

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

**PROPUESTA DE PLAN ESTRATÉGICO PARA LA INDUSTRIA DE
RECONVERSIÓN DE VEHÍCULOS USADOS INDUSTRIALES – MAQUINARIA
PESADA, DE DIÉSEL A ELÉCTRICOS MEDIANTE FUEL CELL.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

AUTOR

GONZALO SEBASTIÁN ALARCÓN BARRIENTOS

PROFESOR GUÍA

CRISTIAN CARVALLO GONZÁLEZ

PROFESOR CORREFERENTE

DIEGO YÁÑEZ

SANTIAGO DE CHILE, MARZO, 2022

ABSTRACT.

Hydrogen has proven to be an energy vector that can lead to the energy transition towards clean and renewable energies that the planet needs so much. The Chilean territory offers potentially attractive future price scenarios of 2 [USD/Kg] of green hydrogen by 2030, due to its abundance of solar and wind energy. This opens up markets that require the utilization of the hydrogen produced. The electromobility market may be boosted by the use of fuel cell in vehicles and may be more attractive than typical 100% battery electric vehicles, due to differences in recharge times of less than 5 minutes vs 1-2 [hours] full recharge, and twice the range in light vehicles.

Chile's machinery fleet is constantly growing with import figures since 2012, where the amount of mining machinery imports stands out over the transversal. From the micro-environment analysis, we obtain an insignificant rivalry, which allows to have aspirations to market shares when entering the industry. The Porter analysis reflects the high power of substitute services (multiple options) and suppliers (control over non-homogeneous OEM parts and pieces on machinery), which define the main weaknesses associated with the project. Political and ecological factors such as the National Green Hydrogen Strategy shape the main opportunities for the development of the project.

The strategic plan developed from the SWOT analysis provides guidelines to address a transversal market of non-specialized machinery, removing the limitation of intervention in mining, reducing dependence on OEMs and achieving a standardization of the hydrogen kit, focusing on intervening in machinery such as front loaders and backhoes. The strategies and their objectives are therefore mainly oriented to product development, taking advantage of the opportunities provided by the analysis of the external environment and developing the strengths of the service through differentiation by defining objectives to show technical aspects associated with the machinery intervened and verify that the service is competitive.

RESUMEN EJECUTIVO

El hidrógeno ha demostrado ser un vector energético que puede llevar a la transición energética hacia energías limpias y renovables que el planeta tanto necesita. El territorio chileno ofrece escenarios de precios futuros potencialmente atractivos de 2 [USD/Kg] de Hidrógeno verde para el 2030, debido a su abundancia en energía solar y eólico. Esto abre a mercados que requieren la utilización del hidrógeno producido. El mercado de la electromovilidad puede verse impulsado gracias a la utilización de la celda de combustible en los vehículos y puede ser más atractivo que los típicos vehículos 100% eléctricos mediante baterías, por diferencias en tiempos de recarga de menos de 5 minutos vs 1-2 [horas] de recarga completa, y el doble de autonomía en vehículos livianos.

El parque de maquinaria de Chile está en constante crecimiento con cifras de importaciones desde el año 2012, en donde destaca la cantidad de la importación de maquinaria minera por sobre la transversal. Del análisis de Micro entorno, se obtiene una rivalidad poco significativa, lo que permite tener aspiraciones a cuotas de mercado al entrar. El análisis Porter refleja el alto poder de los servicios sustitutos (múltiples opciones) y de los proveedores (control sobre partes y piezas no homogéneas de las OEM sobre la maquinaria), que definen las principales debilidades asociadas al proyecto. Los factores políticos y ecológicos como la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde conforman las principales oportunidades para el desarrollo del proyecto.

El plan estratégico desarrollado a partir del análisis FODA entrega directrices de abordar un mercado transversal de maquinaria no especializada, quitando la limitación de intervención en minería, reducción de dependencia de las OEM y alcanzar una estandarización del kit de hidrógeno, enfocándose en intervenir maquinarias como cargadores frontales y retroexcavadoras. Las estrategias y sus objetivos en consecuencia están orientadas principalmente al **desarrollo de productos**, tomando provecho de las oportunidades que entrega el análisis de entorno externo y desarrollando las fortalezas del servicio por medio de la diferenciación definiendo objetivos para definir aspectos técnicos asociados a la maquinaria intervenida y verificar que el servicio es competitivo.

ÍNDICE

1.	Introducción	9
2.	Antecedentes Generales	11
2.1	Justificación del Tema.....	11
2.2	Objetivos de la Investigación	16
2.2.1	Objetivo General	16
2.2.2	Objetivos Específicos	16
2.3	Metodología y Teoría a utilizar	16
2.4	Alcance de la Investigación.....	17
3.	Estado del Arte	19
3.1	Antecedentes	19
3.1.1	Electromovilidad en la Minería.....	19
3.1.2	<i>Retrofitting</i> y su presencia en Chile.....	23
3.1.3	<i>Fuel Cells</i> (Celdas de Combustibles de Hidrógeno).	25
3.1.4	Hidrógeno a Nivel Global.	27
3.1.5	Modelo de Negocio de reconversión de vehículos usados industriales – Maquinaria pesada, de diésel a eléctricos mediante Fuel Cell.	33
3.1.6	Fuel Cells vs Otras Tecnologías.....	37
4.	Metodología y Procedimiento de la Investigación	48
4.1	Definir e identificar el mercado potencial en la industria.	48
4.2	Analizar la relación de rivalidad entre las firmas participantes en la industria del <i>retrofit</i> de maquinaria pesada, mediante análisis de Porter.....	56
5.	Resultados y Discusión.	60
5.1	Actualización de Parque de Maquinaria y su Comportamiento	60
5.2	Industria y Mercado	66
5.2.1	Macroentorno.	67

5.2.2	Microentorno.....	95
6.	Propuesta de Plan Estratégico.....	113
6.1	Análisis y Desarrollo de Matriz FODA.....	113
6.2	Plan Estratégico.....	116
7.	Conclusiones.....	123
8.	Bibliografía.....	128
9.	Anexo de Contenido.....	135
9.1	Glosario.....	135
9.2	Hidrógeno y Seguridad.....	135
9.3	Tendencias en la Industria Minera.....	139
9.4	Requisitos Técnicos de la Normativa de Retrofit de combustible a eléctrico.....	142
9.5	Análisis de Caja y Bigotes.....	145

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1:	Gráfico de emisiones de dióxido de carbono en Billones de Toneladas a nivel mundial proveniente de la quema de combustibles fósiles para producir energía y cemento. Fuente: OurWorldInData	11
Gráfico 2:	Gráfico de VAN (euros) vs. Precio del diésel (euros/Litro). Fuente (Fúnez Guerra et al., 2020).	21
Gráfico 3:	Gráfico de VAN (euros) vs. Costo de electricidad (euros/MWh). Fuente: (Fúnez Guerra et al., 2020).....	21
Gráfico 4:	Proyecciones de Inversión de los proyectos internacionales de hidrógeno verde para el 2030 cuantificado en Billones de USD. Fuente: Mckinsey & Company 2020	30
Gráfico 5:	Proyección de mercados chilenos de hidrógeno verde y derivados en tramos temporales de 5 años. Fuente: Estrategia Nacional de Hidrógeno verde de Chile.	32
Gráfico 6:	Efecto de las variables libres sobre el cálculo del VAN del proyecto. Fuente:(Antonio Sánchez, 2021).	44

Gráfico 7: Simulaciones del VAN del proyecto de acuerdo a los supuestos considerados para los precios del escenario actual definido en la Figura 6 . Fuente:(Antonio Sánchez, 2021).	45
Gráfico 8: Simulaciones del VAN del proyecto de acuerdo a los supuestos considerados para los precios del escenario en el 2030 definido en la Figura 6 . Fuente:(Antonio Sánchez, 2021).	46
Gráfico 9: Ratio entre el precio por kilogramo de hidrógeno y el precio por litro de diésel con la línea roja marcando el VAN = 0 del proyecto. Fuente:(Antonio Sánchez, 2021).	46
Gráfico 10: Importación de Maquinaria Exclusiva Minera No Agregada en Unidades. Fuente: Aduanas de Chile. Elaboración propia.	60
Gráfico 11: Importación de Maquinaria Escenario 1 vs PIB Anual vs Precio de comercio del Cobre (Centavos de Dólar por Libra). Elaboración propia.	62
Gráfico 12: Importación de Maquinaria Escenario 1 vs Inversión en el sector minero de Chile en [MMUSD]. Elaboración propia.....	63
Gráfico 13: Importación de Maquinaria Escenario 2 vs PIB Anual vs Precio de comercio del Cobre (Centavos de Dólar por Libra). Elaboración propia.	65
Gráfico 14: Registro de valor histórico del dólar en CLP. Fuente: Banco Central de Chile.....	74
Gráfico 15: Valor histórico del Índice de Precios del Consumidor anual de Chile desde el año 2010 al 2021. Datos obtenidos desde el Banco Central.	75
Gráfico 16: Tasa de desempleo en porcentaje en función del tiempo desde el año 2013 al 2021. Datos obtenidos del Banco Central de Chile.	77
Gráfico 17: Registro de valor histórico del PIB Serie Original y PIB Desestacionalizada de Chile. Fuente: Banco Central.....	78
Gráfico 18: Precio del Cobre Refinado Nominal y Real en centavos de dólar por Libra en BML/LME y COMEX histórico. Datos obtenidos de Cochilco.	80
Gráfico 19: Producción anual de cobre en Toneladas Métricas de las Mineras de Chile. Datos obtenidos de Cochilco.	82
Gráfico 20: Gráfico de Curva de Lorentz obtenido de acuerdo a las participaciones de mercado estimadas de las firmas participantes en la industria. Elaboración propia.	98
Gráfico 21: Importación de Maquinaria Transversal No Agregada en Unidades. Elaboración Propia.	99
Gráfico 22: Registro de ventas de maquinaria agrícola nueva – Acumulado de 4 semanas y variación interanual. Fuente: Registro Oficial de Maquinaria Agrícola de Chile.....	101
Gráfico 23: Oferta acumulada de acuerdo a las 23 actores identificados en la industria de acuerdo a su información de años de experiencia en la industria.	102

Gráfico 24: Curva de crecimiento de firmas oferentes de servicios de arriendo y venta de maquinaria pesada en Chile. Elaboración Propia.	103
Gráfico 25: Límites de detonación de una mezcla de hidrógeno-aire dependiendo del tipo de confinamiento a una presión de 101.3 kPa y 298 K. La curva punteada superior indica el límite No confinado, por debajo el límite de parcialmente confinado y por último el límite confinado (tubo).	137
Gráfico 26: Producción de Cobre fino en mediana minería de Chile. Fuente: Sernageomin.	139
Gráfico 27: Análisis de Caja y Bigotes de Grúa Horquilla con Motor diésel, con capacidad de levante superior a 2000 Kg.	146
Gráfico 28: Análisis de Caja y Bigotes de Niveladoras en criterio “las demás”.	146
Gráfico 29: Análisis de Caja y Bigotes de Compactadoras y Niveladoras en criterio “las demás”.	147
Gráfico 30: Análisis de Caja y Bigotes de Cargadores Frontales.	147
Gráfico 31: Análisis de Caja y Bigotes de Palas cargadoras de carga frontal.	148
Gráfico 32: Análisis de Caja y Bigotes de Excavadoras cuya superestructura puede girar en 360°.	148
Gráfico 33: Análisis de Caja y Bigotes de las demás palas mecánicas, excavadoras, cargadoras y palas cargadoras.	149
Gráfico 34: Análisis de Caja y Bigotes de Quitanieves.	149
Gráfico 35: Análisis de Caja y Bigotes de Arados.	150
Gráfico 36: Análisis de Caja y Bigotes de las demás maquinarias agrícolas, hortícolas o silvícolas para la preparación o el trabajo del suelo o para el cultivo.	150
Gráfico 37: Análisis de Caja y Bigotes de las demás máquinas y aparatos de trillar.	151
Gráfico 38: Análisis de Caja y Bigotes de las demás máquinas de cosechar o trillar.	151
Gráfico 39: Análisis de Caja y Bigotes de Tractores de un solo eje.	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de especificaciones de vehículos livianos con diferentes fuentes energéticas desde una perspectiva de consumidor. Fuente: (Pollet et al., 2012).	39
Tabla 2: Comparación de sistemas en base de petróleo, hidrógeno y almacenamiento eléctrico en cuatro vehículos livianos líderes. Fuente: (Pollet et al., 2012).	39

Tabla 3: Consumo de combustible comparativo entre diésel e hidrógeno para camiones de diferente tonelaje. Fuente: (Pollet et al., 2012)	40
Tabla 4: Emisiones de gases de efecto invernadero y su costo económico asociado según etapa del ciclo de producción del combustible. Fuente (Lao et al., 2021).....	42
Tabla 5: Aporte de PIB anual por sector económico desde el 2008-2012 de la ODEPA. El porcentaje relativo de la participación del PIB es acorde al promedio aportado por el sector económico durante los años del estudio. Fuente: ODEPA.	52
Tabla 6: Matriz de aporte porcentual contemplando las 3 industrias de interés en los años del 2008-2012 de acuerdo a los datos de ODEPA. Fuente: Elaboración propia.	53
Tabla 7: Importación final de maquinaria en la industria minera. La maquinaria destacada corresponde a las 3 que tienen la mayor importación total. Elaboración propia.....	54
Tabla 8: Importación final de maquinaria transversal. La maquinaria destacada corresponde a las 3 que tienen mayor importación total. Elaboración propia.	56
Tabla 9: Firmas que proveen el servicio de <i>retrofit</i> a Maquinaria Pesada en la industria de la Minería. Elaboración Propia.	57
Tabla 10: Extracto de tabla de puntajes de proveedores de servicio de <i>retrofit</i> en Chile. Otros criterios no representados en la tabla son si presentan sucursal en las principales regiones de Chile donde se desarrolla la minería, el tamaño de la empresa y sus certificaciones. Elaboración Propia.....	58
Tabla 11: Cuota de mercado de cada firma identificada en la industria del <i>retrofit</i> de maquinaria minera. Elaboración propia.	96
Tabla 12: Objetivo 1 y Metas del Sector Energético de acuerdo a la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile, página 109.....	107
Tabla 13: Objetivo 3 y Metas del Sector Energético de acuerdo a la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile, página 110.....	108
Tabla 14: Objetivo 7 y Metas del Sector Energético de acuerdo a la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile, página 112.....	109
Tabla 15: Objetivo 4 y Metas del Sector de Minería de acuerdo a la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile, página 116.....	110
Tabla 16: Objetivo 6 y Metas del Sector de Minería de acuerdo a la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile, página 117.....	111
Tabla 17: Objetivo 1 y Metas del Sector Edificación y Ciudades de acuerdo a la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile, página 135.....	124

1. Introducción

El hidrógeno ha demostrado ser un vector energético estratégico para el desarrollo de las actividades industriales y energéticas. En la actualidad el hidrógeno tiene mayor uso en procesos en refinerías (como el proceso de hidrocracking) y en la producción de fertilizantes (sintetización de amoníaco). A fines del año 2020 el Ministerio de Energía de Chile publicó la estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, en donde se posiciona a Chile como un gran agente productor de Hidrógeno a futuro con el menor costo operacional de producción estimado gracias a las condiciones geográficas y climáticas del país que permiten usar fuentes de energía renovables no convencionales con gran eficiencia (Ministerio de Energía, 2020).

Una de las grandes ventajas de utilizar el hidrógeno verde como combustible, es que, para su producción y uso, no emite gases de efecto invernadero, por lo que resulta ser un sustituto atractivo a los combustibles fósiles y así poder reducir la huella de carbono. Tanto ha sido el atractivo por el hidrógeno que en mayo del 2020 el Ministerio de Energía de Chile en colaboración con el Ministerio Federal de Medio ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania desarrollaron una propuesta de Estrategia Regulatoria del Hidrógeno para Chile, detallando normativas sugeridas para trabajar correctamente la producción, transporte y aplicación del compuesto (Ministerio de Energía, 2020).

Una de las aplicaciones del Hidrógeno Verde que podría reducir considerablemente la dependencia de combustibles fósiles, son las celdas de combustible en términos de electromovilidad. Grandes empresas como Toyota, ya han desarrollado modelos de automóviles que funcionan con celdas de combustible. Sin embargo, el desarrollo de las tecnologías de celdas de combustible también se desarrolla en mayor escala. De acuerdo a una noticia publicada el 2020, Volvo y Daimler se asociaron para desarrollar celdas de combustible enfocadas en vehículos pesados (Hernández, 2020), por lo que resultan ser una opción atractiva para reducir la huella de carbono en una industria tan dependiente de los combustibles fósiles como la minería, construcción o forestal.

La industria Minera es una de las que más aporta a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en conjunto con la industria de la generación eléctrica. De acuerdo al reporte de

emisiones de gases de efecto invernadero en la minería por la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco) en el año 2019 (Brantes & Cantallopts, 2019) se registró un total de 16.366 mil Ton de CO₂ equivalentes distribuidas en 6.252 mil (38.2%) por GEI directos (asociados a actividades propias de la minería como excavación, combustible de las maquinarias, fundición, refinería, etc) y 10.114 mil (61.8%) por GEI indirectos (consumo eléctrico del Sistema Eléctrico Nacional).

El presente trabajo tiene la finalidad de desarrollar y proponer una nueva industria de reacondicionamiento de maquinaria pesada en la minería integrando la nueva tecnología en desarrollo de las celdas de combustible en base a hidrógeno para reducir la huella de carbono en los GEI directos, además de promover la economía circular por medio de la reintegración de los activos que han cumplido su ciclo de vida útil al mercado por medio del *Retrofit*, prolongando su uso y reduciendo la huella de carbono.

2. Antecedentes Generales

2.1 Justificación del Tema

Durante los últimos 100 años las emisiones de gases contaminantes han aumentado de forma sostenida a nivel global, principalmente las emisiones de dióxido de carbono que llegan a un total de 36,44 Billones de Toneladas emitidas en el año 2019 a nivel mundial. En el **Gráfico 1** se presenta su creciente evolución en el tiempo.

