Multicolinealidad:

Para el estudio de multicolinealidad el criterio utilizado es el de factor de inflación de la varianza Vif, si $Vif < 3$ multicolinealidad aceptable, en este caso como $Vif < 3$ multicolinealidad aceptable ya que $VIF = 2,31$ H_0 No Existe Multicolinealidad o bien Multicolinealidad aceptable.

White test:

$H_0: \sigma^2$ Es constante vs $H_1: \sigma^2$ No es constante.

Para verificar test de White

Si $nR^2 > \chi^2(p)$, se rechaza H_0

Como el Estadístico es 23,53676 y para $\chi^2(40) = 55,76$ se acepta H_0 Sigma cuadrado es constante la serie es homocedastica.

Test de Durbin Watson:

$$H_0: \rho = 0 \text{ vs } H_1: \rho \neq 0$$

Bajo la prueba de Durbin Watson (d):

$$d = 2(1 - \hat{\rho})$$

si $\hat{\rho} = 1$ perfecta autocorrelación $\Rightarrow d = 2(1 - 1) = 0$

si $\hat{\rho} = 0$ no existe autocorrelación $\Rightarrow d = 2(1 - 0) = 2$

Además:

Los valores críticos (tabla): d_L, d_u .

Si $d < d_L$ se rechaza H_0

Si $d_L < d < d_u$, la prueba es incierta

Si $d > d_u$, no se rechaza H_0

Como $d = 1,595217$ $\hat{\rho} = 0,2023915$ por tanto es más cercana a 0 existe baja autocorrelación aproximadamente 20,23%, por otro lado para K número de variables explicativas 5 y Observaciones 168 en tabla de Estadístico d de Durbin-Watson: para n 200 (valor más cercano) Du 1,735 Dl 1,613 resultado no se rechaza $H_0: \rho = 0$ $\rho < 0,5$? tenemos algo de correlación Recordar que ρ es el coeficiente de correlación estimado existe un 20,23% de correlación.

Test ruido blanco.

Portmanteau o de Ljung-Box:

La hipótesis nula:

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \rho_3 \dots \rho_k = 0 \text{ Vs } H_1: \text{Existe } \rho_1 \neq 0$$

Para verificar: Estadístico LB:

$$\text{Si } LB > \chi^2(m), \text{ se rechaza } H_0$$

En este caso como LB o Q = 123,6274 y $\chi^2(40) = 55,76$, entonces $Q > \chi^2(40)$ entonces se rechaza H_0 , por tanto, la serie es no estacionaria, los residuos no se comportan como ruido blanco.

Test Dickey Fuller:

La hipótesis nula:

$$H_0: \delta = 0 \text{ vs } H_1: \delta \neq 0$$

Para verificar:

$$\text{Si } \tau > \tau^*, \text{ se rechaza } H_0 \text{ y se dice que la serie es estacionaria.}$$

Por tanto, la serie es estacionaria hasta el lag 3.

Resultados del modelo Chile [2] Log MC2E.

Figura 81

Modelo log MCO original

. regress Lc4 Lc6 Lc41 Lc72 Lc78					
Source	SS	df	MS	Number of obs = 168	
Model	42.3904815	4	10.5976204	F(4, 163) = 131.71	
Residual	13.1155306	163	.080463378	Prob > F = 0.0000	
Total	55.506012	167	.332371329	R-squared = 0.7637	
				Adj R-squared = 0.7579	
				Root MSE = .28366	
Lc4	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
Lc6	.113318	.0504635	2.25	0.026	.0136717 .2129644
Lc41	.1273446	.0269172	4.73	0.000	.0741933 .180496
Lc72	.2679651	.027978	9.58	0.000	.212719 .3232112
Lc78	-.1685826	.0877852	-1.92	0.057	-.3419255 .0047602
_cons	11.836	1.706843	6.93	0.000	8.465625 15.20637

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Ilustración 2

Modelo log MC2E

Instrumental variables (2SLS) regression				Number of obs = 142	
				Wald chi2(4) = 521.40	
				Prob > chi2 = 0.0000	
				R-squared = 0.7851	
				Root MSE = .28194	
Lc4	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
Lc6	.1958023	.0738169	2.65	0.008	.0511238 .3404807
Lc41	.1034198	.0307851	3.36	0.001	.0430822 .1637574
Lc72	.2745703	.0306075	8.97	0.000	.2145807 .3345599
Lc78	-.2190012	.0989161	-2.21	0.027	-.4128732 -.0251291
_cons	12.9898	1.881174	6.91	0.000	9.302767 16.67683
Instrumented: Lc6					
Instruments: Lc41 Lc72 Lc78 Lc70 Lc60 Lc97					