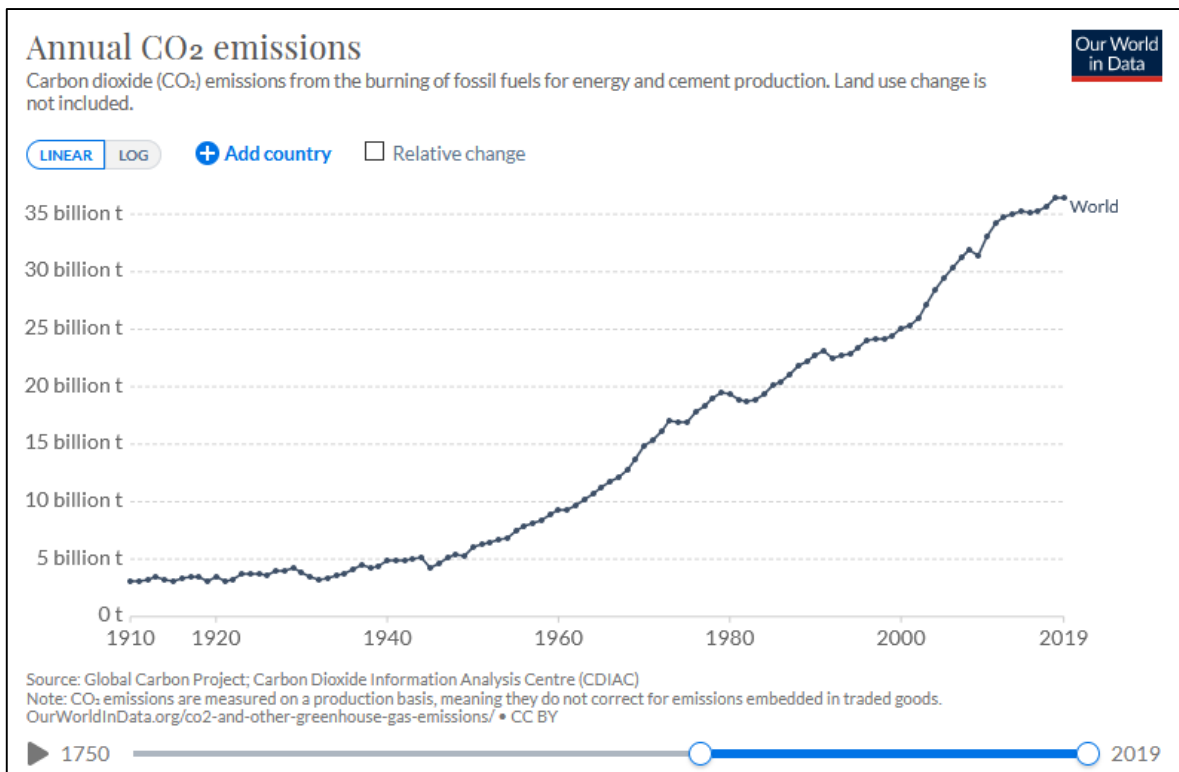


Gráfico 1: Gráfico de emisiones de dióxido de carbono en Billones de Toneladas a nivel mundial proveniente de la quema de combustibles fósiles para producir energía y cemento. Fuente:

OurWorldInData

Según un estudio sobre causales del cambio climático publicado por la Universidad de Penerbit UTHM (Nda et al., 2018) se determina que el principal factor inducido por el humano en el Cambio Climático, es la emisión de Gases de Efecto Invernadero (*Green*

House Gases – GHG) que incluyen el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso. El dióxido de carbono es el componente dominante dado que aporta casi el 75% de las emisiones globales, como resultado de la quema de combustibles fósiles. De lo expuesto, es posible determinar que el principal agente que requiere de intervención es el dióxido de carbono para ralentizar y mitigar las consecuencias del cambio climático.

El sector que aporta la mayor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global, es el sector **Energético** con un 73,2% de las emisiones totales, que se divide en 3 secciones: Energía utilizada en la industria (24,2%), Transporte (16,2%) y Energía usada en Construcción.

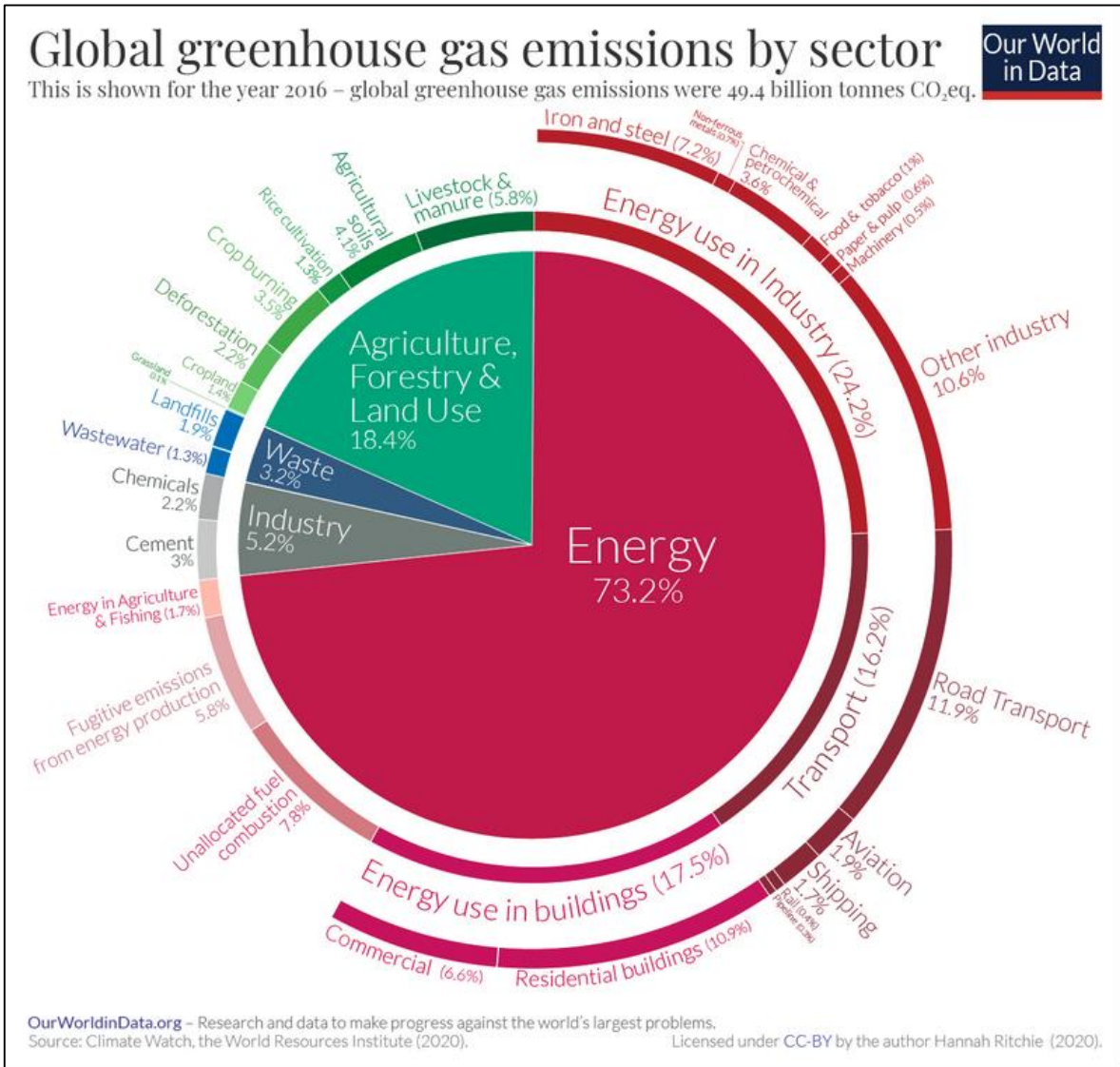


Figura 1: Porcentaje de participación en emisiones de dióxido de carbono por sector industrial a nivel global en el año 2016. Fuente: OurWorldInData.

Dado los impactos y consecuencias del Cambio Climático producto de las emisiones de gases contaminantes es que se han generado instancias internacionales para discutir y proponer soluciones para enfrentar la dependencia del uso de combustibles fósiles, por medio del compromiso de las naciones por la regulación y reducción de emisiones en el Acuerdo de París y la más reciente COP-26. Este contexto ha impulsado múltiples desafíos tecnológicos e ingenieriles para reducir la dependencia de combustibles fósiles.

Chile es un país que se destaca por su alto potencial de producción de ERNC dado sus condiciones climáticas y geográficas. Según el Ministerio de Energía de Chile, los sectores solares y eólicos están madurando aceleradamente. En los últimos 6 años, Chile ha quintuplicado su capacidad de generación de esas fuentes y se proyecta que para el 2030 el 70% de la matriz energética sea renovable (Generadoras de Chile, 2019).

El Norte de Chile se destaca por su clima árido y escasa humedad, específicamente en el Desierto de Atacama en donde anualmente caen 0,6 mm de lluvia al año y posee la mayor radiación solar en las placas con 9,28 KWh por metro cuadrado. Adicionalmente, el Desierto de Atacama puede recibir hasta 275 W/m² de radiación solar. Los antecedentes presentados corresponden a un estudio de *Global Energy Institute* sobre el potencial energético de Chile (Woodhouse & Meisen, 2011). Mientras que la energía Eólica se concentra en la Zona de la Patagonia y las costas de Atacama, Calama y Antofagasta. Según un estudio del gobierno los vientos del extremo austral soplan con la misma energía que mar adentro, lo que implica que turbinas eólicas de 120 metros de altura, puedan alcanzar factores de planta sobre el 60% en tierra (Ministerio de Energía, 2020).

Los antecedentes presentados entregan una propuesta de solución clara para reducir las dependencias de los combustibles fósiles en la generación energética. Sin embargo, para reducir en su totalidad el uso de combustibles fósiles en el futuro, surge como solución el Hidrógeno Verde.

El Hidrógeno Verde es un combustible que se obtiene a partir de la separación de las moléculas de agua del mar por medio de Electrolisis usando fuentes de energía renovables como la energía eólica para su producción. La particularidad del compuesto es que no emite gases contaminantes al ser utilizado, dado que al utilizarse genera agua de producto. El hidrógeno ha demostrado ser un vector energético que puede sustituir el uso de combustibles fósiles y efectuar una transición a energías limpias y renovables. Bajo esta premisa es que el Ministerio de Energía de Chile a fines del 2020 publica la estrategia nacional de hidrógeno verde, con el fin de aprovechar los recursos geográficos y energéticos del país para ser líder en la producción de hidrógeno verde y sus múltiples

aplicaciones dentro de las diferentes industrias.

A partir de los múltiples usos del Hidrógeno en electromovilidad, surge una oportunidad de negocio en la industria de la maquinaria pesada, enfocada en la minería. Específicamente en la reconversión de maquinaria pesada como Excavadoras, Bulldozers y Cargadores frontales, que utilizan motores de combustión interna en base a gasolina o diésel, a un sistema de celdas de combustible que se caracterizan por no tener emisiones de gases contaminantes. Dicha transformación es conocida como *Retrofitting* y se practica en los talleres mineros comúnmente para la transformación a motor en base a diésel.

Actualmente existen múltiples talleres que proveen el servicio de *Retrofitting* como lo son Anexos Servicios, Finning – CAT, Fukushi, DercoMq, entre otros. Sin embargo, ninguno provee el servicio de *Retrofitting* con celdas de combustible.

A partir del contexto presentado, surgen las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el mercado potencial en la industria de la minería en Chile para el *Retrofitting* de equipamiento minero con celdas de combustible?
- ¿Qué factores externos e internos son determinantes para el desarrollo del programa de *retrofit* con celda de combustible?
- ¿Cuál es la relación entre las firmas que participan del servicio de *Retrofit* en maquinaria pesada?
- ¿Qué estrategias se pueden utilizar para entrar a competir en la industria del *retrofit* de maquinaria pesada?

El desarrollo de esta investigación permitirá visualizar la situación actual de la industria del *Retrofit* y propuestas de cómo integrar la electromovilidad por medio de celdas de combustible en la Minería de Chile.

2.2 Objetivos de la Investigación

2.2.1 **Objetivo General**

Proponer un plan estratégico en la industria de reconversión de vehículos usados industriales
– Maquinaria pesada, de diésel a eléctricos mediante Fuel Cell.

2.2.2 **Objetivos Específicos**

- Definir e identificar el mercado potencial en la industria, con mayor foco en la minería, tanto en la cifra de maquinaria que puede ser intervenida como los talleres que podrían proporcionar el servicio de acuerdo al modelo de negocios establecido.
- Analizar la relación de rivalidad entre las firmas participantes en la industria del *retrofit* de maquinaria pesada mediante un análisis Porter.
- Analizar Macroentorno de la industria y mercado designado para el proyecto.
- Proponer un plan estratégico de acuerdo al modelo de negocios establecido acorde a los análisis realizados con apoyo de herramientas de análisis como la Matriz FODA.

2.3 Metodología y Teoría a utilizar

Para el correcto cumplimiento del objetivo de determinar el parque de maquinaria que puede ser intervenida, se utilizan fuentes de datos e información fidedignas para la estimación, como lo son las publicaciones y reportes del Gobierno de Chile, el Banco Central y Cochilco. Los datos son intervenidos por medio de análisis estadísticos para obtener datos significativos y no considerar casos de datos atípicos o datos faltantes. Para las suposiciones extras utilizadas se encuentran detalladas en el desarrollo de la investigación.

La teoría utilizada para estudiar la industria tiene sus cimientos en el estudio estratégico de la industria de la maquinaria pesada, con énfasis en la relación entre los participantes de la

industria y las interacciones de rivalidad entre firmas por medio del Análisis de las 5 fuerzas competitivas Estratégicas de Porter.

Este modelo estratégico mencionado, fue elaborado por Michael E. Porter en su publicación “*How Competitive Forces Shape Strategy*” en donde se definen factores incidentes en la industria que entregan información relevante para la toma de decisiones en funciones de la estrategia, como lo es determinar métodos de entrada o salida en la industria, posibilidades de diversificación horizontal o vertical, posibilidades de diversificación, etc.

2.4 Alcance de la Investigación.

La presente investigación se caracteriza por tener un Alcance exploratorio, dado que la implementación de las celdas de combustible en maquinaria pesada está en sus inicios de investigación y desarrollo, y sus limitaciones marcará los precedentes para su pronta o tardía implementación. Adicionalmente, el desarrollo de las celdas de combustible está en plena investigación para mejorar los procedimientos de generación de energía química dentro de las celdas. Actualmente las celdas de combustible PEM (*Proton Exchange Membrane* – Membrana de intercambio de protones) se caracterizan por tener un costo elevado de producción puesto que utiliza catalizadores de platino y membranas específicas para la correcta transformación de energía, por ende, se espera que a futuro los avances de tecnología e ingeniería en el tema permitirán que los costos sean inferiores a los actuales.

Referente a parámetros normativos, el retrofit se encuentra no normalizado para vehículos livianos y de transporte logístico, por lo que no es posible contemplar con su operación y circulación por las vías urbanas en el corto plazo. De acuerdo a una noticia publicada por el *Portal Movilidad* (Taborelli, 2021), el ministerio de transporte y telecomunicaciones de Chile trabaja en una regulación que permita integrar estos vehículos reconvertidos al parque automotriz con una regulación, fiscalización y estandarización pertinente de los vehículos intervenidos para que sean totalmente seguros.

En términos geográficos la investigación tiene como límite la frontera de Chile, por lo que los análisis y resultados reflejados en la investigación se hacen en función de las organizaciones y mercados que participan en la industria a nivel nacional.

A nivel temporal, se estudia la situación al año (2021) de la industria y el mercado potencial de acuerdo a la información disponible que está detallada a lo largo de la investigación.

Para efecto de discusiones y conclusiones, se hará el supuesto de que la posible integración podrá llevarse a cabo si y solo si están presentes las condiciones de producción, logística y abastecimiento de hidrógeno para poder utilizar la maquinaria que sería reacondicionada para ser utilizada en base a la energía provisionada por la celda de combustible.

3. Estado del Arte

3.1 Antecedentes

En la siguiente sección se presentarán los principales antecedentes que preceden a la investigación, para entender el contexto actual en el que es llevado la investigación.

3.1.1 Electromovilidad en la Minería.

En el contexto Nacional, la electromovilidad se ha hecho presente con proyectos piloto que iniciaron sus períodos de prueba e implementación en el 2018. El primer proyecto consta del desarrollo de pilotos de electromovilidad que incluye un plan de pruebas de vehículos eléctricos de servicio en el Distrito Norte. Dicho programa permitió enfrentar vehículos eléctricos por primera vez a condiciones reales de una operación minera con el fin de validar variables tecnológicas, de negocios y de sustentabilidad, además de entender la tecnología e identificar los desafíos para incorporarla y escalarla a otros procesos

De acuerdo a una publicación del Consejo Minero de Chile (2020), CODELCO ha integrado la electromovilidad en la minería subterránea y sus operaciones desde entonces con la finalidad de participar en la transición energética y así poder reducir la dependencia de los combustibles fósiles, y en consecuencia la huella de carbono. CODELCO fue la primera compañía minera en Chile en probar los buses eléctricos en sus operaciones, tanto en División El Teniente como Chuquibambilla. Actualmente, la empresa nacional *Reborn Electric* provee de los buses eléctricos a CODELCO, y ha desarrollado una línea de negocios de reacondicionamiento, en donde pueden transformar buses que funcionan a partir de Diésel a 100% eléctricos (Reborn Electric, s. f.).

Otros ejemplos de adquisición de esta tecnología es el caso de Anglo American. De acuerdo a una noticia publicada (Reporte Sostenible, 2021), Anglo American (en su división en Chile) implementa la flota de buses eléctricos interurbanos más grande de Sudamérica con un total de 17 buses eléctricos adquiridos destinados para el traslado del personal dentro de la mina.

A partir de la información presentada, es posible determinar que los avances en electromovilidad en la industria de la minería son menores y no involucran maquinaria especializada pesada por la que se destaca. Sin embargo, se están realizando avances tangibles en la materia que permiten descarbonizar de a poco las operaciones.

Por otro lado, el Ministerio de Energía de Chile desarrolla actualmente el Programa de Electromovilidad mediante hidrógeno en la industria minera, cofinanciada por CORFO y llevada adelante por investigadores de la Universidad Técnica Federico Santa María que busca reemplazar los motores de diésel de vehículos pesados, por motores eléctricos que funcionan mediante pilas de combustible alimentadas por hidrógeno. En el programa participan los siguientes miembros del consorcio: Universidad Técnica Federico Santa María (USM), Agencia de Sostenibilidad Energética (ASE), Fraunhofer Chile, Ballard Europa, Centro Nacional de Hidrógeno de España (CNH2) y la fundación del Hidrógeno en Aragón (Ha) (Ministerio de Energía, s. f.).

Es importante recalcar el interés por parte del Gobierno de Chile en desarrollar e investigar la aplicación de nuevas tecnologías en la industria de la minería que permiten incorporar conceptos como la economía circular en la minería con el reacondicionamiento de maquinaria con motores de celdas de combustible. El desarrollo del programa determinará las limitaciones iniciales para la implementación técnica de la nueva tecnología y cómo se desarrollará a futuro.

En el contexto internacional, la teoría ha estudiado la factibilidad para integrar las celdas de combustible en la minería subterránea. Los resultados de la investigación (realizado en 40 camiones LHD – *Loah Haul Dump*), ha demostrado que las celdas de combustible presentan la fiabilidad, seguridad y densidad energética suficiente para participar en la industria de la minería, sin embargo, al tener costos de implementación altos, su factibilidad depende directamente de los costos del hidrógeno, combustible diésel y el valor de la electricidad (Fúnez Guerra et al., 2020).

En el **Gráfico 2** y **Gráfico 3**, es posible determinar que la viabilidad del estudio citado (VAN) depende directamente del valor de la electricidad y el diésel. Mientras más bajo sea

el costo de la electricidad el proyecto tendrá un VAN más alto, y por ende será más rentable. Mientras que se obtiene el resultado contrario en el diésel, que vendría siendo un sustituto directo a las celdas de combustible, por lo que mientras tenga un valor mayor, será más rentable el proyecto y, por ende, más atractiva la implementación tecnológica.