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

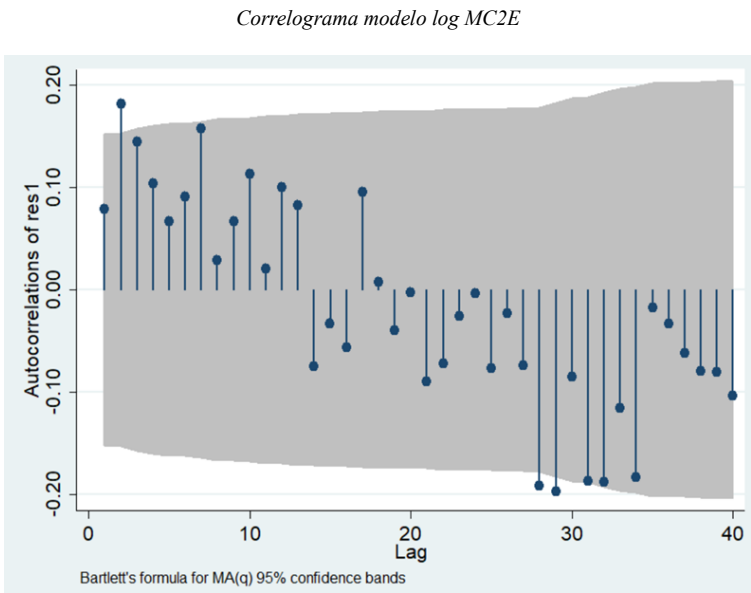
Figura 82

Matriz de varianzas y covarianzas modelo log MC2E

Covariance matrix of coefficients of ivregress model					
e (V)	Lc6	Lc41	Lc72	Lc78	_cons
Lc6	.00544893				
Lc41	-.00130526	.00094772			
Lc72	-.00055708	-.00041316	.00093682		
Lc78	.00032125	.0013974	-.00225262	.0097844	
_cons	.0158539	-.03516073	.03732559	-.18082392	3.5388155

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 83



Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 84

test ruido blanco Ljung-Box modelo log MC2E

Portmanteau test for white noise		
Portmanteau (Q) statistic =	81.9992	
Prob > chi2(40)	= 0.0001	

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 85

test de Dickey Fuller modelo log MC2E

DF-GLS for res1			Number of obs = 154	
Maxlag = 13 chosen by Schwert criterion				
[lags]	DF-GLS tau Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
13	-2.235	-3.498	-2.798	-2.521
12	-1.988	-3.498	-2.814	-2.536
11	-2.114	-3.498	-2.830	-2.551
10	-2.364	-3.498	-2.845	-2.565
9	-2.336	-3.498	-2.860	-2.579
8	-2.651	-3.498	-2.874	-2.592
7	-2.772	-3.498	-2.888	-2.605
6	-2.869	-3.498	-2.901	-2.617
5	-3.430	-3.498	-2.913	-2.628
4	-3.898	-3.498	-2.925	-2.639
3	-4.261	-3.498	-2.936	-2.649
2	-5.052	-3.498	-2.947	-2.658
1	-6.777	-3.498	-2.956	-2.667
Opt Lag (Ng-Perron seq t) = 13 with RMSE .2664907				
Min SC = -2.480615 at lag 1 with RMSE .2799862				
Min MAIC = -2.212466 at lag 12 with RMSE .2691006				

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Test para modelo de Chile MC2E.

Test de Multicolinealidad:

En el modelo MC2E o 2SLS, la primera etapa del modelo implica la estimación de la variable endógena utilizando variables instrumentales. Estas variables instrumentales son seleccionadas para resolver el problema de endogeneidad, en ese contexto, no se espera que haya multicolinealidad entre las variables instrumentales y las variables endógenas, dado que las instrumentales deben ser independientes del error y no estar correlacionadas con las variables endógenas.

White test:

$H_0: \sigma^2$ Es constante vs $H_1: \sigma^2$ No es constante.

Para verificar test de White

Si $nR^2 > \chi^2(p)$, se rechaza H_0

Como el Estadístico es = 16,74681 y para $\chi^2(20) = 31,41$ se acepta H_0 la serie es homocedastica.

Test ruido blanco:

Portmanteau o de Ljung-Box:

La hipótesis nula:

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \rho_3 \dots \rho_k = 0 \text{ Vs } H_1: \text{Existe } \rho_1 \neq 0$$

Para verificar: Estadístico LB:

Si $LB > \chi^2(m)$, se rechaza H_0

En este caso como LB o Q = 81,9992 y $\chi^2(40) = 55,76$, entonces $Q > \chi^2(40)$ se rechaza H_0 , por tanto, la serie es no estacionaria, no es ruido blanco.

Test Dickey Fuller:

La hipótesis nula:

$$H_0: \delta = 0 \text{ vs } H_1: \delta \neq 0$$

Para verificar:

Si $\tau > \tau^*$, se rechaza H_0 y se dice que la serie es estacionaria.

Por tanto, la serie es estacionaria hasta el lag 2.

Resultados de modelo ARIMA.

Figura 86

Modelo ARIMA (1,0,0)

ARIMA regression							
Sample: 684 - 755				Number of obs		=	72
Log likelihood = 3.634384				Wald chi2(5)		=	207.08
				Prob > chi2		=	0.0000
	Lc4	OPG		z	P> z	[95% Conf. Interval]	
		Coef.	Std. Err.				
Lc4							
	Lc43	-.5783544	.15189	-3.81	0.000	-.8760534	-.2806554
	Lc72	.2993569	.0538342	5.56	0.000	.1938438	.40487
	Lc56	.1675653	.0856038	1.96	0.050	-.0002152	.3353457
	Lc89	-.6183883	.2587802	-2.39	0.017	-1.125588	-.1111884
	_cons	21.19161	6.156512	3.44	0.001	9.125065	33.25815
ARMA							
	ar						
	L1.	-.1596519	.1411245	-1.13	0.258	-.4362509	.1169472
	/sigma	.2300189	.0202278	11.37	0.000	.1903732	.2696646