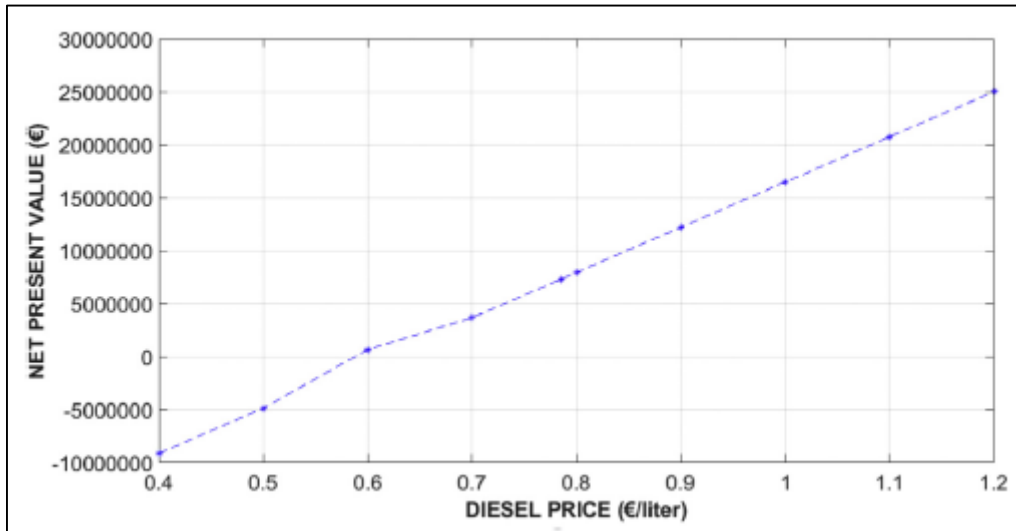


Gráfico 2: Gráfico de VAN (euros) vs. Precio del diésel (euros/Litro). Fuente (Fúnez Guerra et al., 2020).

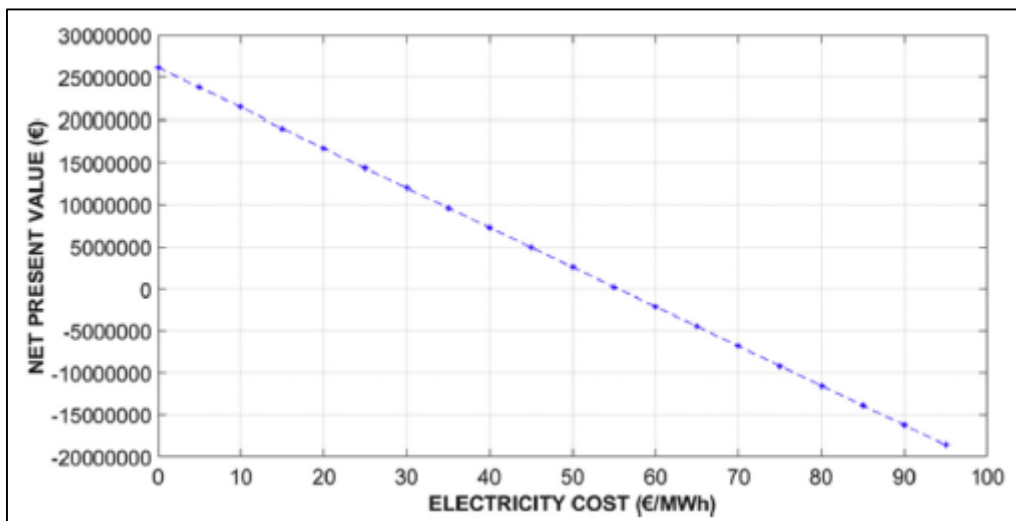


Gráfico 3: Gráfico de VAN (euros) vs. Costo de electricidad (euros/MWh). Fuente: (Fúnez Guerra et al., 2020).

Uno de los grandes beneficios de la implementación de las celdas de combustible en la minería subterránea es la reducción en costos asociados a la ventilación de la mina, puesto

que al usar celdas de combustible las emisiones residuales son agua y no CO₂ en el caso del diésel, es posible reducir el tamaño de los túneles y la energía necesaria para ventilar los espacios. Es importante destacar que las grandes organizaciones cuentan con Bonos de CO₂ para limitar y considerar sus emisiones de GEI, y que las implementaciones de las celdas de combustible permiten negociar los Bonos de CO₂, por lo que pueden contemplar un beneficio aún mayor.

Por otro lado, grandes exponentes de la industria de la maquinaria pesada como JCB, en junio del 2020 anuncia el resultado de su desarrollo de la primera excavadora impulsada por hidrógeno con celdas de combustible para la industria de la construcción. La excavadora 220X de 20 toneladas es impulsada por una pila de combustible y ha sido sometida a rigurosas pruebas en los terrenos de pruebas de la cantera de JCB durante más de 12 meses. Es la primera empresa de equipos de construcción del mundo en presentar un prototipo funcional de una excavadora propulsada por hidrógeno (JCB, s. f.).



De acuerdo a los ejemplos presentados, se evidencia el interés en la electromovilidad en una industria caracterizada por el uso de maquinaria pesada con alto consumo de combustibles fósil como la minería, tanto por parte de los proveedores de la maquinaria como las minas mismas con la descarbonización de sus operaciones.

3.1.2 *Retrofitting* y su presencia en Chile.

Cualquier profesional y técnico de la industria nacional, se ha visto enfrentado en algún momento de su vida profesional al dilema de qué hacer con una máquina o equipamiento cuya vida útil está llegando a su fin, cuyos repuestos son difíciles de encontrar o que está listo para ser vendido como chatarra. Una alternativa es asumir los costos de reemplazar totalmente el equipamiento. La otra opción está asociada al Retrofit de la maquinaria, para volver a integrarla a la cadena de valor en un estado adecuado para la operación.

La definición de Retrofit está asociada directamente a la intervención de un activo. El aplicar Retrofit a una máquina o a una construcción significa añadir nuevas partes o nuevo equipamiento después de haber sido usado por un tiempo, especialmente para mejorar su seguridad o mejorar algún atributo relacionado con la actividad que realiza, de acuerdo al COBUILD Advanced English Dictionary (s. f.). Se utiliza el Retrofit principalmente en activos como maquinaria de gran envergadura, para no desechar el activo una vez cumplido su ciclo de vida útil, y extendiéndolo mediante el reacondicionamiento o sustitución de partes para seguir siendo utilizado.

Esta disciplina puede aplicarse tanto para vehículos de ruta como automóviles y buses, transformándolos de vehículos a combustión interna a 100% eléctricos, como lo hace las empresas Movener y Reborn Electric. De acuerdo a información publicada por el Ministerio de Energía de Chile (s. f.), las conversiones de vehículos son entre 4 y 5 veces más baratas que un auto eléctrico nuevo en el mercado, incluyendo una reducción de 80% en gasto de combustible.

Esta práctica se desempeña en un 50% del parque de maquinaria de Chile para ser reacondicionada e integrarse al mercado de maquinaria de segunda mano, de acuerdo a un reporte de Geasur (Geasur, 2014). Sin embargo, se destaca que las aplicaciones de *retrofit* se limitan de ser transformaciones a diésel o integración de elementos como sistema *stop and go* para reducir el consumo de combustible cuando la maquinaria no está en movimiento.

En la industria de la maquinaria pesada se destacan organizaciones como Sorena, quienes entre sus servicios proveen reacondicionamientos de maquinaria pesada fuera de ruta para

integrarse nuevamente a la cadena productiva. Aplicaciones del Retrofit en la industria de maquinaria pesada se manifiestan como transformaciones de vehículos de un sistema de combustión interna de gasolina, a una reconversión que funciona a partir de diésel, reduciendo el costo por litro de consumo de combustible.

A partir de un reportaje (Revista Electro Industria, 2011), a juicio de especialistas encuestados, Chile es un excelente mercado para los proyectos de *retrofit*. “En el país, existen empresas que tienen 50 o más años de existencia, por lo que cuentan con toda una gama de tecnologías, muchas de las cuales ya se encuentran obsoletas” afirma Jorge Quinteros, de Post Venta y Servicios de Acondicionamiento de Siemens Chile. A partir de la afirmación expuesta se presume que existe un mercado potencial de máquinas y equipos, tanto dentro como fuera de la minería, de gran calidad y robustez, que ameritan un *upgrade* o reacondicionamiento de los equipos mediante *retrofits*.

En el contexto internacional, se han estudiado aplicaciones del *retrofit* en maquinaria minera fuera de ruta para la optimización de consumo de combustible mediante la incorporación del sistema Encendido / Apagado que es utilizado en los automóviles convencionales actualmente mientras se encuentran detenidos por intervalos no prolongados de tiempo.

En el estudio (SILVA et al., 2016) se recalca la integración de la nueva tecnología que se acomoda a la línea productiva específica de la mina. De acuerdo a lo observado en la mina, usualmente los conductores de camiones conducen con el camión vacío al punto inicial hacia la fila de carga, donde el conductor espera su turno para cargar su vehículo. Cuando el punto de carga se encuentra vacío, el operador coloca el vehículo en la posición de carga. En dicha posición, la pala de carga llena el contenedor del vehículo con minerales. Después de que el vehículo está completamente cargado, el operador se dirige a la fila de vehículos que esperan descargar su contenido en los trituradores de mineral, hasta llegar al punto de descarga y dejar el contenido en la trituradora. Luego el operador vuelve al inicio del ciclo. Se detecta que, durante el momento de espera entre la fila de carga del vehículo y la fila de descarga en el triturador, el vehículo está en un estado estacionario y existe una posibilidad de reducción de consumo de combustible mediante el sistema de Encendido/Apagado. De acuerdo a los

resultados, es posible una reducción de 18.000 Litros de diésel por camión al año, equivalente a \$15.000.000 CLP aproximadamente, o 48 toneladas de CO₂ al año por vehículo.

A partir de los antecedentes presentados, es posible determinar que el Retrofitting es una herramienta que puede proporcionar gran utilidad para la industria minera, dada la antigüedad que posee la industria en el país, por lo que existe un amplio parque de maquinarias que ha cumplido su ciclo de vida útil inicial que pueden integrarse nuevamente como maquinaria de segunda mano o back-up de respaldo. Adicionalmente se determina la versatilidad del retrofit con sus diferentes aplicaciones acorde a la necesidad de las firmas, ejemplificado con la aplicación internacional para reducir el consumo de combustible, o como lo hace Sorena con el cambio de tipo de motor a diésel para reducir el precio por litro de combustible.

3.1.3 Fuel Cells (Celdas de Combustibles de Hidrógeno).

De acuerdo a la teoría (Ortiz-Rivera et al., 2007), una celda de combustible está definida por un dispositivo electroquímico que convierte de forma dinámica la energía de una reacción química entre el hidrógeno y un oxidante en energía eléctrica para ser consumida. Las celdas de combustible funcionan de manera similar a una batería en sus principios básicos que son: dos electrodos separados por un electrolito. La principal diferencia con las baterías es que están diseñadas para una reposición continua de los reactivos consumidos. Producen electricidad desde un suministro externo de combustible y oxidante (típicamente oxígeno o aire), que es el caso opuesto a la capacidad de almacenamiento de energía limitada de la batería. La estructura física de la celda de combustible consiste en una capa de electrolitos separando dos electrodos.

Esta definición y características de la celda de combustible permiten identificarla como un generador de energía en función de una reacción electroquímica que usa como compuesto principal el hidrógeno. Actualmente, se utiliza esta tecnología para la electromovilidad en FCEV (*fuel cell electric vehicle*) en vehículos como automóviles y buses, con el propósito de reducir la huella de carbono y utilizar energías limpias. Ejemplos tangibles del uso de celdas de combustible son el modelo de *Honda Clarity 2021* y el *Toyota Mirai 2021*.



De acuerdo a la definición de la teoría (Ministerio de Energía de Chile, s. f.), define el funcionamiento de la celda de combustible de hidrógeno como el dispositivo característico de la tecnología FCEV y que forma parte del sistema propulsor de este tipo de vehículo junto al motor eléctrico, el banco de baterías auxiliar y el/los estanques de almacenamiento presurizado de hidrógeno. Para aplicaciones en transporte, el tipo de celda de combustible empleada es la denominada celda PEM (membrana de intercambio de protones) y es un sistema electroquímico de transformación energética al cual ingresa oxígeno, extraído desde el aire del ambiente, e hidrógeno desde el tanque de almacenamiento del vehículo. Ambos gases reactantes se encuentran separados por una membrana sólida que permite el intercambio de protones, sin embargo, los iones del hidrógeno no pueden atravesar esta membrana y circulan por una capa catalizadora, normalmente construida con platino, generando así una corriente eléctrica que alimenta al motor eléctrico de un FCEV. La circulación de electrones, libera además calor. En paralelo, los protones de hidrógeno que atravesaron la membrana intercambiadora se acoplan a las partículas del oxígeno presente al otro lado de ésta, generando agua como producto. No existe emisión de gases tóxicos ni gases de efecto invernadero como consecuencia de este proceso. La celda de combustible de hidrógeno puede operar continuamente, sin decaer en su eficiencia de conversión energética mientras sean provistas de hidrógeno. Es posible visualizar el funcionamiento de la celda de combustible PEM en la **Figura 2**.

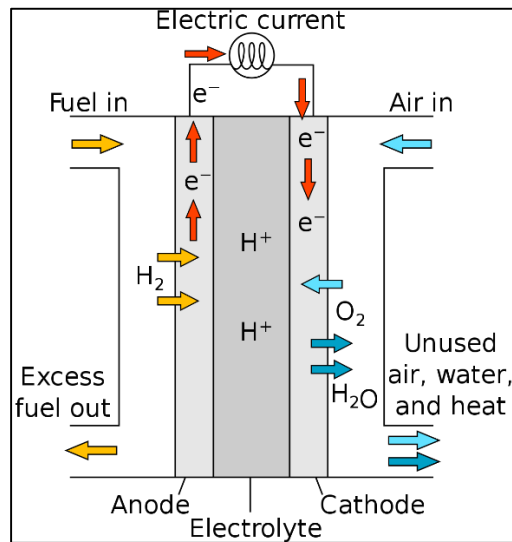


Figura 2: Representación gráfica del funcionamiento de una celda de combustible de tipo PEM.
Fuente: Electrochemistry Encyclopedia.

En términos energéticos, la teoría indica que el hidrógeno tiene el mayor contenido energético por peso, con un valor de 33320 [Wh/Kg], que es entre 3 a 7 veces mayor que la gasolina que oscila entre 8760 [Wh/Kg] y 12700 [Wh/Kg]. Adicionalmente, la eficiencia en términos de energía entregada al motor es superior para FCEV (60%) en comparación a un vehículo de combustión interna en base a petróleo (40%) (Pollet et al., 2012).

De acuerdo a los antecedentes presentados, es posible establecer que el mercado de la electromovilidad puede verse impulsado gracias a la utilización de la celda de combustible en los vehículos y puede ser más atractivo que los vehículos 100% eléctricos mediante baterías. Las ventajas de los FCEV frente a los BEV son los rangos de potencia que puede entregar la celda de combustible y que poseen una densidad energética superior a las baterías, por lo que ofrecen mayores autonomías en rango de kilómetros u horas de operación. En aspectos medioambientales, se puede considerar como una herramienta para reducir la huella de carbono del parque automotriz dado que son carbono neutral en su operación.

3.1.4 Hidrógeno a Nivel Global.

En el presente año 2021, se está registrando un notorio crecimiento en los proyectos de

producción de Hidrógeno Verde alrededor del mundo. Según el reporte realizado por el *Hydrogen Council* y *McKinsey & Company* (McKinsey, 2021) se registraron globalmente 228 proyectos de hidrógeno. Del total, 17 corresponden a proyectos de producción que ya fueron anunciados a mega escala (es decir, más de 1 [GW] de ERNC y sobre 200.000 toneladas al año para hidrógeno bajo en carbono) destacando los proyectos en Europa, Australia, Medio Oriente y Chile.

En la **Figura 3** es posible apreciar cada proyecto de hidrógeno haciendo la distinción del lugar donde será llevado a cabo el proyecto y el tipo de uso que se le dará.

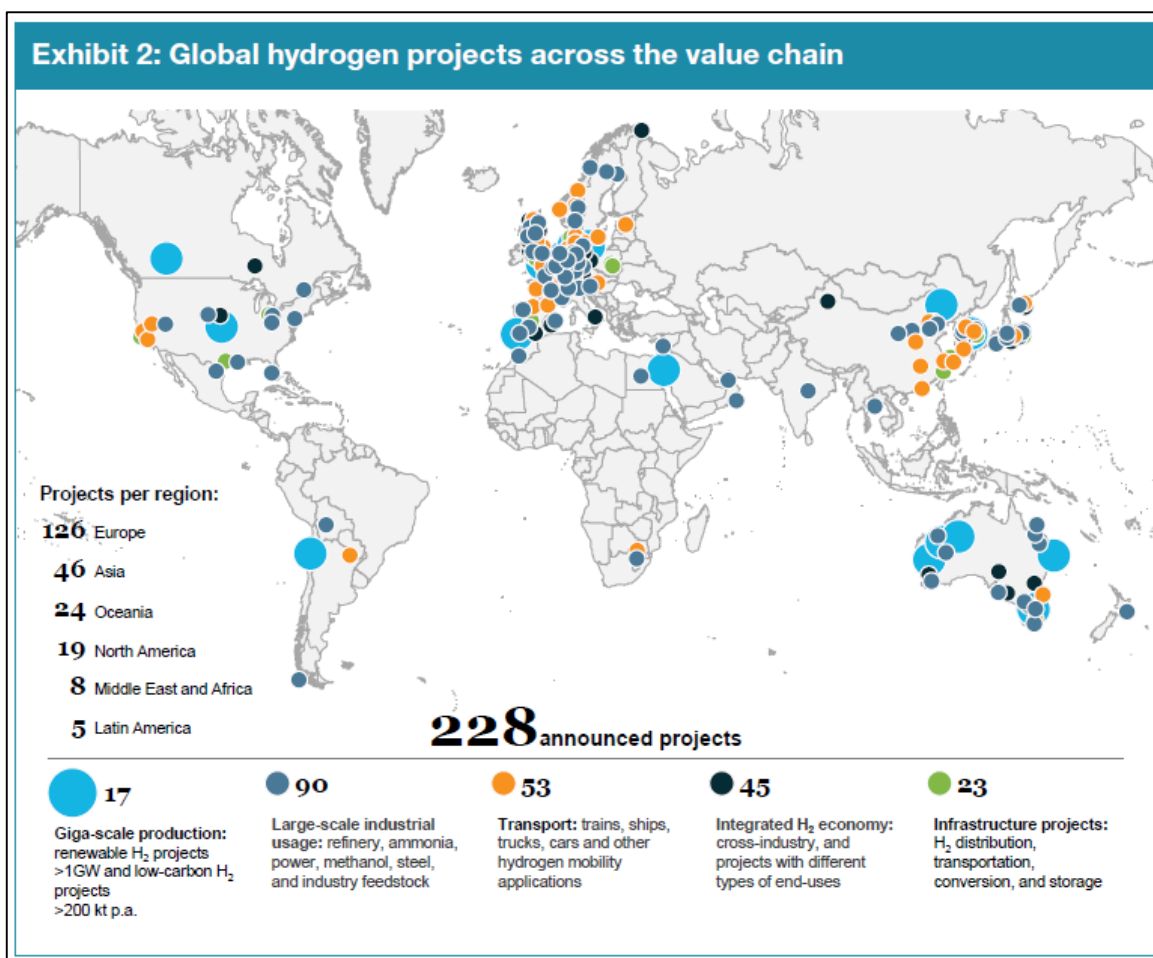


Figura 3: Proyectos de Hidrógeno a nivel global, diferenciados por tamaño y área que abarca el proyecto. Fuente: (McKinsey, 2021)

Tal y como sale representado en la imagen, el continente europeo lidera globalmente el número de proyectos de hidrógeno anunciados. Los países Australia, Japón, Korea, China y Estados Unidos poseen la delantera individualmente. El 55% de los proyectos están ubicados en Europa con un total de 105 proyectos de producción.

En términos monetarios de acuerdo a los anuncios de proyectos, las inversiones necesarias para alcanzar los objetivos de producción de hidrógeno de los múltiples gobiernos y las proyecciones de gasto en toda la cadena de valor suman más de 300 mil millones de USD hasta 2030. Dado el estado prematuro de la industria el 75% de la inversión involucra anuncios, pero es una financiación no comprometida. A la fecha se estiman 80 billones de USD de inversión madura hasta el 2030. Del total estimado de 80 billones de USD de inversión madura, 45 billones de USD corresponden a la fase de planificación de los proyectos, lo que significa que las compañías están gastando presupuestos considerables para el desarrollo de proyectos.

Este panorama de inversión reflejado en el **Gráfico 4**, muestra el impulso a nivel global que tienen los proyectos asociados al hidrógeno, ya sea a nivel de producción o sus aplicaciones finales, como celdas de combustibles o Amoniaco para fertilizar. Cabe destacar que la industria aún se encuentra en un estado prematuro, donde las fases de acción serán dirigidas por los gobiernos que impulsen los proyectos anunciados para entrar en fases posteriores de planificación y ejecución de acuerdo a sus estrategias que permitirán la creación e instalación de la industria del Hidrógeno Verde.

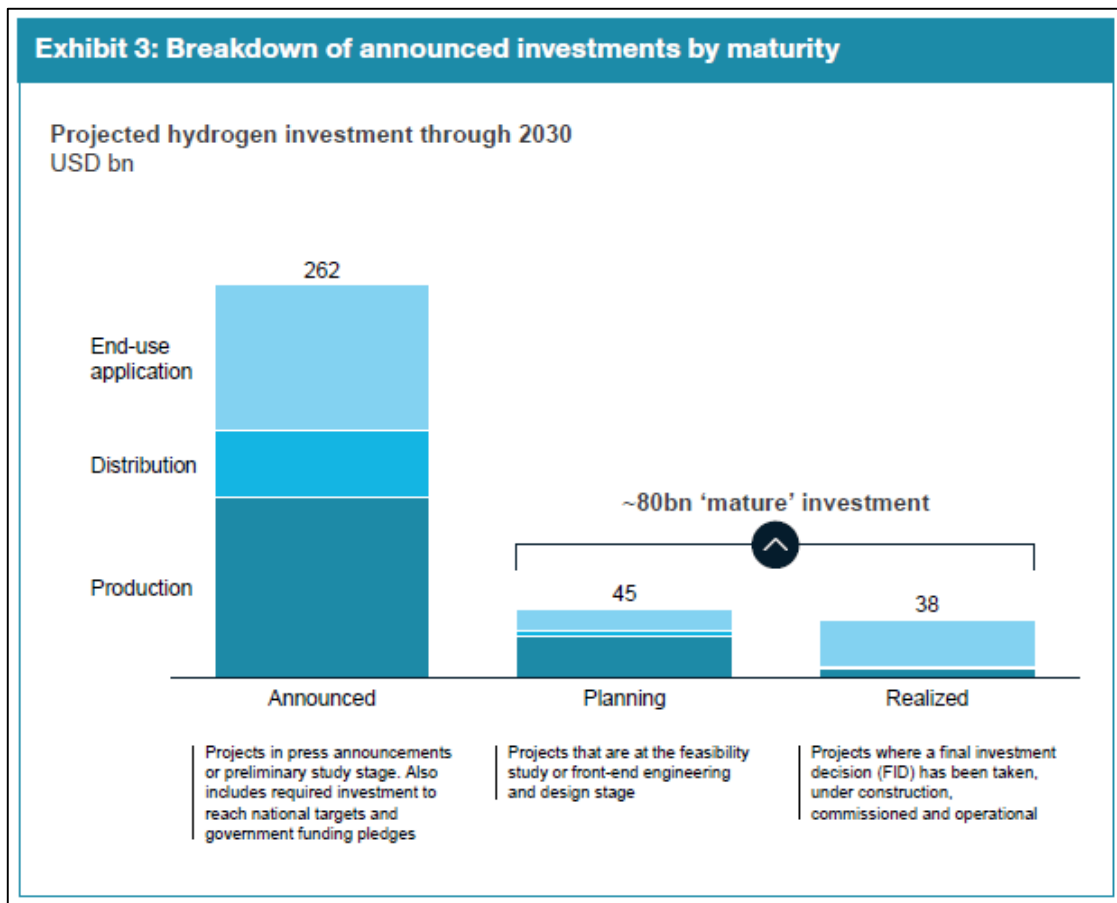


Gráfico 4: Proyecciones de Inversión de los proyectos internacionales de hidrógeno verde para el 2030 cuantificado en Billones de USD. Fuente: Mckinsey & Company 2020

Adicionalmente, la alta inversión se justifica en los planes de los diferentes gobiernos para apoyar estrategias de transición al Hidrógeno, con 70 millones de USD en juego. El creciente apoyo gubernamental se deriva de un cambio global hacia la descarbonización: en total 75 países involucrados representan la mitad del PIB a nivel global, tienen una ambición de cero emisiones y el 80% del PIB mundial está cubierto en algún nivel de mecanismos de fijación de precios del CO₂.

El hidrógeno es un elemento crucial en la mayoría de las estrategias para alcanzar las cero emisiones, y más países están desarrollando planificaciones de hidrógeno. De hecho, más de 30 países ya crearon sus estrategias a nivel nacional, y 6 las están redactando (McKinsey, 2021).

En materias de transporte, más de 20 países han anunciado que se prohibirá la venta de vehículos ICE (*Internal Combustion Engine* – Motor de Combustión Interna) antes del 2035. Más de 35 ciudades que cubren más de 100 millones de automóviles están implementando nuevos y estrictos límites de emisiones y sobre 25 ciudades se han comprometido a comprar solo autobuses de cero emisiones a partir del 2025.

La situación actual del cambio climático con las emisiones de gases de efecto invernadero, hace que las fuentes de energía renovables y sustitutos a combustibles fósiles se vuelvan opciones atractivas y realistas en un horizonte temporal del corto plazo, teniendo una transición dependiente de los combustibles fósiles tanto para transporte como para la industria productora de bienes o energía, a una de energía limpia que sea eficiente y rentable para el mundo. Se sostiene a lo largo de las investigaciones que el Hidrógeno es el principal elemento que permitirá alcanzar las cero emisiones en un futuro próximo.

Adicionalmente, en términos económicos globales, si se ejecutan todos los proyectos planteados (considerando los países en que se desarrollará y el aporte en PIB de cada uno) sabiendo que el PIB se define por múltiples actividades dependientes de los combustibles fósiles, transformará la economía a una dependiente de la eficiencia y producción de hidrógeno con un impacto en el PIB global del 2% aproximadamente (de acuerdo al promedio de aporte de los combustibles fósiles del Banco Mundial), que se especula solo aumentará a futuro dado que el combustible fósil es un recurso finito y su uso se degrada cada vez más.

De acuerdo a la estrategia de Hidrógeno Verde del Gobierno de Chile la proyección del mercado del Hidrógeno que es posible producir de acuerdo al potencial energético de Chile, es equiparable en tamaño a la industria minera nacional, con un aporte al PIB que podría ser uno de los pilares económicos del país considerando la producción y venta de hidrógeno (Ministerio de Energía, 2020). Los horizontes temporales estudiados de la proyección de los mercados chilenos de hidrógeno verde se aprecian en el **Gráfico 5**.

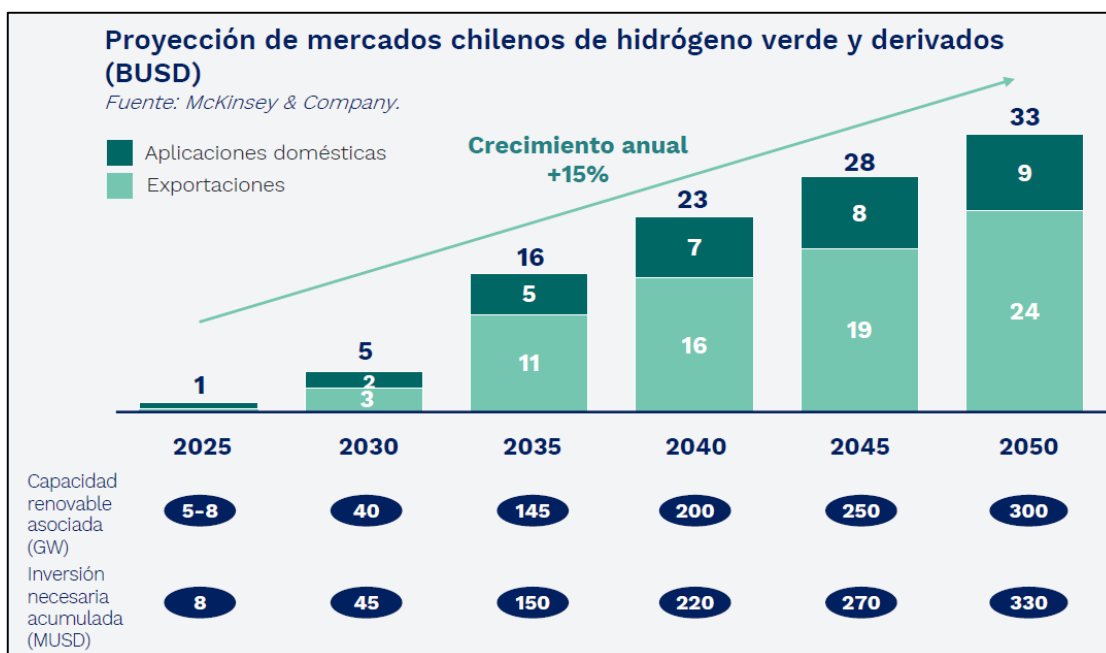


Gráfico 5: Proyección de mercados chilenos de hidrógeno verde y derivados en tramos temporales de 5 años. Fuente: Estrategia Nacional de Hidrógeno verde de Chile.

De la imagen presentada es posible determinar que la proyección de mercado de Exportaciones tiene un crecimiento considerablemente mayor respecto a la proyección doméstica, lo que se asocia a que el mercado internacional tiene un avance significativo en la tecnología y aplicación de Hidrógeno a nivel industrial o como combustible en transportes y que el Hidrógeno Verde en Chile tiene el costo de producción proyectado por Kilogramo producido de Hidrógeno Verde dentro de los horizontes temporales del estudio.

Según la estrategia, la primera aproximación a la producción del hidrógeno verde será su uso a nivel local, con la aplicación en la industria agrícola reemplazando el Amoniaco importado por producción local y se reemplazará el hidrógeno gris (que es producido por medio de emisión de gases de efecto invernadero) utilizado en las refinerías del país. Luego se utilizará el recurso para el área de transportes con la elaboración de combustibles sintéticos.

Dichos antecedentes marcan la tendencia mundial a los proyectos de producción y múltiples aplicaciones con hidrógeno, lo que permitirá globalizar el desarrollo e investigación de nuevas tecnologías asociadas al compuesto, por lo que se especula que el crecimiento del

desarrollo sea acelerado y su implementación sea en el corto plazo.

3.1.5 Modelo de Negocio de reconversión de vehículos usados industriales – Maquinaria pesada, de diésel a eléctricos mediante Fuel Cell.

El modelo de negocio propuesto por el equipo de investigación de la Universidad Técnica Federico Santa María y el equipo de Fraunhofer Chile presenta los siguientes detalles en los que se sustenta la investigación del proyecto de Retrofit en maquinaria pesada del sector industrial minero (Antonio Sánchez, 2021).

El modelo de negocio del servicio de Retrofitting con celda de combustible se realiza según el modelo definido por el modelo Canvas, el cual permite identificar las acciones claves para definir la estrategia y propuesta de valor del producto. Este modelo permite definir y crear el modelo de negocio en 4 áreas relevantes, que son: Clientes, Oferta, Infraestructura y Viabilidad Económica.

El modelo de negocio se sustenta en el siguiente esquema de proceso:

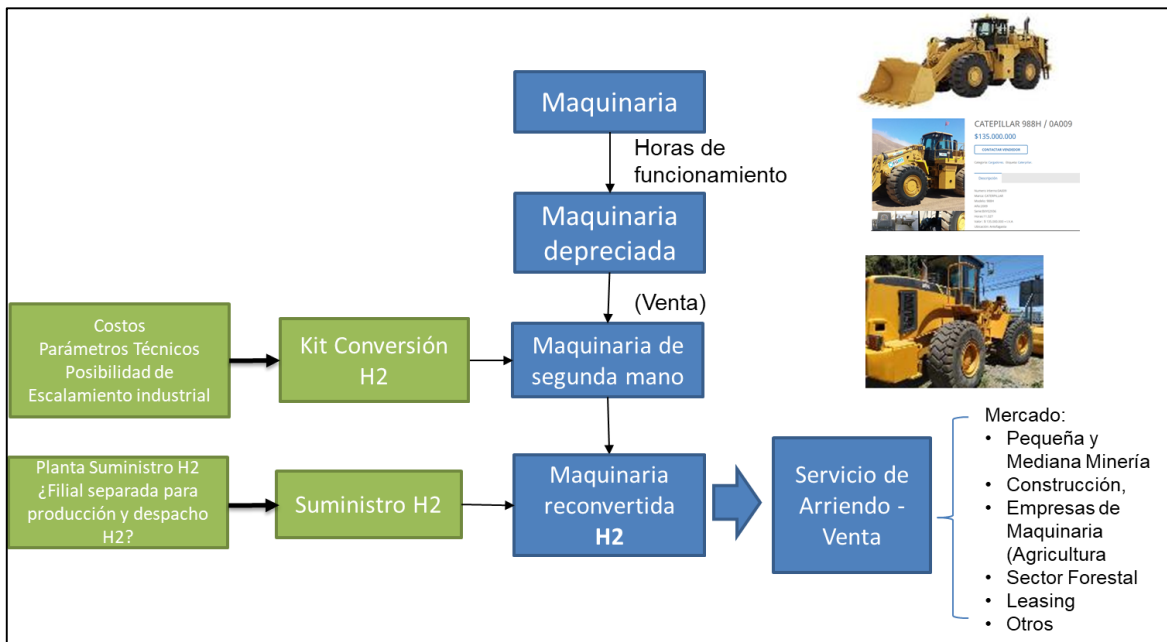


Figura 4: Esquema de proceso de servicio de *retrofitting* de maquinaria pesada, elaborada por el equipo de investigación de Fraunhofer Chile.

El esquema indica que la maquinaria pesada utilizada, una vez cumple su ciclo de vida de vida útil, se deprecia hasta ser considerada como una maquinaria de segunda mano (que suele utilizarse como parte de pago para la adquisición de nueva maquinaria), la cual puede ser intervenida con un kit de conversión de H₂, una vez se haya determinado los costos y beneficios asociados a la intervención técnica para reintegrar dicha maquinaria al mercado con un sistema de funcionamiento en base a hidrógeno para luego ser vendida, arrendada en múltiples industrias dependiendo de la maquinaria.

3.1.5.1 Asociaciones Clave.

Las asociaciones claves para un proyecto de reconversión de maquinaria a celda de combustible debería considerar:

- Unión estratégica con proveedores de equipos, para aprovechar economías de escala. Un ejemplo podría ser Ballard, Cummins, Komatsu, por mencionar algunos.
- Alianzas estratégicas con empresas que estén en rubro del arriendo de maquinaria. Como por ejemplo Salfa Maquinaria, Arrimaq, Kauffmann, Dercomaq, entre otros.
- Alianza con empresas que tengan equipos con potencial de conversión de diésel a hidrógeno con celda de combustible. Como mineras, forestales, empresas de rubro agrícola y sector construcción.

3.1.5.2 Actividades Clave.

Las actividades claves son los lineamientos para tener un plan de negocio exitoso, para esto se considera:

- Contar con el “*know how*” suficiente para desarrollar soluciones específicas para cada actividad. Ya sea minería, agroindustria, construcción, etc.
- Registros de consumo y línea base de la condición operacional actual. Para tener la referencia para comparar la implementación de la reconversión.
- Potenciales ahorros producto de la implementación de la conversión.
- Resolver suministro H₂.

3.1.5.3 *Propuesta de Valor.*

Con respecto a la propuesta de valor, se espera generar un impacto en las etapas de la reconversión desde sus inicios, de los que pueden destacar:

- Entregar a la faena un equipo sustentable y cero emisiones. Esto es transversal a todos los rubros del mercado como minería, forestal, construcción y agroindustrial.
- En algunos casos aumentar la autonomía en la operación del activo. Esto puede llevarse a cabo por la utilización de hidrógeno líquido, lo cual genera una mayor densidad energética y significaría un aumento de la autonomía del equipo. Esto puede lograrse aumentando las horas de utilización al disponer de menos tiempo entre recargas de combustible. Sin embargo, es una cualidad que no ha sido considerada en la evaluación económica.
- Solución equivalente o mejor en costo y condiciones de operación que Diésel. Se deja de depender de precio de combustible, se reemplaza OPEX (*Operational Expenditures – Costos de Operación*) por CAPEX (*Capital Expenditures – Costos de Capital*). Los costos operacionales por la utilización de la celda de combustible deberían ser más bajos debido que se tenemos partes móviles y la dependencia del lubricante debería eliminarse.

3.1.5.4 *Relaciones con Clientes.*

Con respecto a la relación con los clientes se recomienda:

- Relación presencial, con visitas a terreno. Mantener relación fluida, presencial y constante de apoyo mutuo.
- Información y canal de contacto por página web.
- Reuniones con actores claves: Mineras, empresas de arriendo de maquinaria.
- Desarrollo de Pilotaje en condiciones reales.
- Resolver dudas técnicas y operativas, atender consideraciones de seguridad.

3.1.5.5 *Segmentación de Clientes.*

Los clientes principales del Programa son en general empresas importadoras y representantes oficiales de las marcas de maquinaria pesada. Junto con el negocio principal de importación y venta de maquinaria nueva, estas mismas empresas operan el mercado de segunda mano y

retrofitting en diésel tradicional, luego el negocio de retrofitting hacia electromovilidad – FC, es un negocio complementario para ellos, extensión de su negocio actual. Las mineras no son clientes con un alto potencial, solo excepcionalmente, en caso de que operen flotas propias y se abran a “retrofitear” vehículos usados, pero será la excepción. A su vez OEM’s internacionales podrán ser clientes ‘indirectos’, a través de sus representantes y distribuidores locales, en primera instancia modificando equipos usados, pero para sus equipos nuevos, (fabricados en sus países de origen), se ve un poco más lejano considerarlos como clientes directos, esto con más probabilidad ocurrirá en etapas más avanzadas del programa.