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 87

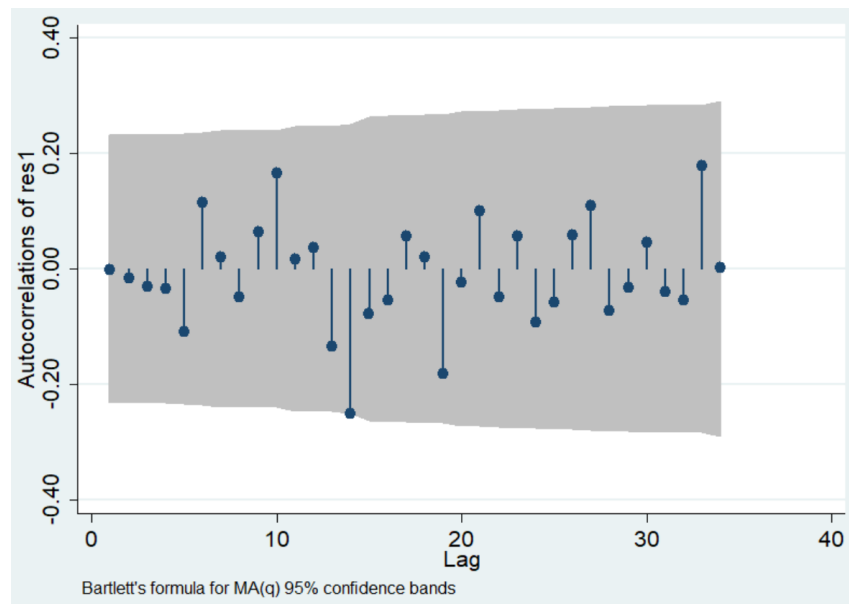
Matriz de varianzas y covarianzas modelo ARIMA

Covariance matrix of coefficients of arima model							
		Lc4					
	e (V)	Lc43	Lc72	Lc56	Lc89	_cons	
Lc4							
	Lc43	.02307058					
	Lc72	.00093757	.00289812				
	Lc56	-.00566679	.00027458	.00732802			
	Lc89	.00428695	.01152878	.00191043	.0669672		
	_cons	-.03015388	-.28519299	-.12214943	-1.5700446	37.902644	
ARMA							
	L.ar	-.00116467	.00030675	.00165963	.00101754	-.04436538	.01991614
sigma							
	_cons	.00024322	-.00024297	-.00012351	-.00072832	.02030913	.00034786
							.00040916

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 88

Correlograma modelo ARIMA



Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 89

test ruido blanco Ljung-Box modelo ARIMA

```
. wntestq res1
```

Portmanteau test for white noise

Portmanteau (Q) statistic =	27.8877
Prob > chi2(34) =	0.7608

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 90

test Dickey Fuller modelo ARIMA

DF-GLS for `res1` Number of obs = 60
Maxlag = 11 chosen by Schwert criterion

[lags]	DF-GLS tau Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
11	-1.328	-3.686	-2.708	-2.431
10	-1.410	-3.686	-2.753	-2.476
9	-1.542	-3.686	-2.798	-2.521
8	-1.891	-3.686	-2.844	-2.566
7	-2.138	-3.686	-2.890	-2.610
6	-2.235	-3.686	-2.935	-2.652
5	-2.534	-3.686	-2.978	-2.692
4	-3.290	-3.686	-3.018	-2.730
3	-3.466	-3.686	-3.056	-2.764
2	-4.012	-3.686	-3.089	-2.795
1	-4.954	-3.686	-3.118	-2.821

Opt Lag (Ng-Perron seq t) = 0 [use maxlag(0)]
Min SC = -2.718559 at lag 1 with RMSE .2399035
Min MAIC = -2.039259 at lag 11 with RMSE .2285779

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Figura 91

test de Phillips Perron modelo Arima

Phillips-Perron test for unit root Number of obs = 71
Newey-West lags = 3

	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(rho)	-70.368	-19.278	-13.468	-10.826
Z(t)	-8.361	-3.551	-2.913	-2.592

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

Nota. Fuente elaboración propia imagen de Stata

Test para modelo ARIMA.

Todas las variables resultan ser significativas $p \geq 0,05$, el modelo en si es significativo dado que para la prueba de Wald $207,08 > \chi^2(5) = 11,07049$ se cumple.

Portmanteau o de Ljung-Box:

La hipótesis nula:

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \rho_3 \dots \rho_k = 0 \text{ Vs } H_1: \text{Existe } \rho_1 \neq 0$$

Para verificar: Estadístico LB:

$$\text{Si } LB > \chi^2(m), \text{ se rechaza } H_0$$

En este caso como LB o Q = 27,8877 y $\chi^2(40) = 55,76$, entonces $Q < \chi^2(40)$ se acepta H_0 , por tanto, la serie es estacionaria, es ruido blanco.

Test Dickey Fuller:

La hipótesis nula:

$$H_0: \delta = 0 \text{ vs } H_1: \delta \neq 0$$

Para verificar:

$$\text{Si } \tau > \tau^*, \text{ se rechaza } H_0 \text{ y se dice que la serie es estacionaria.}$$

Por tanto, la serie es estacionaria hasta el lag 4.