3.1.5.6 Recursos Claves.

Los recursos claves para el proyecto de reconversión se identifican:

- Fuel Cells.
- Motores eléctricos.
- Hidrógeno.
- Personal capacitado.
- Otras partes como baterías, súper – capacitores, entre otros componentes auxiliares.

3.1.5.7 Canales.

Los canales para del proyecto pueden ser:

- Licenciamientos.
- Ofrecimientos de partes y piezas claves para la reconversión específica por sector productivo.
- Ferias y eventos especializados donde se interactúen los actores de la industria de la maquinaria.

3.1.5.8 Estructura de Costos.

Podemos identificar dos tipos de costos

- Fijos
 - Administración, Infraestructura (oficinas), Marketing y Gestión Comercial, Ingeniería (Evaluación y Desarrollo), Mantenimiento y Post-servicio.

- Variables
 - Ingeniería (desarrollo) y equipos de importación.

3.1.5.9 Fuentes de Ingreso.

Poner en valor kit de conversión y desarrollos intermedios mediante Start-ups, licenciamiento, spin-offs. Se conforma empresa y Consorcio aporta licencias mediante modelo de puesta en valor. Además, puede darse el caso que una protección intelectual genere ingresos por royalty.

3.1.6 Fuel Cells vs Otras Tecnologías.

De acuerdo a la teoría en vehículos livianos, que se encuentra en una etapa de desarrollo mayor que los vehículos de cargas pesadas y maquinarias especializadas, reportan un crecimiento del 35% en la industria de la producción de vehículos híbridos (Pollet et al., 2012). Un tren de potencia híbrido puede combinar dos de cualquier fuente de poder/energía. Típicamente un componente se utiliza para el almacenamiento y el otro para la conversión del combustible en energía disponible.

Los vehículos convencionales con ICE proveen de buen desempeño y largos rangos operativos por combustión de combustibles líquidos, con la ventaja de tener una alta densidad energética. Sin embargo, los vehículos ICE tienen la desventaja de tener una pobre economía del combustible y contaminación ambiental. Las principales razones de la pobre economía del combustible son:

- Discordancia entre las características de eficiencia del motor con condiciones de manejo del mundo real.
- Desperdicio de energía cinética del vehículo mientras se frena, especialmente en el manejo en condiciones de zonas urbanas.
- Desperdicio de energía durante motor en ralentí y en espera.
- Baja eficiencia en transmisión hidráulica en vehículos modernos bajo condiciones de manejo *stop-and-go*.

BEV (*Battery Electric Vehicle*) por otro lado tienen algunas ventajas sobre los vehículos ICE (*Internal Combustion Engine*) convencionales, como alta eficiencia energética y cero emisiones de GEI. Por otro lado, el rango limitado (un quinto del rango de un vehículo ICE) y largos tiempos de carga de batería (1 hora de carga completa) los hace ser mucho menos competitivos que los vehículos ICE, por la considerable diferencia entre la baja densidad energética de la batería, comparado con los combustibles líquidos. Los vehículos híbridos combinan los mejores atributos de las dos fuentes de poder descritas, gana las ventajas asociadas a los vehículos ICE y BEV sobreponiéndose a las desventajas. Los vehículos híbridos son más caros que los vehículos convencionales debido a los componentes extra y complejidad requerida, pero siguen siendo más baratos que los vehículos BEV debido a su alto costo en baterías.

Por otro lado, los FCEV (*Fuel Cell Electric Vehicle*) comparten mucho de los componentes que los BEV, tales como el motor eléctrico y controladores de poder o inversores, pero su mayor diferencia reside en su fuente principal de energía, el hidrógeno. FCEV utiliza celdas de combustible que son superiores a las baterías en múltiples maneras. La mayor ventaja es que la celda de combustible es más ligera, pequeña y pueden producir electricidad mientras el combustible esté disponible. Es posible determinar que los BEV son adecuados para vehículos pequeños y rangos pequeños, mientras que los FCEV son más adecuados para rangos medios-largos y son aplicables a vehículos de mayor tamaño. Si bien los FCEV poseen múltiples ventajas, también poseen ciertas limitaciones que están relacionadas con la celda de combustible y su combustible asociadas a la producción del hidrógeno, logística y almacenamiento.

Comparison of vehicle specifications from a consumers' perspective.				
	ICE (VW GOLF 1.4TSI)	Hybrid (Toyota Prius III)	BEV (Nissan Leaf)	FCEV (Honda FCX Clarity)
Power supply	IC engine	ICE, electric motor	Battery and electric motor	PEM fuel cells and electric motor
Fuel	Petrol, diesel and alternative fuel	Petrol/diesel as main fuel	'Electricity'	Hydrogen
Top speed (mph)	124	112	94	100
Acceleration (s)	9.5	10.4	7	10
Range (miles)	552	716	73-109	240
Purchasing price	\$29,400	\$33,400	\$41,250 (including \$8,000 government incentive)	\$80,000 (estimated)
Running fuel price (per mile)	\$0.22	\$0.14	From \$0.02	From \$0.07
Fuel economy (mpg or mpg equivalent)	45.6	72.4	99	81
Tailpipe CO ₂ Emission (g/km)	144	89	0	0

Tabla 1: Comparación de especificaciones de vehículos livianos con diferentes fuentes energéticas desde una perspectiva de consumidor. Fuente: (Pollet et al., 2012).

En la **Tabla 1** presentada, es posible apreciar las diferencias de los diferentes vehículos estudiados teniendo en consideración la distancia que pueden recorrer, su velocidad máxima y aceleración, precio de compra, emisiones y economías de combustible. De la tabla es posible apreciar que el valor del vehículo ICE es considerablemente menor, lo que es explicado por los beneficios de tener más de 150 años de experiencia y desarrollo para una tecnología que se sustenta de extremas economías de escala y refinamientos durante los años. El vehículo de hidrógeno en la tabla destaca por tener un mejor desempeño general que el BEV como vehículo cero emisiones, sin embargo, la diferencia de precios es casi el doble.

Comparison of petrol, hydrogen and electrical storage systems in four leading vehicles.				
	Conventional	Hybrid	Hydrogen	Battery
Reference vehicle	Volkswagen Golf VI	Toyota Prius III	Honda FCX Clarity	Nissan Leaf
Fuel weight (kg)	40.8	33.3	4.1	171 ^a
Storage capacity (kWh)	500	409	137	24
Specific energy (Wh primary/kg fuel)	12,264	12,264	33,320	140 ^b
Storage system weight (kg)	48	40	93	300 ^b
Specific energy (Wh primary/kg of storage)	10,408	10,261	1,469	80
Net power (kW)	90	100	100	80
Power plant and auxiliary weight (kg)	233	253	222	100
Specific energy (Wh primary/kg total equipment)	1,782	1,398	315	60
Average conversion efficiency	21%	35%	60%	92%
Effective storage capacity (kWh usable)	105.0	143.1	82.0	22.1
Specific energy (Wh usable/kg total equipment)	374	489	260	55

^a Bare laminated lithium-ion cells.
^b Including battery management and cooling systems.

Tabla 2: Comparación de sistemas en base de petróleo, hidrógeno y almacenamiento eléctrico en cuatro vehículos livianos líderes. Fuente: (Pollet et al., 2012)

En la **Tabla 2**, es posible posicionar al ejemplar de hidrógeno por sobre los otros tipos de vehículos por su alta energía específica, lo cual justifica el reducido compartimento destinado al almacenamiento del combustible de 4,1 [Kg]. Adicionalmente, la conversión energética promedio tiene sus mayores valores en los vehículos que producen cero emisiones, sin

embargo, no tienen los mejores rendimientos en términos de Almacenamiento Efectivo con los menores valores.

Otros estudios realizados en maquinaria pesada (Lao et al., 2021), detallan los consumos de diésel e hidrógeno para diferentes tipos de camiones utilizados en faenas mineras de China, en donde el hidrógeno utiliza alrededor del 17,92% de la cantidad requerida en [Kg] de Diesel. Los resultados y conclusiones de dicha investigación permiten tener una noción de que se podría replicar en un comportamiento similar en maquinaria pesada comparando el uso de sistemas en base a combustibles fósiles e hidrógeno. Los detalles se destacan en la siguiente tabla:

Table 3 – The fuel consumption rate of diesel HDTs and HFC-HDTs (kg/100 km)^a.						
Vehicle type	Fuel type	Gross vehicle weight (t)				
		14–24	24–25	25–29	29–31	31–60
Energy consumption per 100 km (kg/100 km)						
Tractor truck	Diesel	33.18	36.20	37.63	N/A ^b	40.07
	Hydrogen	5.95	6.49	6.74	N/A ^b	7.18
Dump truck	Diesel	25.79	29.06	31.25	32.26	33.18
	Hydrogen	4.62	5.21	5.60	5.78	5.95
Freight truck	Diesel	25.96	29.15	30.58	32.42	33.43
	Hydrogen	4.65	5.22	5.48	5.81	5.99
Special truck	Diesel	26.12	30.32	31.33	32.68	33.77
	Hydrogen	4.68	5.43	5.61	5.86	6.05

^a The energy consumption data of all-type trucks powered by hydrogen is converted from that of diesel trucks according to the working efficiency of diesel engine (40%) and hydrogen fuel cell (60%) since there are few hydrogen trucks at present.

^b Data of this type of trucks is missing since there are no tractor trucks in this tonnage.

Tabla 3: Consumo de combustible comparativo entre diésel e hidrógeno para camiones de diferente tonelaje. Fuente: (Pollet et al., 2012)

De la tabla es posible determinar que la relación de cantidad entre los dos tipos de combustibles se mantiene a pesar de la variación de tonelaje de los vehículos pesados estudiados. El análisis de costos comparativos es variable puesto que el valor de acceso del hidrógeno no está definido en Chile (ni su costo asociado a transporte y abastecimiento) y la volatilidad de los precios de combustibles derivados del petróleo es alta. Un estimado para el año 2030, considerando el valor del hidrógeno en 2 [USD/Kg] y un valor del diésel actual de 3,48 [USD/Gal] (publicado por el de Departamento de Energía de Estados Unidos), llenar un estanque de un *Tractor Truck* para recorrer 100 [Km] que transporte entre 12-24 [Ton] requiere de 33,18 [Kg] de diésel que equivalen aproximadamente a 34,4 [USD]

(considerando la transformación de que 1 galón es equivalente a 3,45 kilogramos de diésel); y con hidrógeno requiere un total de 5,95 [Kg] equivalente en costo a un total de 11,9 [USD].

Otra información relevante que entrega dicho estudio es el ratio de emisiones de distintos gases contaminantes por los vehículos que funcionan en base a diésel y su costo económico asociado para su obtención en fase *Upstream – Midstream – Downstream* que se encuentra en **Figura 5** y la **Tabla 4**.

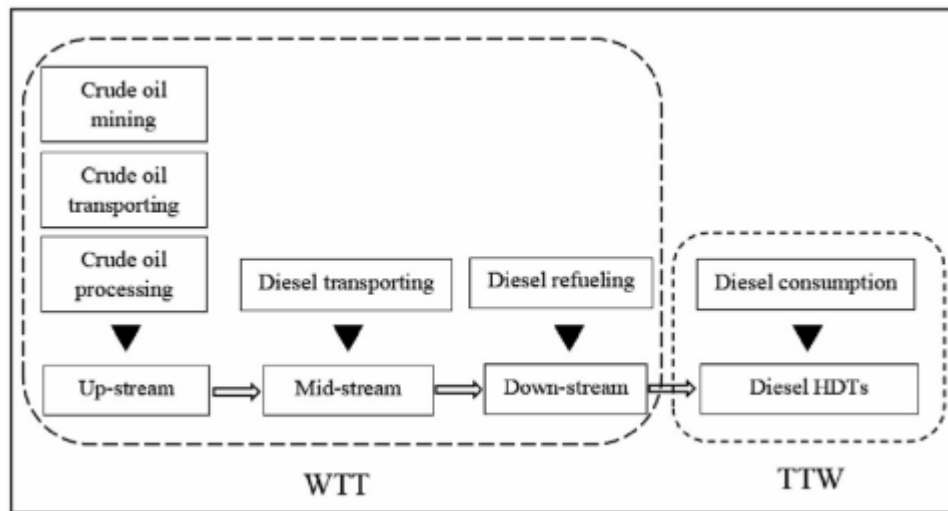


Figura 5: Ciclo de producción del diésel. Fuente (Lao et al., 2021).

		WTT			TTW	Total
		Up-stream	Mid-stream	Down-stream		
Hydrogen ^a	GHG (g CO ₂ /MJ)	CO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00
		CH ₄	0.00	0.00	0.00	0.00
		N ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00
	Pollutant (g/MJ)	GHG	0.00	0.00	0.00	0.00
		CO	0.00	0.00	0.00	0.00
		SOx	0.00	0.00	0.00	0.00
		NOx	0.00	0.00	0.00	0.00
	Economic cost (¥/MJ)	PM	0.00	0.00	0.00	0.00
		RMB	0.00	0.00	0.00	0.00
	Diesel	GHG (g CO ₂ /MJ)	CO ₂	12.13	0.38	0.02
CH ₄			4.30×10^{-4}	1.30×10^{-5}	7.53×10^{-7}	1.48×10^{-3}
N ₂ O			1.42×10^{-4}	4.38×10^{-6}	2.48×10^{-7}	0.03
Pollutant (g/MJ)		GHG	12.13	0.38	0.02	50.61
		CO	5.53×10^{-2}	1.71×10^{-3}	9.47×10^{-5}	0.35
		SOx	4.26×10^{-2}	1.32×10^{-3}	7.46×10^{-5}	0.03
		NOx	2.86×10^{-2}	8.85×10^{-4}	5.02×10^{-5}	0.20
Economic cost (¥/MJ) ^b		PM	1.56×10^{-2}	4.83×10^{-4}	2.74×10^{-5}	0.02
		RMB	0.10	0.02	2.04×10^{-4}	0.00

^a For the hydrogen each factor is equal to zero since there is no extra fossil energy input to any stage of hydrogen fuel cycle.
^b The primary energy price adopted in this study was updated in December 30th, 2019.

Tabla 4: Emisiones de gases de efecto invernadero y su costo económico asociado según etapa del ciclo de producción del combustible. Fuente (Lao et al., 2021).

De la tabla se obtiene que el procedimiento para elaborar el hidrógeno es completamente libre de emisiones de gases contaminantes, lo que lo vuelve una opción atractiva para reducir emisiones en el sector industrial por medio de la incorporación de la electromovilidad en vehículos pesados o de transporte fuera de ruta.

Cabe mencionar que en un estudio realizado se evaluó económicamente un proyecto de intervención de 6 maquinarias LHD mediante una sensibilización por modelo estocástico de Monte Carlo con sobre 10.000 iteraciones para determinar los escenarios favorables del proyecto por medio del comportamiento del VAN (Reyes-Valenzuela et al., 2021).

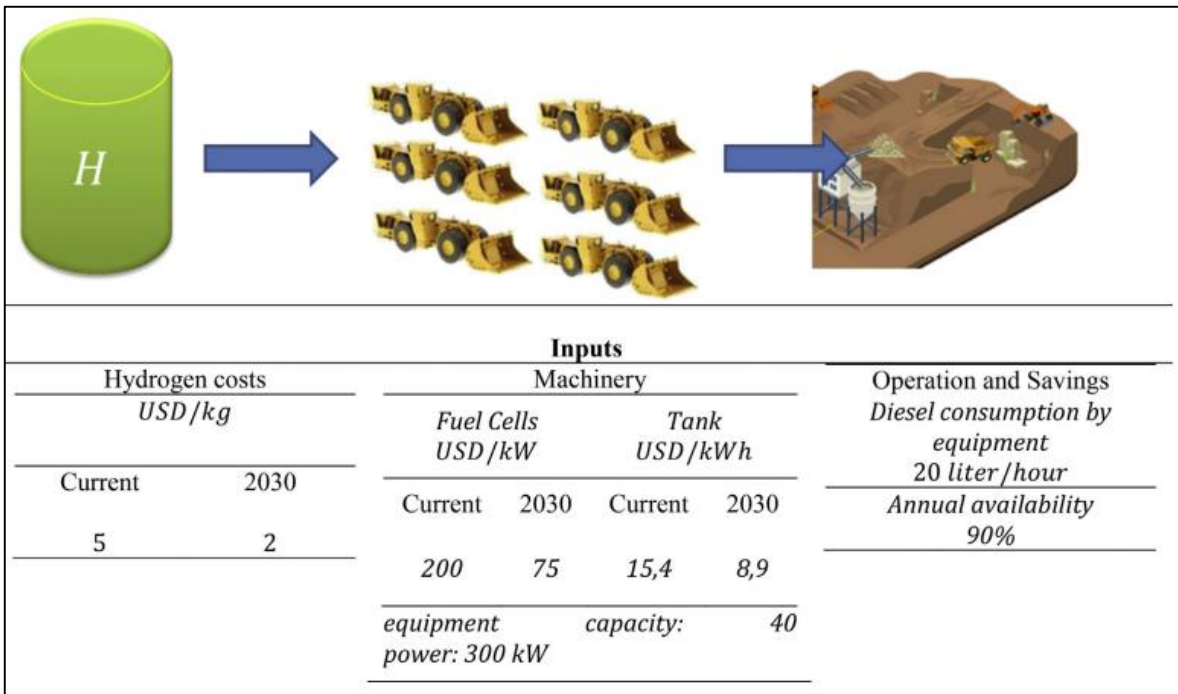


Figura 6: Parámetros y condiciones utilizados para el estudio de factibilidad en proyecto de reconversión de maquinaria pesada. Fuente:(Reyes-Valenzuela et al., 2021)

Los resultados de la investigación indican que los factores significativamente influyentes en el VAN del proyecto son las variaciones de precio del diésel, el precio del hidrógeno, impuestos a las emisiones de gases de efecto invernadero, y tecnología asociada a las celdas de combustible como se muestra en el siguiente gráfico:

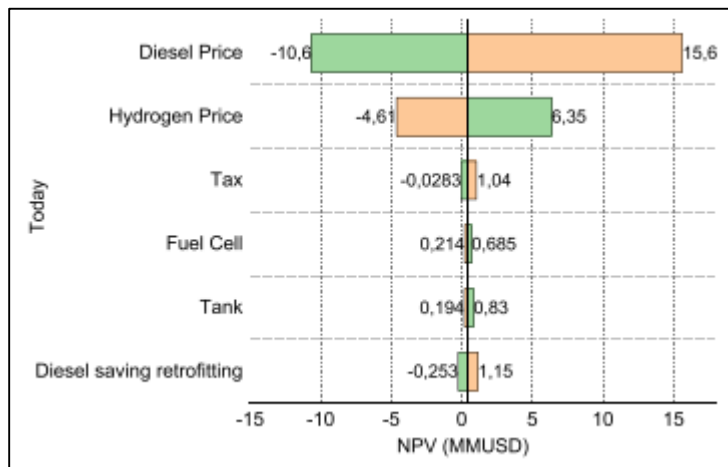


Gráfico 6: Efecto de las variables libres sobre el cálculo del VAN del proyecto. Fuente:(Antonio Sánchez, 2021).