9.2 Anexo B

Costos de producción con el modelo por defecto

Tabla 37

Costos de materiales de una celda

Unit Cell Materials Cost		
Positive Electrode, \$/kg	Price	p-factor
Active material, \$/kg	\$30.50	1
Conductive additive, \$/kg	\$7.00	1
Binder, \$/kg	\$15.00	1
Binder solvent, \$/kg	\$2.70	1
Negative electrode material, \$/kg		
Active material, \$/kg	\$9.00	1
Conductive additive, \$/kg	\$7.00	1
Binder, \$/kg	\$10.00	1
Binder solvent, \$/kg	\$0.00	1
Additional Components		
Positive current collector foil, \$/m ²	\$0.20	1
Negative current collector foil, \$/m ²	\$1.20	1
Separators, \$/m ²	\$0.90	1
Electrolyte, \$/L	\$9.00	1

Nota. Tomado de (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 38

Costos de materiales comprados

Purchased Materials Costs			
Baseline			
Cell	Material	Cost per	Plus Cost
		Mass, \$/kg	per Cell*, \$
Positive terminal	Al	2,41	0,080
Negative terminal	Cu	8,64	0,08
Cell Container	PET-Al-PP	3,00	0,20
Heat conductor	Al	2,41	0,15
*Scale exponent for "plus cost," p (default = 0.85)			0,85
Module		Cost per	Cost per Module
		Parallel Unit, \$	Capacity, \$/Ah
Module management system, MMS		2,00	0,03
	Material	Cost per	Plus Cost
		Mass, \$/kg	per Item*, \$
Cell interconnect	Cu	8,72	0,04
Interconnect panel	PP	2,30	0,20
Module terminal	Cu	8,64	0,18
Module enclosure materials	Steel	2,40	1,50
Provision for gas release, \$/module		0,00	0,50
Pack			
Row rack	Steel	1,33	1,00
Pads between modules	Elastomer	1,50	0,20
Module Interconnects	Copper	8,84	0,40
Bus bars	Copper	8,68	0,60
Cooling panels	Stainless Steel	2,80	0,50
Coolant manifolds	Stainless Steel	8,00	1,00
Pack terminals and seals	Copper	8,88	0,75
Pack support frame	Steel	1,33	1,00
Pack jacket (top & interior base)	Aluminum	3,16	3,00
Pack jacket (exterior base)	Steel	1,38	3,00
Pack jacket insulation, \$/m ²	3,00		
*Scale exponent for "plus cost" (p) (default = 0.85)			0,85

Nota. Tomado de (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 39

Ratios y costos de manufactura

Cost Rates for Manufacturing and Cost Breakdowns	
Cost Rates for Manufacturing	
Effective full days of operation per year (default = 320)	320
Investment Costs	
Cost of land and building (default = 1000), \$/m ²	1000
Indirect costs (default = 15), % of CapEx, land, and building	15
Launch cost rates	
Percent of direct annual materials and purch. items cost (default = 5), %	5
Percent of direct labor, energy, and variable overhead (default = 10), %	10
Working capital, percent of annual variable cost (default = 15), %	15
Unit Cost of Battery Pack	
Variable Cost	
Direct labor rate (default = 25), \$/hr	25
Price of energy (default = 0.04) \$/kWh	0.04
Variable overhead rate	
% of direct labor (default = 40)	40
% of fixed capital investment (default = 2)	2
Fixed Expenses	
General, Sales, Administration rates	
Percent of direct labor plus variable overhead (default = 25), %	25
Percent of fixed capital investment (default = 0.75), %	0.75
Research and development rate (default = 35), % of depreciation	35
Depreciation rates (straight line depreciation)	
Lifetime of manufacturing capital equipment (default = 10), years	10
Lifetime of building capital equipment (default = 15), years	15
Percent of capital equipment investment, %	8.7
Lifetime of building and land investment (default = 20), years	20
Percent of building investment (default = 5), %	5
Financing (default = 0.75), % of total capital investment	0.75
Cell profits (default = 5), % of investment	5
Cell warranty cost (default = 5.6), % of cell cost added to price	5.6
Pack profits (default = 5), % of investment	5
Pack warranty costs (default = 5.6), % of pack cost added to price	5.6
Multipliers for Overhead to Basic Costs for Pack	
	Multiplier
Materials and purchased items	1.068
Direct labor	1.866
Capital equipment	0.234
Building and land	0.181
Energy	1.071

Nota. Tomado de (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 40

Costos de ensamblado de la bateria linea base

Battery Assembly Costs (baseline reference)		
Operation	Baseline	p
Plant		
Electrode Processing		
Materials preparation and delivery to coating		
<i>Positive materials</i>		
Pertinent volume: volume of positive slurry/year		
Direct labor, hours/year	210.000	0.90
Capital equipment, million\$	152.0	0.90
Plant area, m ²	8.600	0.95
Operating Power, kW	6.700	0.95
<i>Negative materials</i>		
Pertinent volume: volume of positive slurry/year		
Direct labor, hours/year	220.000	0.90
Capital equipment, million\$	166.5	0.90
Plant area, m ²	8.800	0.95
Operating Power, kW	7.900	0.95
Electrode coating		
<i>Positive materials</i>		
Pertinent volume: positive electrode area/year		
Solvent evaporated, kg/m ² yr	0.0799	0.20
Direct labor, hours/year	59.000	0.70
Capital equipment, million\$	76.1	0.90
Plant area, m ²	16.000	0.95
Coater & dryer power, kW	7.200	0.95
Power to heat air, kW	20.482	
<i>Negative materials</i>		
Pertinent volume: negative electrode area/year		
Solvent evaporated, kg/m ² yr	0.1340	0.20
Direct labor, hours/year	59.000	0.70
Capital equipment, million\$	71.6	0.90
Plant area, m ²	16.000	0.95
Coater & dryer power, kW	7.200	0.95
Power to heat air, kW	4.121	

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 41

Costos de ensamblado de la batería línea base

Battery Assembly Costs (baseline reference)		
Operation	Baseline	p
Plant		
Electrode Processing		
<u>Calendering</u>		
<i>Positive materials</i>		
Pertinent volume: positive electrode area/year		
Direct labor, hours/year	47.000	0,70
Capital equipment, millions\$	22,3	0,90
Plant area, m ²	2.100	0,95
Operating Power, kW	900	0,95
<i>Negative materials</i>		
Pertinent volume: negative electrode area/year		
Direct labor, hours/year	53.000	0,70
Capital equipment, millions\$	22,3	0,90
Plant area, m ²	2.100	0,95
Operating Power, kW	350	0,95
<u>Notching</u>		
<i>Positive materials</i>		
Pertinent volume: positive electrode area/year		
Direct labor, hours/year	250.000	0,70
Capital equipment, millions\$	26,4	0,90
Plant area, m ²	3.200	0,95
Operating Power, kW	1.600	0,95
<i>Negative materials</i>		
Pertinent volume: negative electrode area/year		
Direct labor, hours/year	250.000	0,70
Capital equipment, millions\$	26,4	0,90
Plant area, m ²	3.200	0,95
Operating Power, kW	1.700	0,95

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 42

Costos de ensamblado de la batería línea base

Battery Assembly Costs (baseline reference)		
Operation	Baseline	p
Plant		
<u>Vacuum Drying of Electrodes</u>		
<i>Positive materials</i>		
Pertinent volume: positive electrode area/year		
Direct labor, hours/year	41.000	0,70
Capital equipment, millions\$	13,6	0,90
Plant area, m ²	1.800	0,95
Operating Power, kW	2.600	0,85
<i>Negative materials</i>		
Pertinent volume: negative electrode area/year		
Direct labor, hours/year	35.000	0,70
Capital equipment, millions\$	10,7	0,90
Plant area, m ²	1.400	0,95
Operating Power, kW	2.200	0,85

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 43

Costos de ensamblado de la batería línea base

Battery Assembly Costs (baseline reference)		
Operation	Baseline Plant	p
Cell Assembly in Dry Room		
<u>Electrode Slitting (positive and negative)</u>		
Pertinent volume: total electrode area/year		
Direct labor, hours/year	260.000	0,70
Capital equipment, million\$	67.9	0,90
Plant area, m²	7.700	0,95
Operating Power, kW	1.700	0,95
<u>Cell stacking</u>		
Pertinent volume: number of cells/year		
Baseline Cell Capacity, Ah	68.0	0,95
Direct labor, hours/year	700.000	0,90
Capital equipment, million\$	164.9	0,90
Plant area, m²	15.000	0,95
Operating Power, kW	4.800	0,95
<u>Current collector welding</u>		
Pertinent volume: number of cells/year		
Direct labor, hours/year	180.000	0,90
Capital equipment, million\$	179.6	0,90
Plant area, m²	3.700	0,95
Operating Power, kW	1.800	0,95
<u>X-ray inspection</u>		
Pertinent volume: number of cells/year		
Direct labor, hours/year	180.000	0,90
Capital equipment, million\$	13.0	0,90
Plant area, m²	4.600	0,95
Operating Power, kW	400	0,95
<u>Inserting cell in container</u>		
Pertinent volume: number of cells/year		
Direct labor, hours/year	49.000	0,90
Capital equipment, million\$	10.5	0,90
Plant area, m²	4.700	0,95
Operating Power, kW	1.000	0,95
<u>Electrolyte filling and cell sealing</u>		
Pertinent volume: number of cells/year		
Direct labor, hours/year	130.000	0,90
Capital equipment, million\$	23.8	0,90
Plant area, m²	11.000	0,95
Operating Power, kW	2.400	0,95
<u>Dry room airlock and control system</u>		
Pertinent volume: total electrode area/year or number of cells/year		
Direct labor, hours/year	10.000	0,00
Capital equipment, million\$	6.9	0,90
Plant area, m²	700	0,95
Operating Power, kW	300	0,95

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 44

Costos de ensamblado de la batería línea base

Battery Assembly Costs (baseline reference)		
Operation	Baseline Plant	p
Formation Cycling, Testing, and Cell Sealing		
<u>Total formation process</u>		
Pertinent volume: number of cells/year		
Baseline Cell Capacity, Ah	68.0	0.30
Direct labor, hours/year	560.000	0.70
Capital equipment, million\$	763.6	0.95
Plant area, m ²	110.000	0.95
Operating Power, kW	72.000	1.00
Module and Pack Assembly		
<u>Module assembly</u>		
Pertinent volume: number of modules/year		
Number of cells per module	20.0	0.30
Direct labor, hours/year	170.000	0.70
Capital equipment, million\$	101.2	0.95
Plant area, m ²	27.000	0.95
Operating Power, kW	3.100	0.80
<u>Battery Pack Assembly and Testing</u>		
Pertinent volume: number of packs/year		
Number of modules per pack	20	0.30
Direct labor, hours/year	170.000	0.70
Capital equipment, million\$	86.5	0.95
Plant area, m ²	27.000	0.95
Operating Power, kW	2.700	0.80
Warehouse		
<u>Cell Warehouse & Storage</u>		
Pertinent volume: energy/year		
Direct labor, hours/year	13.000	0.70
Capital equipment, million\$	170.0	0.95
Plant area, m ²	10.000	0.95
Operating Power, kW	7.700	1.00