Del **Gráfico 6** se puede extraer que el VAN del proyecto es sensible al valor del diésel, de forma que un valor del diésel extremadamente alto, puede aumentar el VAN del proyecto en un 15,6 [MMUSD], mientras que para para el escenario opuesto, podría resultar en un VAN de -10,6 [MMUSD]. Asimismo, es el caso del precio del hidrógeno, que cuando toma bajos valores, el VAN del proyecto puede obtener un VAN positivo de hasta 6,35 [MMUSD], mientras que, para altos valores de precio del hidrógeno, el VAN puede obtener un valor de -4,61 [MMUSD]. Del gráfico se intuye que las medidas de impuestos a las

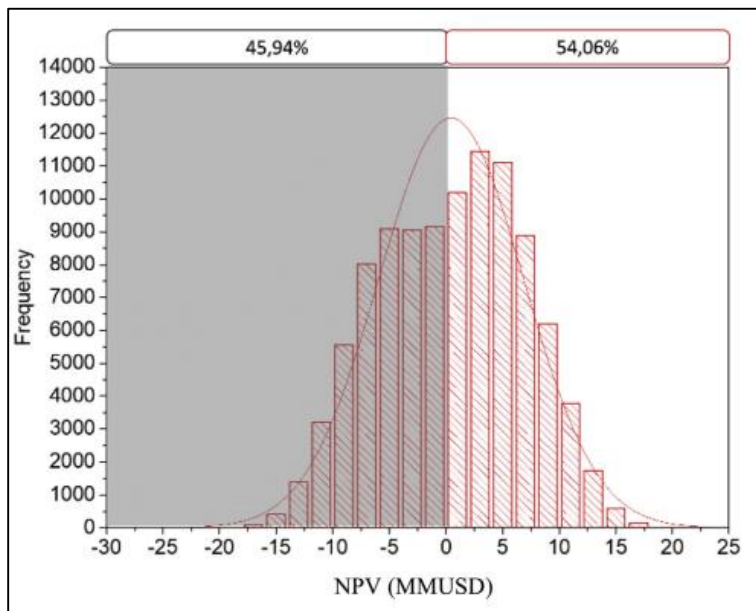


Gráfico 7: Simulaciones del VAN del proyecto de acuerdo a los supuestos considerados para los precios del escenario actual definido en la **Figura 6**. Fuente: (Antonio Sánchez, 2021).

De la simulación del VAN es posible apreciar que las posibilidades de éxito del proyecto son ligeramente superiores que las de fracasar, sin embargo, tiene altas limitaciones asociadas a la cadena de producción, logística y abastecimiento de hidrógeno que se presumen estarán definidas para el año 2030, considerando un precio de comercialización asociado al pronóstico de precios planteado con resultados alentadores. Dado que existe una dependencia del valor del VAN con el valor de precio del hidrógeno, el escenario será más atractivo a futuro a medida que se desarrollan programas y proyectos asociados al hidrógeno. Al año 2021 se ha publicado la estrategia nacional de hidrógeno verde y la estrategia climática a largo plazo presentada por el gobierno en la COP-26 que consideran al hidrogeno como un nuevo vector energético. El desarrollo de la industria del hidrógeno a nivel nacional, puede favorecer el desarrollo de proyectos como el estudiado, sin considerar las modificaciones e incremento de sanciones en emisiones de efecto invernadero para hacer frente a la crisis climática.

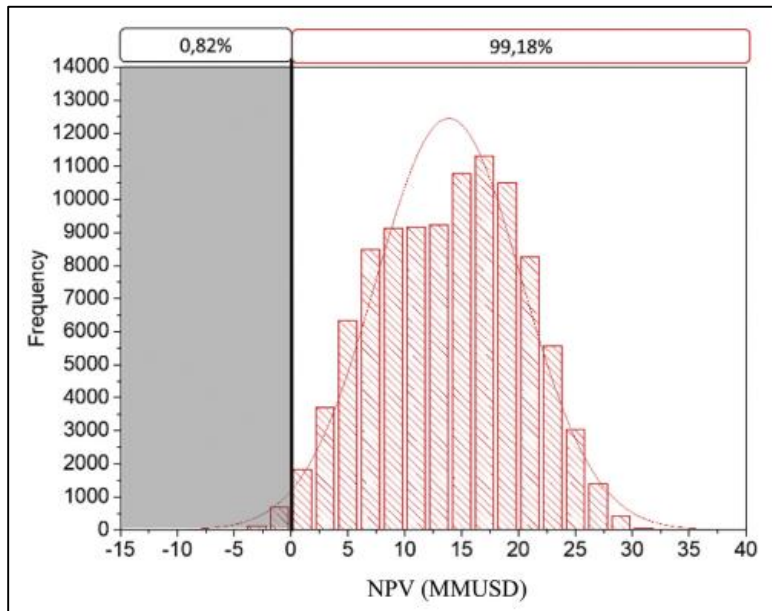


Gráfico 8: Simulaciones del VAN del proyecto de acuerdo a los supuestos considerados para los precios del escenario en el 2030 definido en la **Figura 6**. Fuente:(Antonio Sánchez, 2021).

Es posible apreciar que para el año 2030, de acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación, la situación es completamente favorable para el desarrollo del proyecto de acuerdo a las estimaciones de precios del hidrógeno y el resto de condiciones.

Para analizar en detalle la relación entre el precio del hidrógeno y el precio del diésel para la factibilidad del proyecto se destaca el siguiente gráfico:

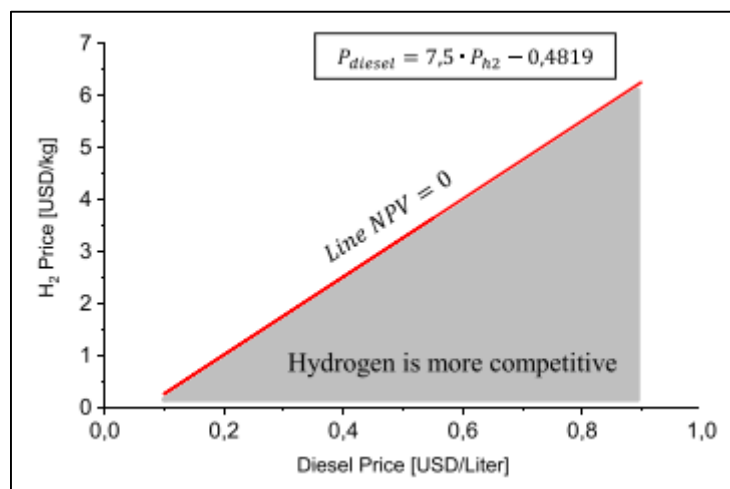


Gráfico 9: Ratio entre el precio por kilogramo de hidrógeno y el precio por litro de diésel con la línea roja marcando el VAN = 0 del proyecto. Fuente:(Antonio Sánchez, 2021).

En conclusión, el desarrollo y aplicación de esta nueva tecnología depende directamente del valor del precio de combustible para hacer más atractivo o no el proyecto de reconversión de maquinaria. Esta gran influencia del valor del combustible se debe a que existe una reducción significativa de costo operacional de la maquinaria por el valor del combustible que utiliza. Cabe mencionar que, el estudio considera impuestos a las emisiones actuales tanto para el caso actual y el de 2030, por lo que ante futuros cambios en la política de emisiones que agraven las emisiones de GEI, el proyecto podría aumentar su factibilidad.

4. Metodología y Procedimiento de la Investigación

En el siguiente punto se detalla el paso a paso del procedimiento llevado a cabo para alcanzar los objetivos específicos descritos, con el fin de representar el procedimiento lógico y herramientas aplicadas para llevar a cabo la investigación.

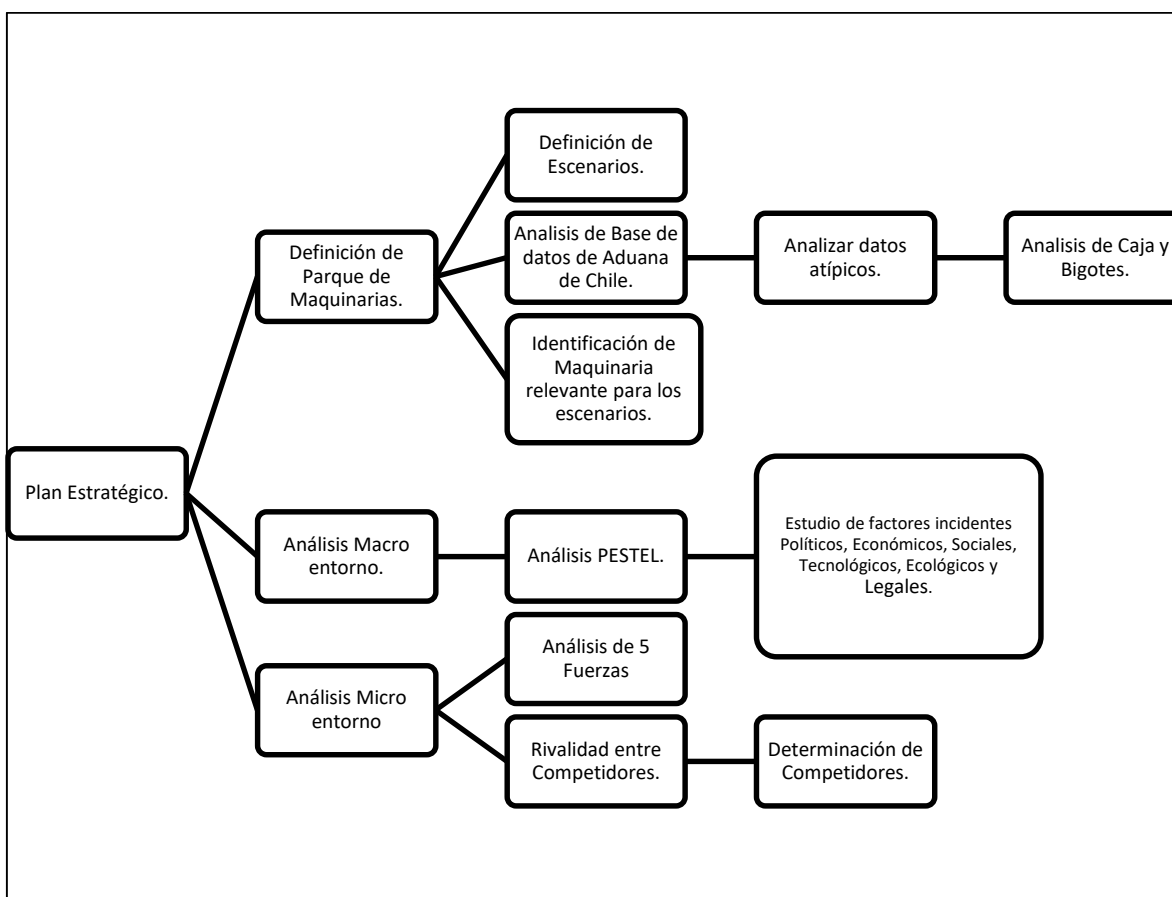


Figura 7: Esquemmatización de la metodología utilizada para alcanzar los objetivos planteados.
Elaboración Propia.

4.1 Definir e identificar el mercado potencial en la industria.

La identificación del mercado potencial estará enfocada mayormente en la minería, tanto en la cifra de maquinaria que puede ser intervenida como los talleres que podrían proporcionar el servicio de acuerdo al modelo de negocio establecido.

Para comenzar, se trabajó la base de datos del año 2020 del Servicio Nacional de Aduanas, que corresponde a las importaciones por Código Arancelario de los productos. Para

determinar qué aranceles son de utilidad, se utiliza de referencia el trabajo previo de determinación del parque de Maquinaria de Mauricio Reyes (Reyes-Valenzuela et al., 2021), en donde se detalla el nombre de la maquinaria, su clasificación y la Descripción de los productos de acuerdo a su código arancelario.

Cabe mencionar, que el parque de maquinaria importada no es específico de la industria minera, puesto que contempla maquinarias de otras industrias como Quitanieves, Tractores, aplanadoras, etc. Para el estudio del parque de maquinaria se definen 2 escenarios: Maquinaria Importada en la industria minera y maquinaria transversal (presente en múltiples industrias).

Cabe mencionar que los datos registrados por el servicio de Aduanas de Chile se consideran como maquinaria NUEVA que se integra al parque de maquinarias actual en el país.

Dado que los datos entregados por el servicio de Aduanas se encuentran en cifras, se identifican y filtran los datos que poseen decimales, y aquellos que poseen cifras muy elevadas en comparación con el resto para ser analizados y ser intervenidos en caso de que sea necesario. Adicionalmente, se obtiene el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación para determinar qué aranceles son aquellos que presentan datos NO representativos, bajo el criterio de un valor superior de 2,1 de coeficiente de variación, definido por el equipo de Fraunhofer Chile. Dicho coeficiente se obtiene de dividir la desviación estándar por el promedio de una serie de datos, y permite cuantificar la dispersión de los datos. Ante altos niveles de dispersión (superiores a 2,1) se determinó que existen datos no representativos por sus altos valores en comparación con el resto.

Como acto seguido, se eliminaron los datos que no cumplen el criterio definido y se truncan los valores de la tabla con decimales, puesto que los datos corresponden a UNIDADES de maquinaria importada. Luego, para los datos restantes al borde del criterio de coeficiente de variación, que poseen un alto valor, se procede a realizar Análisis de Caja y Bigotes para identificar si los datos corresponden a datos atípicos.

Se trabaja el Análisis descrito en donde 13 aranceles (tipos de maquinaria específica) son analizados como se muestra en el documento de Excel adjunto. Para los aranceles que presentan datos atípicos, se procede a cambiar el valor atípico por el límite de bigote superior máximo para no eliminar la información e impactar de forma negativa en la representatividad de los datos. Para aquellos aranceles que no poseen datos atípicos, no se intervienen. Los análisis de caja correspondientes se encuentran en el Anexo de Gráficos (**Gráfico 27 - Gráfico 39**) a los cuales se hará referencia por una letra asignada de la A hasta la M. Finalmente, se obtienen las importaciones por año segmentadas por tipo de maquinaria. Los gráficos y su análisis correspondiente se encuentran en la **sección 9.5** del Anexo de contenido.

Una vez finalizado el análisis de caja con las intervenciones correspondientes, la base de datos se encuentra disponible para ser utilizada y analizada.

Se plantean dos escenarios para determinar el parque de maquinarias:

- **Escenario 1:** Se estudia exclusivamente la Maquinaria que participa en la industria minera. En la **Figura 8** se aprecia el diagrama de conjunto.

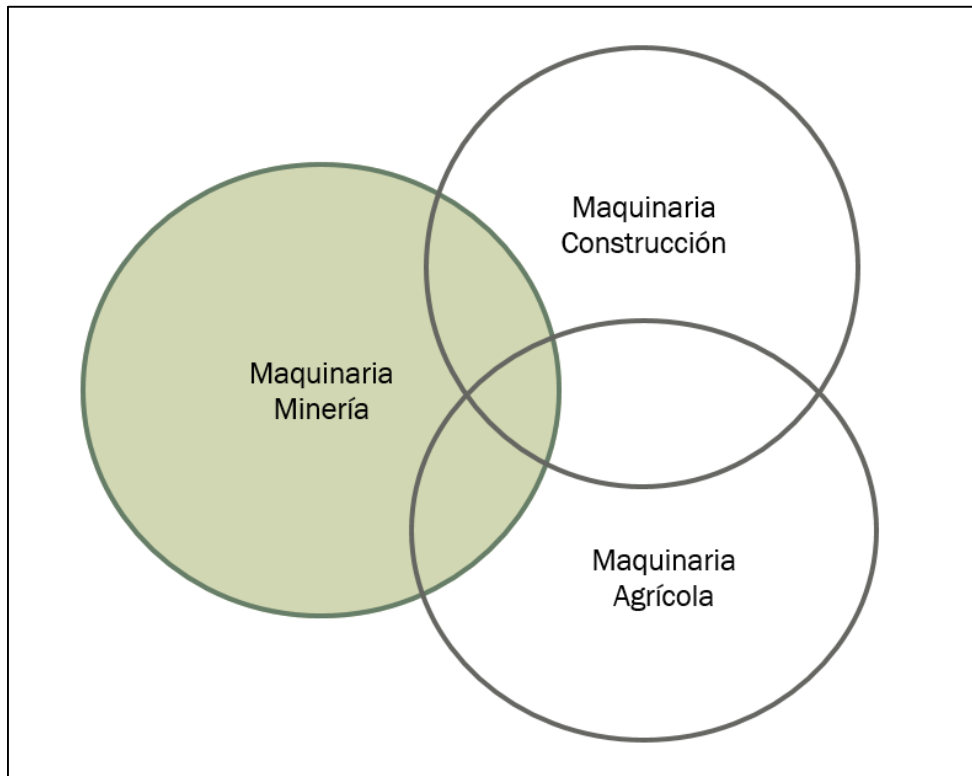


Figura 8: Diagrama de conjunto de Maquinarias en diferentes industrias. La zona coloreada corresponde a la maquinaria que participa en la industria minera, tal como es descrito en el Escenario 1. Elaboración Propia.

Para la maquinaria que también está presente en otras industrias, como los cargadores frontales, grúas horquilla y excavadoras, se realiza una aproximación porcentual de la maquinaria que pertenece a la industria minera por el porcentaje de aporte al PIB Nacional de cada actividad económica de acuerdo a los registros de la ODEPA.

Para estimar el porcentaje de maquinaria que participa en la industria minera se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se identifican las industrias de interés en los registros de la ODEPA que utilizan las maquinarias importadas, que corresponde a la industria Agropecuaria-Silvícola, Minería y Construcción, destacados en la **Tabla 5**.

2. Actividad económica		Millones de pesos encadenados ^{4 5}					
Actividad económica	2008	2009	2010	2011¹	2012²	Promedio	Porcentaje relativo
Agropecuario - silvícola	2.711.891	2.594.121	2.603.169	2.918.411	2.900.471	2.745.612	2,75%
Pesca	405.094	347.386	346.794	382.405	388.962	374.128	0,38%
Minería	13.164.592	13.028.242	13.218.971	12.639.027	13.183.883	13.046.943	13,08%
Industria manufacturera	10.506.172	10.060.808	10.318.155	11.104.266	11.392.208	10.676.322	10,70%
Electricidad, gas y agua	2.498.997	2.843.577	3.090.173	3.443.218	3.670.399	3.109.273	3,12%
Construcción	6.891.485	6.523.534	6.642.910	7.145.839	7.724.529	6.985.660	7,00%
Comercio	7.916.055	7.385.247	8.614.056	9.614.331	10.417.421	8.789.422	8,81%
Restaurantes y hoteles	1.250.229	1.252.935	1.315.771	1.453.378	1.512.498	1.356.962	1,36%
Transporte	4.462.918	4.033.107	4.352.219	4.668.561	4.863.462	4.476.053	4,49%
Comunicaciones	1.856.790	1.957.562	2.166.158	2.305.241	2.464.066	2.149.963	2,16%
Servicios financieros	4.868.571	5.055.666	5.413.871	5.969.144	6.564.709	5.574.392	5,59%
Servicios empresariales	11.443.187	11.503.267	12.252.735	13.267.452	14.142.015	12.521.731	12,55%
Servicios de vivienda	4.600.617	4.766.551	4.801.816	4.922.844	5.072.302	4.832.826	4,85%
Servicios personales	9.502.672	9.788.294	10.283.205	10.882.021	11.529.256	10.397.090	10,42%
Administración pública ³	3.808.922	4.059.870	4.171.397	4.199.178	4.413.347	4.130.543	4,14%
Impuesto al valor agregado	7.386.977	7.223.060	8.096.626	8.875.520	9.424.833	8.201.403	8,22%
Derechos de importación	572.764	452.035	587.432	610.664	661.127	576.804	0,58%
PIB volumen a precios del año anterior encadenado	93.847.932	92.875.262	98.227.638	103.974.622	109.750.797	99.735.250	100,00%

Tabla 5: Aporte de PIB anual por sector económico desde el 2008-2012 de la ODEPA. El porcentaje relativo de la participación del PIB es acorde al promedio aportado por el sector económico durante los años del estudio. Fuente: ODEPA.