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 45

Costos de ensamblado de la batería línea base

Battery Assembly Costs (baseline reference)		
Operation	Baseline Plant	p
Building and Supporting Systems		
<u>Solvent recovery</u>		
Pertinent volume: NMP mass/year		
Direct labor, hours/year	14.000	0.70
Capital equipment, million\$	24.7	0.95
Plant area, m ²	900	0.95
Operating Power, kW	800	0.70
<u>Rejected Cell and Scrap Recycle</u>		
Pertinent volume: number of cells/year		
Direct labor, hours/year	38.000	0.70
Capital equipment, million\$	7.9	0.90
Plant area, m ²	3.300	0.95
Operating Power, kW	3.400	1.00
<u>Control laboratory</u>		
Pertinent volume: energy/year		
Direct labor, hours/year	48.000	0.70
Capital equipment, million\$	13.6	0.95
Plant area, m ²	1.300	0.95
Operating Power, kW	20	1.00
<u>Building Systems</u>		
<u>Additions for dry room</u>		
Pertinent volume: dry room area		
Direct labor, hours/year	-	-
Capital equipment, million\$	451	0.95
Plant area, m ²	-	-
Operating Power, kW	29.000	0.95
<u>Cooling system</u>		
Pertinent volume: process operating power		
Baseline process operating power, kW	221.073	
Direct labor, hours/year	-	-
Capital equipment, million\$	510	0.95
Plant area, m ²	-	-
Operating Power, kW	29.000	0.95
<u>Other building systems (cells)</u>		
Pertinent volume: energy/year		
Direct labor, hours/year	-	-
Capital equipment, million\$	468	0.95
Plant area, m ²	-	-
Operating Power, kW	27.000	0.95

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 46

línea base de manufactura

Baseline Manufacturing Rates	
Effective full days of operation per year	320
Number of 8-hr shifts per day (2 for shipping and receiving)	3
Number of annual 8-h shifts	960
Pack Energy, kWh per year	50.000.000
Number of battery packs manufactured per year	500.000
Number of row racks per year	2.000.000
Number of modules per year	10.000.000
Number of cell interconnects per year	270.000.000
Cell energy, kWh per year	50.000.000
Number of accepted cells per year	200.000.000
Number of cells adjusted for yield	211.000.000
Positive electrode area, m ² per year	303.000.000
Negative electrode area, m ² per year	315.000.000
Positive slurry volume, L per year	40.700.000
Negative slurry volume, L per year	65.000.000
Positive binder solvent evaporated, kg per year	24.200.000
Negative binder solvent evaporated, kg per year	42.200.000
Dry room area, m ²	47.400

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Costos de producción con el modelo para Chile

Tabla 47

Costos de materiales de una celda

Unit Cell Materials Cost		
Positive Electrode, \$/kg	Price	p-factor
Active material, \$/kg	\$26.91	1
Conductive additive, \$/kg	\$7.00	1
Binder, \$/kg	\$15.00	1
Binder solvent, \$/kg	\$2.70	1
Negative electrode material, \$/kg		
Active material, \$/kg	\$9.00	1
Conductive additive, \$/kg	\$7.00	1
Binder, \$/kg	\$10.00	1
Binder solvent, \$/kg	\$0.00	1
Additional Components		
Positive current collector foil, \$/m ²	\$0.20	1
Negative current collector foil, \$/m ²	\$1.20	1
Separators, \$/m ²	\$0.90	1
Electrolyte, \$/L	\$9.00	1

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 48

Costos de materiales comprados

Purchased Materials Costs			
Cell	Material	Baseline	
		Cost per Mass, \$/kg	Plus Cost per Cell", \$
Positive terminal	Al	2.41	0.080
Negative terminal	Cu	8.64	0.08
Cell Container	PET-Al-PP	3.00	0.20
Heat conductor	Al	2.41	0.15
*Scale exponent for "plus cost," p (default = 0.85)			0.85
Module		Cost per Parallel Unit, \$	Cost per Module Capacity, \$/Ah
		2.00	0.03
Module management system, MMS			
	Material	Cost per Mass, \$/kg	Plus Cost per Item", \$
Cell interconnect	Cu	8.72	0.04
Interconnect panel	PP	2.30	0.20
Module terminal	Cu	8.64	0.18
Module enclosure materials	Steel	2.40	1.50
Provision for gas release, \$/module		0.00	0.50
Pack			
Row rack	Steel	1.33	1.00
Pads between modules	Elastomer	1.50	0.20
Module interconnects	Copper	8.84	0.40
Bus bars	Copper	8.68	0.60
Cooling panels	Stainless Steel	2.80	0.50
Coolant manifolds	Stainless Steel	8.00	1.00
Pack terminals and seals	Copper	8.88	0.75
Pack support frame	Steel	1.33	1.00
Pack jacket (top & interior base)	Aluminum	3.16	3.00
Pack jacket (exterior base)	Steel	1.38	3.00
Pack jacket insulation, \$/m ²	3.00		
*Scale exponent for "plus cost" (p) (default = 0.85)			0.85