- Una vez identificados los valores en las 3 industrias de interés, se realiza una matriz y se identifican los aportes porcentuales al PIB contemplando como universo total solo las 3 industrias mencionadas. En la **Tabla 6** se puede ver el

aporte anual de cada uno y su promedio respectivo, que será utilizado para la aproximación. De esta forma, de la maquinaria que está presente en múltiples industrias, se estima que el 12% pertenece a la industria agrícola, 57% a la minería y 31% de construcción bajo el supuesto de que un mayor aporte al PIB requiere de una mayor necesidad de activos.

Matriz Porcentual	2008	2009	2010	2011	2012	Promedio
Agrícola	12%	12%	12%	13%	12%	12%
Minería	58%	59%	59%	56%	55%	57%
Construcción	30%	29%	30%	31%	32%	31%

Tabla 6: Matriz de aporte porcentual contemplando las 3 industrias de interés en los años del 2008-2012 de acuerdo a los datos de ODEPA. Fuente: Elaboración propia.

3. Teniendo los porcentajes correspondientes a la industria de la minería (57%), se multiplica dicho factor por la maquinaria transversal, en la que están consideradas las Niveladoras, Grúas Horquilla, Compactadoras y Aplanadoras, Cargadores Frontales, Palas Cargadoras de Cargador Frontal y las excavadoras continuas de cuchara, garras o cangilones excavadores que participan en otras industrias.

Una vez realizado los 3 pasos, se obtiene la **Tabla 7** que refleja el parque de maquinaria importada para la industria minera desde el año 2012 al 2020 de acuerdo a los datos trabajados de aduana de Chile.

Homologación	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Buldozer	328	146	77	62	44	105	145	194	90
Camiones Fuera de Carretera	103	115	53	29	17	23	55	108	81
Cargador Frontal	1150	1060	4103	655	4103	625	768	664	432
Compactador de Placas	87	327	56	260	52	9	50	582	37
Compactadora de Rodillo	519	353	153	172	137	151	257	240	66
Dumper	660	313	174	124	123	150	244	193	179
Excavadora	1383	1485	691	802	867	1092	1485	1474	822
Grúa	1866	1046	507	509	221	1283	443	241	148
Grúa Horquilla	614	548	377	364	372	433	531	610	372
Minicargador	83	52	20	29	88	143	143	18	10
Niveladoras	162	158	79	73	80	89	180	101	41
Otros Equipos Mineros Subterráneos	341	219	837	195	39	289	445	493	712
Perforadora	1223	669	736	408	242	1624	265	602	780
Tractores/Cargadores/Retroexcavadoras	1872	23527	664	1093	23560	1029	1161	1050	485
Zanjadora	79	49	19	42	57	61	77	65	45
Total general	10469	30066	8546	4818	30002	7107	6249	6634	4300

Tabla 7: Importación final de maquinaria en la industria minera. La maquinaria destacada corresponde a las 3 que tienen la mayor importación total. Elaboración propia.

- **Escenario 2:** Se estudia la maquinaria transversal en las industrias, en la **Figura 9** se aprecia el diagrama de conjunto correspondiente.

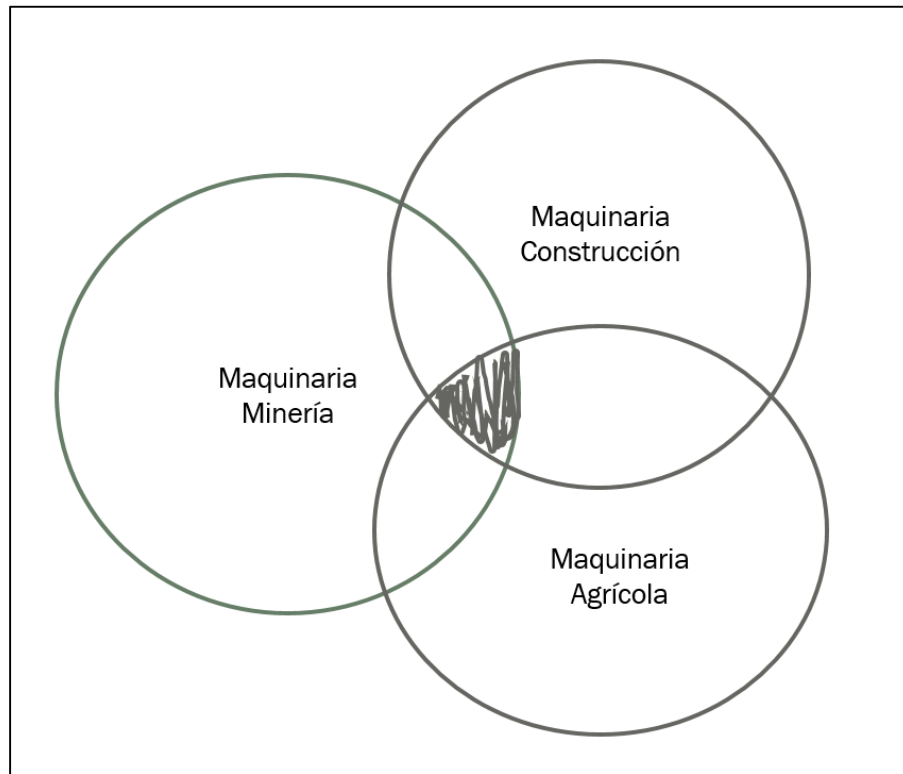


Figura 9: Diagrama de conjunto de maquinarias en diferentes industrias. La zona achurada corresponde a la maquinaria transversal que participa en las diferentes industrias, descrito como el Escenario 2. Elaboración propia.

La maquinaria que participa en el Escenario 2 son las Grúas Autopropulsadas, Grúas Horquilla, Compactadoras y aplanadoras, Cargadores frontales, palas cargadoras de carga frontal, excavadoras cuya estructura puede girar en 360° y vehículos de transporte fuera de carretera con una carga máxima inferior a 20 toneladas.

La **Tabla 8** refleja las cifras de importación de maquinaria transversal importada.

Homologación	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Camiones Fuera de Carretera	4	1	13	3	3	6	1	7	9
Cargador Frontal	2006	1849	7160	1143	7160	1090	1341	1159	753
Compactador de Placas	151	571	98	454	90	16	87	1015	65
Compactadora de Rodillo	906	616	267	301	239	264	449	419	116
Excavadora	1383	1485	691	802	867	1092	1485	1474	822
Grúa	372	398	307	189	115	113	235	172	90
Grúa Horquilla	1071	956	657	636	650	756	926	1064	650
Minicargador	145	91	35	50	154	250	250	31	17
Total general	6038	5967	9228	3578	9278	3587	4774	5341	2522

Tabla 8: Importación final de maquinaria transversal. La maquinaria destacada corresponde a las 3 que tienen mayor importación total. Elaboración propia.

Con las tablas de datos obtenidas para cada escenario, ya es posible hacer un análisis sobre las importaciones de maquinaria en los escenarios propuestos y la interacción de la curva de importación con otros indicadores de interés como el precio del cobre, el PIB, entre otros.

4.2 Analizar la relación de rivalidad entre las firmas participantes en la industria del retrofit de maquinaria pesada, mediante análisis de Porter.

Se determina que el método a utilizar es el estudio de Rivalidad para definir y analizar la industria por medio de la herramienta de las fuerzas de Porter, con el fin de tener una imagen de la industria donde se desarrollaría el Retrofit mediante la interacción de los competidores, considerando sus tecnologías, proveedores, clientes y tamaño.

El análisis conocido como Las 5 Fuerzas de Porter es una herramienta estratégica para identificar a los competidores dentro de una industria y como se relacionan con su entorno, como la factibilidad de entrada de nuevos competidores, acceso y relación con proveedores, acceso y relación con clientes y firmas que proveen de productos y servicios sustitutos, para tomar decisiones estratégicas. Dentro de la misma industria se analiza la interacción y rivalidad entre las firmas participantes y su comportamiento de acuerdo a las cuotas de mercado de cada uno y la concentración de mercado en las diferentes firmas.

Los actores de interés para la investigación son aquellos que ofrecen el servicio de reparación y mantenimiento de maquinaria pesada, además de proveer el servicio de Retrofit y Overhaul de maquinaria o partes y piezas en las mineras de Chile.

Para cumplir el objetivo, es necesario determinar los actores que participan en la industria del Retrofit. Se determinó los actores presentes de acuerdo al conocimiento de la industria de Marco Vaccarezza y Mauricio Reyes, además de buscar colaboradores presentes en la Asociación de Industriales de Antofagasta¹ y la Asociación de Proveedores industriales en la Minería². Ambos entes actúan como gestores que favorecen el desarrollo y actividad de la industria minera en Chile.

A partir de la investigación se determinaron un total de 24 empresas que son las siguientes:

Firmas de Industria del <i>Retrofit</i> al año 2021		
Power Train Technologies	Emeser	MECAMIN
Epiroc / Atlas Copco	SRH TRALREF	GHH
Sorena	CONFIPETROL	L&H CHILE
SKC Maquinarias	FLUITEK	MAX SOLUTIONS
He Parts – International	FARIAS INVERSIONES	SALFA MAQUINARIAS
Fukushi	TALLERES LUCAS	DERCOMAQ – Chile
Anexus	ZAMINE – Chile	LIEBHERR
Maestranza Diésel	ATACAMA LTDA	FINNING CAT

Tabla 9: Firmas que proveen el servicio de *retrofit* a Maquinaria Pesada en la industria de la Minería. Elaboración Propia.

Para las 24 firmas antes mencionadas, se buscaron criterios para determinar la participación de mercado que tiene cada una. Los criterios considerados son la cantidad de años de experiencia de la organización, la cantidad de talleres que tienen, cantidad de países en que está presente la marca, tamaño de la organización, certificaciones (ISO 9001, ISO14001 y OHSAS18001), y presencia en las regiones en donde se concentra la actividad minera (Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Región Metropolitana). A continuación, se presenta un fragmento de la tabla realizada:

¹ [Socios de la Asociación de Industriales de Antofagasta.](#): Corresponde al Gremio minero industrial con más de 75 años de historia que trabaja en función del desarrollo regional y sustentabilidad del sector industrial.

² [Empresas asociadas a la Asociación de Proveedores industriales en la Minería.](#)

Empresa	RUT	Años de Exp.	# de Talleres	# de Países Presentes
Power Train Technologies	96849300-0	20	5	4
Epiroc / Atlas Copco	91.762.000-8	65	162	161
Sorena	92261000-2	80	2	1
SKC Maquinarias	76410610-5	61	10	1
He Parts - International	78279030-7	15	31	7
Fukushi	77.039.300-0	70	1	1
Anexus	76756629-8	30	1	1
Maestranza Diesel	92730000-1	70	5	3
Emeser	76275529-7	25	2	2
CONFIPETROL	76.050.301-0	20	46	4
FLUITEK	96946910-3	30	2	1
FARÍAS INVERSIONES	76093010-5	17	2	1
TALLERES LUCAS	83156400-8	50	4	1
ZAMINE-Chile	76.377.755-3	35	1	67
ATACAMA LTDA	77783050-3	5	1	1
MECAMIN	77800010-5	10	2	1
GHH	76174334-1	9	2	2
L&H CHILE	76009937-6	57	8	4
MAX SOLUTIONS	76778336-1	5	1	1
SALFA MAQUINARIAS	91502000-3	80	16	1
DERCOMAQ - Chile	96545450-0	20	75	1
LIEBHERR	77461750-7	72	150	50
FINNING CAT	91489000-4	85	110	6
KOMATSU	96.843.130-7	100	56	20
Puntajes	-	50	30	30

Tabla 10: Extracto de tabla de puntajes de proveedores de servicio de *retrofit* en Chile. Otros criterios no representados en la tabla son si presentan sucursal en las principales regiones de Chile donde se desarrolla la minería, el tamaño de la empresa y sus certificaciones. Elaboración Propia.

Para determinar la relación de rivalidad entre las firmas competidoras, se utilizaron los siguientes indicadores:

Se calcula el indicador **C4**, que corresponde a la suma de la participación de mercado de las 4 firmas líderes, con el fin de determinar si existe un poder de mercado significativo que manejen las 4 firmas principales por sobre el resto de los competidores.

El indicador de **Herfindahl-Hirschmann**, detallado en la **Ecuación 1**, permite analizar la industria de acuerdo al tamaño de los participantes. Particularmente, el indicador refleja el comportamiento de las firmas, ya sea como Monopolio (valor 1) o como competencia perfecta (valor 0).

$HH = \sum_{i=0}^n P_i^2, \quad i = 1, 2, \dots, n$	(1)
<ul style="list-style-type: none"> • P_i es la participación de mercado de la i-ésima firma medida en unidades. 	

Ecuación 1: Índice de Herfindahl-Hirschmann (HH).

Adicionalmente, se utiliza el índice de **Desigualdad de Ginni**, capaz de medir la homogeneidad de las firmas, en donde toma el valor de 1 para el caso extremo de desigualdad y 0 para homogeneidad. El detalle del indicador se encuentra en la **Ecuación 2**.

$G = \frac{2 \sum_{i=1}^n i * P_i}{n \sum_{i=1}^n P_i} - \frac{n-1}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n$	(2)
<ul style="list-style-type: none"> • P_i es la participación de mercado de la firma i (medida en fracción). • n es el número total de firmas en la industria. <p>Nota: Tomar en cuenta que la ecuación 2 solo funciona con participaciones de mercado ordenadas de menor a mayor.</p>	

Ecuación 2: Índice de Desigualdad de Ginni.

5. Resultados y Discusión.

5.1 Actualización de Parque de Maquinaria y su Comportamiento

De acuerdo a los registros de importación de aduanas se obtuvieron los siguientes resultados para los diferentes Escenarios.

- **Escenario 1:** Referente al primer escenario, es posible apreciar en el **Gráfico 10** que la curva de Importaciones tiene una leve tendencia a la baja en los últimos 3 registros, y una alta variación en los primeros 6 registros.

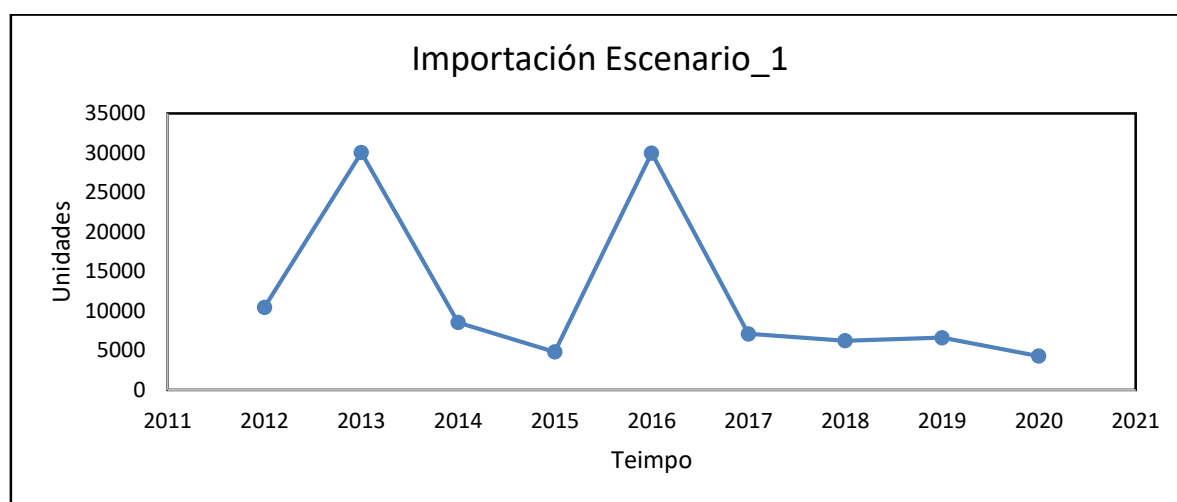


Gráfico 10: Importación de Maquinaria Exclusiva Minera No Agregada en Unidades.
Fuente: Aduanas de Chile. Elaboración propia.

Es posible asociar la data del año 2013 a la masiva producción de cobre en ese año. De acuerdo a la noticia publicada por el Portal Minero (2014), Chile bate el record de producción de cobre alcanzando 5,7 Millones de Toneladas métricas de cobre fino, según balance de la SONAMI. Teniendo esta masiva producción en consideración, es posible determinar que una gran producción requiere de activos que permitan alcanzar dichas cifras, por lo que se adquirió más maquinaria durante ese año. Sin embargo, en el año 2016 se registró una menor producción de Cobre, que fue de 5,5 millones de toneladas, que fue el registro más bajo desde el 2012 (Portal Minero, 2017). De acuerdo a los expertos, las razones fueron factores geológicos, como el agotamiento y la baja en la ley de mineral, así como su mayor dureza y profundidad

producto del envejecimiento de las faenas. De acuerdo a la problemática descrita, es posible deducir que se necesita de una mayor inversión en tecnología para hacer frente a los obstáculos geológicos que presentan las faenas producto de su envejecimiento y profundidad del mineral, justificando la importación de maquinaria registrada en ese año.

Con el propósito de explicar el fenómeno, se estudiaron factores de interés que podrían incidir en la cantidad importada de maquinaria registrada en la **Tabla 7**. Los factores de interés seleccionados fueron el PIB de Chile y el valor de comercio del Cobre ³(BML/LME y COMEX)⁴. Al comparar simultáneamente la Importación del Escenario 1, el PIB y el valor del cobre se obtiene el **Gráfico 11**.

³ [Precio del Cobre Refinado Nominal y Real – Comisión Chilena del Cobre – Dirección de Estudios.](#)

⁴ El BML/LME es el precio que fija la Bolsa de Metales de Londres (BML o LME por su sigla en inglés), mientras que el precio fijado por COMEX corresponde al precio fijado por El Commodity Exchange, INC que es la mayor bolsa de comercio de futuros de metales a nivel mundial.