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 49

Ratios y costos de manufactura

Cost Rates for Manufacturing and Cost Breakdowns	
Cost Rates for Manufacturing	
Effective full days of operation per year (default = 320)	320
Investment Costs	
Cost of land and building (default = 1000), \$/m ²	1000
Indirect costs (default = 15), % of CapEx, land, and building	15
Launch cost rates	
Percent of direct annual materials and purch. items cost (default = 5), %	5
Percent of direct labor, energy, and variable overhead (default = 10), %	10
Working capital, percent of annual variable cost (default = 15), %	15
Unit Cost of Battery Pack	
Variable Cost	
Direct labor rate (default = 25), \$/hr	10
Price of energy (default = 0.04) \$/kWh	0,035
Variable overhead rate	
% of direct labor (default = 40)	40
% of fixed capital investment (default = 2)	2
Fixed Expenses	
General, Sales, Administration rates	
Percent of direct labor plus variable overhead (default = 25), %	25
Percent of fixed capital investment (default = 0.75), %	0.75
Research and development rate (default = 35), % of depreciation	35
Depreciation rates (straight line depreciation)	
Lifetime of manufacturing capital equipment (default = 10), years	10
Lifetime of building capital equipment (default = 15), years	15
Percent of capital equipment investment, %	8.7
Lifetime of building and land investment (default = 20), years	20
Percent of building investment (default = 5), %	5
Financing (default = 0.75), % of total capital investment	0.75
Cell profits (default = 5), % of investment	5
Cell warranty cost (default = 5.6), % of cell cost added to price	5.6
Pack profits (default = 5), % of investment	5
Pack warranty costs (default = 5.6), % of pack cost added to price	5.6

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 50

Costos de ensamblado de la batería línea base

Battery Assembly Costs (baseline reference)		
Operation	Baseline	p
Electrode Processing		
Materials preparation and delivery to coating		
<i>Positive materials</i>		
Pertinent volume: volume of positive slurry/year		
Direct labor, hours/year	210.000	0.90
Capital equipment, million\$	152.0	0.90
Plant area, m ²	8.600	0.95
Operating Power, kW	6.700	0.95
<i>Negative materials</i>		
Pertinent volume: volume of positive slurry/year		
Direct labor, hours/year	220.000	0.90
Capital equipment, million\$	166.5	0.90
Plant area, m ²	8.800	0.95
Operating Power, kW	7.900	0.95
Electrode coating		
<i>Positive materials</i>		
Pertinent volume: positive electrode area/year		
Solvent evaporated, kg/m ² yr	0.0799	0.20
Direct labor, hours/year	59.000	0.70
Capital equipment, million\$	76.1	0.90
Plant area, m ²	16.000	0.95
Coater & dryer power, kW	7.200	0.95
Power to heat air, kW	20.482	
<i>Negative materials</i>		
Pertinent volume: negative electrode area/year		
Solvent evaporated, kg/m ² yr	0.1340	0.20
Direct labor, hours/year	59.000	0.70
Capital equipment, million\$	71.6	0.90
Plant area, m ²	16.000	0.95
Coater & dryer power, kW	7.200	0.95
Power to heat air, kW	4.121	

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 51

Costos de ensamblado de la batería línea base

Battery Assembly Costs (baseline reference)		
Operation	Baseline Plant	p
Electrode Processing		
<u>Vacuum Drying of Electrodes</u>		
<i>Positive materials</i>		
Pertinent volume: positive electrode area/year		
Direct labor, hours/year	41 000	0.70
Capital equipment, million\$	13.6	0.90
Plant area, m ²	1 800	0.95
Operating Power, kW	2 600	0.85
<i>Negative materials</i>		
Pertinent volume: negative electrode area/year		
Direct labor, hours/year	35 000	0.70
Capital equipment, million\$	10.7	0.90
Plant area, m ²	1 400	0.95
Operating Power, kW	2 200	0.85

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 52

Costos de ensamblado de la batería línea base

Battery Assembly Costs (baseline reference)		
Operation	Baseline Plant	p
Cell Assembly in Dry Room		
<u>Electrode Slitting (positive and negative)</u>		
Pertinent volume: total electrode area/year		
Direct labor, hours/year	260 000	0.70
Capital equipment, million\$	67.9	0.90
Plant area, m ²	7 700	0.95
Operating Power, kW	1 700	0.95
<u>Cell stacking</u>		
Pertinent volume: number of cell/year		
Baseline Cell Capacity, Ah	69.0	0.95
Direct labor, hours/year	700 000	0.90
Capital equipment, million\$	164.9	0.90
Plant area, m ²	15 000	0.95
Operating Power, kW	4 800	0.95
<u>Current collector welding</u>		
Pertinent volume: number of cell/year		
Direct labor, hours/year	180 000	0.90
Capital equipment, million\$	179.6	0.90
Plant area, m ²	3 700	0.95
Operating Power, kW	1 800	0.95
<u>X-ray inspection</u>		
Pertinent volume: number of cell/year		
Direct labor, hours/year	180 000	0.90
Capital equipment, million\$	13.0	0.90
Plant area, m ²	4 600	0.95
Operating Power, kW	400	0.95
<u>Inserting cell in container</u>		
Pertinent volume: number of cell/year		
Direct labor, hours/year	49 000	0.90
Capital equipment, million\$	10.5	0.90
Plant area, m ²	4 700	0.95
Operating Power, kW	1 000	0.95
<u>Electrolyte filling and cell sealing</u>		
Pertinent volume: number of cell/year		
Direct labor, hours/year	130 000	0.90
Capital equipment, million\$	23.8	0.90
Plant area, m ²	11 000	0.95
Operating Power, kW	2 400	0.95
<u>Dry room airtight and control system</u>		
Pertinent volume: total electrode area/year or number of cell/year		
Direct labor, hours/year	10 000	0.00
Capital equipment, million\$	6.9	0.90
Plant area, m ²	700	0.95
Operating Power, kW	300	0.95

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 53

Costos de ensamblado de la batería línea base

Battery Assembly Costs (baseline reference)		
Operation	Baseline Plant	p
Formation Cycling, Testing, and Cell Sealing		
<u>Total formation process</u>		
Pertinent volume: number of cells/year		
Baseline Cell Capacity, Ah	68.0	0.30
Direct labor, hours/year	560,000	0.70
Capital equipment, million\$	763.6	0.95
Plant area, m ²	110,000	0.95
Operating Power, kW	72,000	1.00
Module and Pack Assembly		
<u>Module assembly</u>		
Pertinent volume: number of modules/year		
Number of cells per module	20.0	0.30
Direct labor, hours/year	170,000	0.70
Capital equipment, million\$	101.2	0.95
Plant area, m ²	27,000	0.95
Operating Power, kW	3,100	0.80
<u>Battery Pack Assembly and Testing</u>		
Pertinent volume: number of packs/year		
Number of modules per pack	20	0.30
Direct labor, hours/year	170,000	0.70
Capital equipment, million\$	86.5	0.95
Plant area, m ²	27,000	0.95
Operating Power, kW	2,700	0.80
Warehouse		
<u>Cell Warehouse & Storage</u>		
Pertinent volume: energy/year		
Direct labor, hours/year	13,000	0.70
Capital equipment, million\$	170.0	0.95
Plant area, m ²	10,000	0.95
Operating Power, kW	7,700	1.00

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 54

Costos de ensamblado de la batería línea base

Battery Assembly Costs (baseline reference)		
Operation	Baseline Plant	p
Building and Supporting Systems		
<u>Solvent recovery</u>		
Pertinent volume: NMP mass/year		
Direct labor, hours/year	14,000	0.70
Capital equipment, million\$	24.7	0.95
Plant area, m ²	900	0.95
Operating Power, kW	800	0.70
<u>Rejected Cell and Scrap Recycle</u>		
Pertinent volume: number of cells/year		
Direct labor, hours/year	38,000	0.70
Capital equipment, million\$	7.9	0.90
Plant area, m ²	3,300	0.95
Operating Power, kW	3,400	1.00
<u>Control laboratory</u>		
Pertinent volume: energy/year		
Direct labor, hours/year	48,000	0.70
Capital equipment, million\$	13.6	0.95
Plant area, m ²	1,300	0.95
Operating Power, kW	20	1.00
<u>Building Systems</u>		
<u>Additions for dry room</u>		
Pertinent volume: dry room area		
Direct labor, hours/year	-	-
Capital equipment, million\$	451	0.95
Plant area, m ²	-	-
Operating Power, kW	29,000	0.95
<u>Cooling system</u>		
Pertinent volume: process operating power		
Baseline process operating power, kW	221,073	
Direct labor, hours/year	-	-
Capital equipment, million\$	510	0.95
Plant area, m ²	-	-
Operating Power, kW	29,000	0.95
<u>Other building systems (cells)</u>		
Pertinent volume: energy/year		
Direct labor, hours/year	-	-
Capital equipment, million\$	468	0.95
Plant area, m ²	-	-
Operating Power, kW	27,000	0.95

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)

Tabla 55

Costos de ensamblado de la batería línea base

Battery Assembly Costs (baseline reference)		
Operation	Baseline Plant	p
Baseline Manufacturing Rates		
Effective full days of operation per year	320	
Number of 8-hr shifts per day (2 for shipping and receiving)	3	
Number of annual 8-h shifts	960	
Pack Energy, kWh per year	50,000,000	
Number of battery packs manufactured per year	500,000	
Number of row racks per year	2,000,000	
Number of modules per year	10,000,000	
Number of cell interconnects per year	270,000,000	
Cell energy, kWh per year	50,000,000	
Number of accepted cells per year	200,000,000	
Number of cells adjusted for yield	211,000,000	
Positive electrode area, m ² per year	303,000,000	
Negative electrode area, m ² per year	315,000,000	
Positive slurry volume, L per year	40,700,000	
Negative slurry volume, L per year	65,000,000	
Positive binder solvent evaporated, kg per year	24,200,000	
Negative binder solvent evaporated, kg per year	42,200,000	
Dry room area, m ²	47,400	

Nota. (Kevin W. Knehr, 2022)