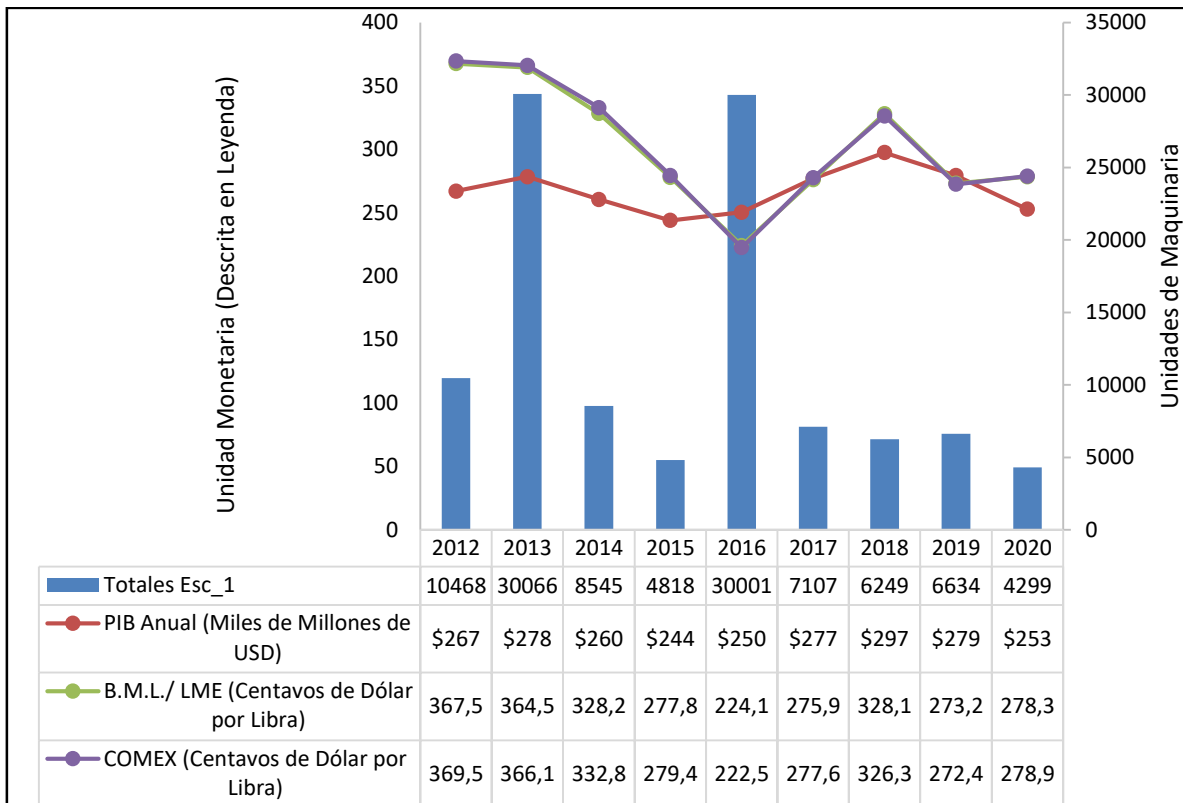


Gráfico 11: Importación de Maquinaria Escenario 1 vs PIB Anual vs Precio de comercio del Cobre (Centavos de Dólar por Libra). Elaboración propia.

Del gráfico obtenido, es posible identificar que existe una relación en el comportamiento del PIB y el valor del Cobre, sin embargo, ninguna de las 2 tiene relación directa con la magnitud de las importaciones de maquinaria, por lo que no describen el fenómeno. Es interesante destacar que para el año 2013 los 3 elementos estudiados tienen cimas notorias, pero que en el año 2016 contrastan, dado que el valor del PIB y el precio de comercio del cobre decrece.

Otro factor interesante de analizar, es el monto de inversión en la minería. De acuerdo a los datos de inversiones en la industria minera chilena publicados en *Statista* se obtuvo el siguiente gráfico:

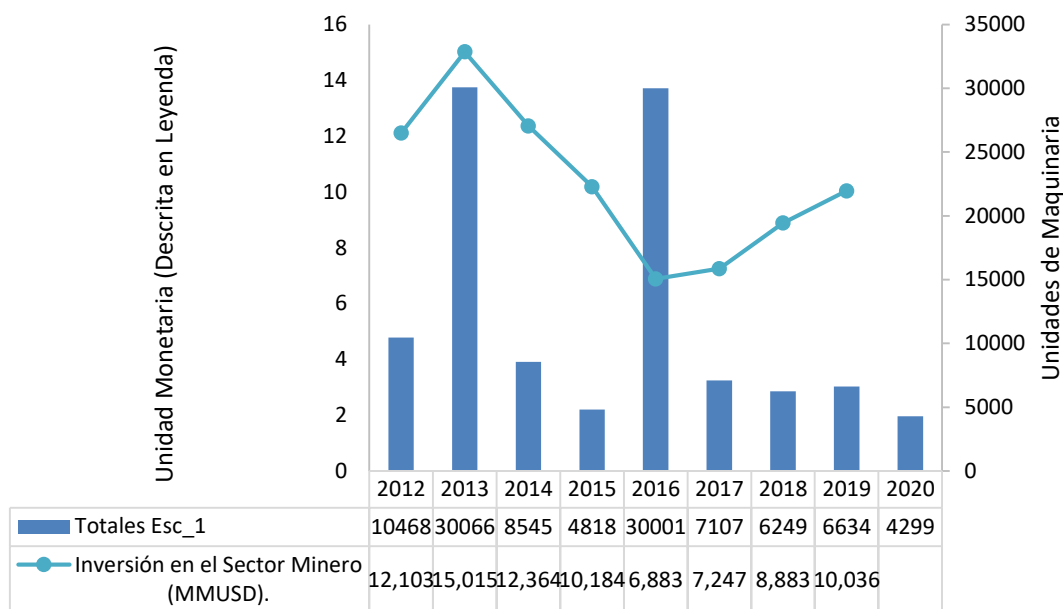


Gráfico 12: Importación de Maquinaria Escenario 1 vs Inversión en el sector minero de Chile en [MMUSD]. Elaboración propia.

Del **Gráfico 12** se aprecia un comportamiento similar en los primeros 4 registros (del año 2012 al 2015), sin embargo en el año 2016 existe una caída considerable de la inversión, que contrasta con la cantidad de maquinaria importada. En los datos posteriores no se aprecia una relación notoria. Es posible explicar la baja en la inversión por lo difícil que fue el año 2016 en la industria minera de Chile. De acuerdo a una publicación de Cochilco, la minería nacional alcanzó un nivel de producción de 5.545 millones de toneladas, unas 218 mil toneladas menos que el 2015 (-3,8%), que registra su mayor caída desde la crisis financiera del 2008 (Gustavo Orellana, 2020). En la siguiente figura se puede apreciar lo antes mencionado:

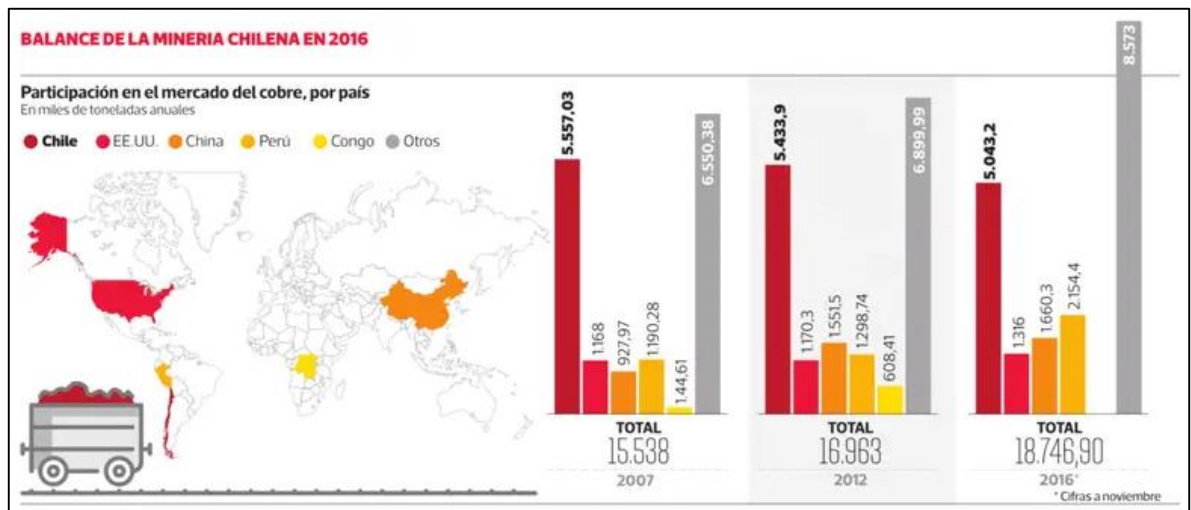


Figura 10: Participación en el mercado del cobre comparativo de Chile y otros exportadores.

Fuente: Cochilco.

En consiguiente, es necesario buscar otras variables para estudiar su relación con el fenómeno para explicar el comportamiento de la curva de importación de maquinaria. De acuerdo a un reporte realizado por Geasur (Dur, 2013), el parque de maquinaria en cifras que pertenece a la minería en el año 2012 es de aproximadamente 11.200 unidades de maquinarias que pertenecen exclusivamente a la industria minera.

- **Escenario 2:** Referente al primer escenario, es posible apreciar en el **Gráfico 21** que la curva de Importaciones tiene una tendencia a la baja más clara que en el primer escenario. Es necesario recalcar que el volumen de unidades importadas es bastante inferior que en el Escenario 1, que se justifica en que la maquinaria es transversal y participa en múltiples industrias, como se muestra en la **Figura 9**. En promedio, es alrededor de 7000 unidades de maquinaria importada menor que en el escenario 1. A diferencia del primer escenario, los registros más altos se encuentran en el 2014 y 2016. Al comparar los datos de importación vs el PIB vs el precio de comercio del cobre se obtiene el **Gráfico 13**.

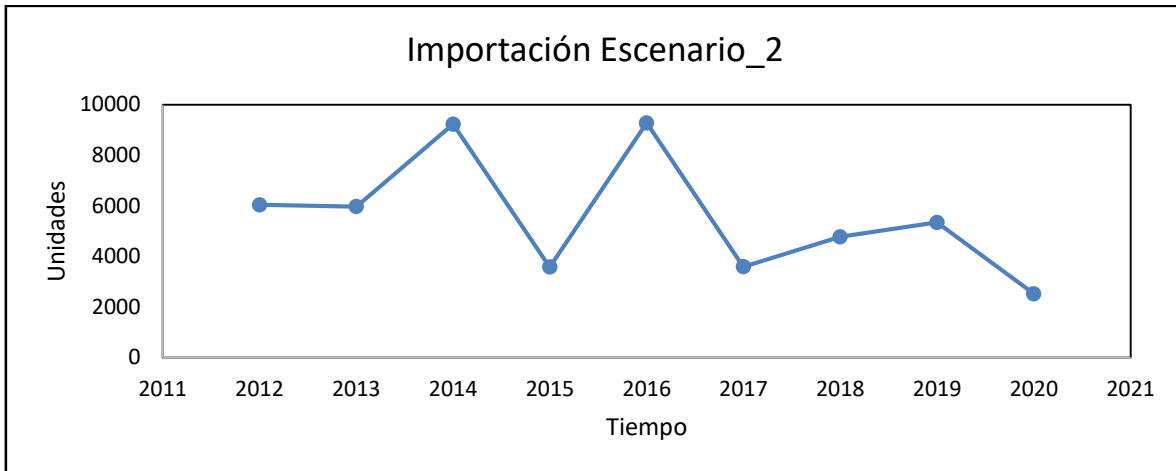


Gráfico 22: Importación de Maquinaria Transversal No Agregada en Unidades. Elaboración Propia.

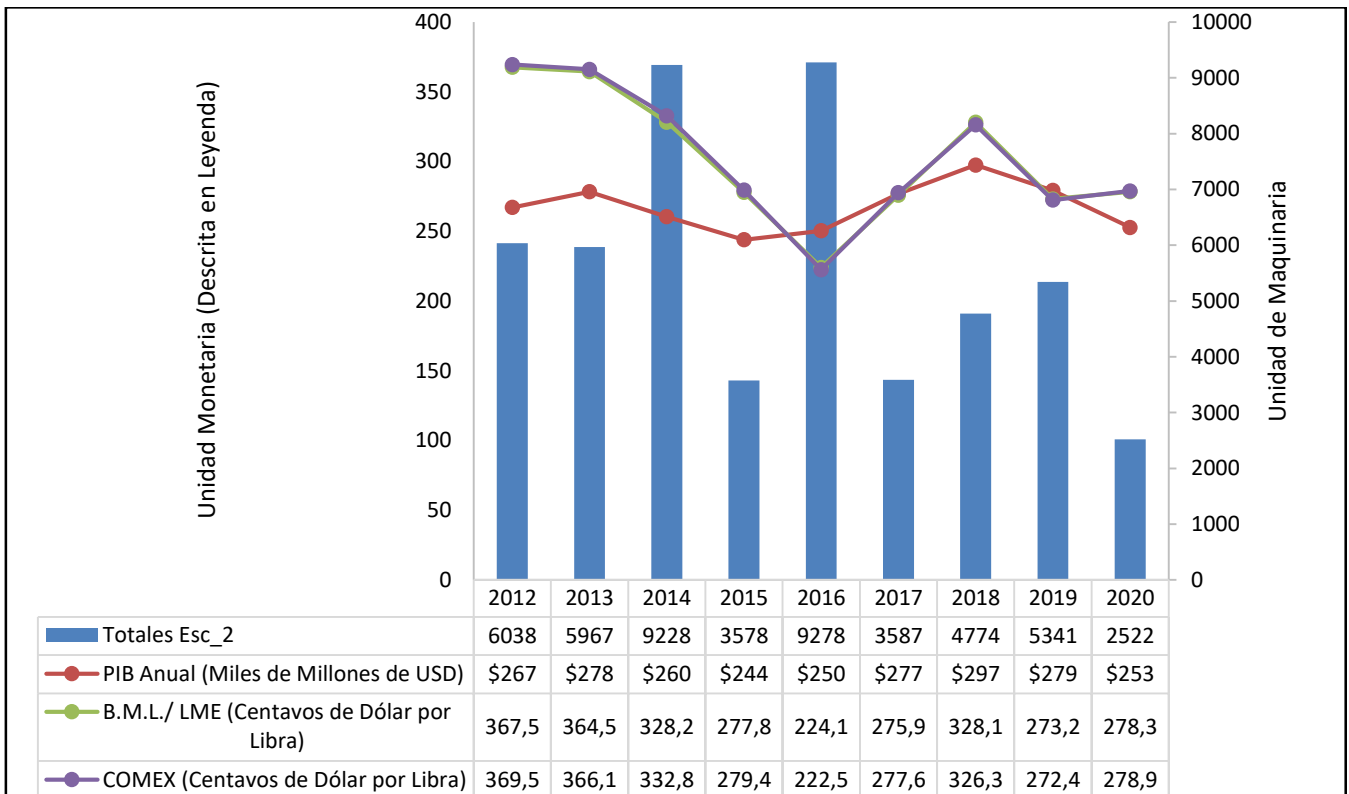


Gráfico 13: Importación de Maquinaria Escenario 2 vs PIB Anual vs Precio de comercio del Cobre (Centavos de Dólar por Libra). Elaboración propia.

A partir del gráfico obtenido, es posible determinar que la relación de las variables estudiadas no es concluyente para explicar la importación de la maquinaria transversal.

Al comparar ambos escenarios se determina que:

- De los dos gráficos presentados, es posible determinar que la variabilidad del Mercado potencial del Escenario 1 es superior al mercado identificado en el Escenario 2 por el comportamiento de las curvas. Sin embargo, es necesario recalcar que el Escenario 1 contempla una cantidad superior de maquinaria importada.
- Referente a los factores de interés (valor del PIB y precio de venta real del Cobre) es posible determinar que en el horizonte temporal estudiado (2012-2020) no es posible apreciar una relación clara entre los factores y el Mercado obtenido en el Escenario_1. Mientras que, en el segundo caso la curva del mercado es mucho menos variable y es posible apreciar una tendencia a la baja.
- Es posible determinar que los factores de interés no tienen un impacto detectable sobre la importación de la maquinaria.

Con los datos disponibles se determina el parque de maquinaria que puede ser intervenida por medio del *retrofit*. La función de demanda se definirá una vez se determinen variables explicativas del fenómeno o se determine una herramienta de pronóstico a utilizar.

5.2 Industria y Mercado

Un componente esencial para la investigación estratégica, es la determinación de la industria a la que pertenece el proyecto en estudio y el mercado al que va dirigido. Para el propósito de la presente investigación, se considera como industria de bienes de capital, con un mercado delimitado de Maquinaria Minera Pesada fuera de ruta usada que busque reintegrarse al mercado por medio de *retrofit* con celda de combustible de hidrógeno. Se determina que la industria corresponde a una de bienes de capital, puesto que interviene

maquinaria pesada y de características específicas que es utilizada por otras firmas para cumplir sus funciones y producciones.

La definición descrita permite analizar estratégicamente los factores positivos y negativos que pueden incidir al estudio para la integración del servicio de *retrofit* con celda de combustible. Es posible utilizar la herramienta de la Matriz FODA para identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas a las que se encuentra sometido el proyecto, sin embargo, es necesario hacer un estudio del Macroentorno y Microentorno de la industria.

5.2.1 Macroentorno.

Para el estudio del Macroentorno del proyecto de integración del servicio de *retrofit* con celda de combustible de hidrógeno se utiliza la herramienta de factores externos PESTEL, que por sus siglas significa factores externos Político, Económico, Social, Tecnológico, Ecologico y Legales (Pan et al., 2019). Dicha herramienta proporciona información adicional asociada a la legislación actual que es significativa para la aplicación de una nueva tecnología asociada a la electromovilidad para cumplir parámetros de seguridad del usuario y del entorno que deben ser regulados para su correcto uso.

5.2.1.1 Factores Políticos.

El escenario político general en el que se encuentra el proyecto de *retrofit* es positivo, puesto que el Gobierno de Chile ha enfocado múltiples propuestas y proyectos a reducir los efectos del cambio climático por medio de proyectos de ley que penalizan o agravan el exceso de emisiones de gases de efecto invernadero, y el uso de nuevos compuestos sustitutos a combustibles fósiles como el hidrógeno verde, considerando este nuevo compuesto como una parte fundamental a la transición carbono neutral. Sin embargo, el nuevo cambio de gobierno en el año 2022 puede generar incertidumbre. Los principales factores políticos que inciden en el proyecto son:

- **Modificación de la ley N°19.496:** La ley indicada establece normas sobre la protección de los derechos de los consumidores, con el objeto de establecer un etiquetado sobre consumo y emisiones de CO₂ en vehículos motorizados livianos. De

acuerdo a la modificación, que se encuentra en estado de segundo trámite constitucional, se destaca el fortalecimiento del SERNAC como agente con facultad de fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones de la presente ley y de toda la normativa de protección de los derechos de los consumidores, sancionar por medio de las denuncias puestas por consumidores, interpretar administrativamente la norma y dictar normas e instrucciones de carácter general con la finalidad de lograr una adecuada protección de los derechos de los consumidores.

Adicionalmente se destaca el incremento en el monto de las multas individuales hasta en un 1000%, a continuación, se detallan:

1. Infracciones Variadas de baja gravedad y sanción supletoria: hasta 300 UTM.
2. Prácticas abusivas con impacto potencial en un número acotado de consumidores / entorpecimiento al ejercicio de facultades del servicio: hasta 750 UTM.
3. Prácticas con impacto potencial en un número masivo de consumidores: hasta 1500 UTM.
4. Prácticas que pueden afectar la salud, seguridad y medio ambiente o derechos fundamentales: hasta 2250 UTM.

Las multas descritas están sujetas a modificaciones acorde a cómo es evidenciada la multa y el resultado de una resolución en tribunales de justicia (Cámara de Diputados, 2017).

La modificación de la ley N°19.496 se destaca por las nuevas facultades atribuidas al SERNAC y su poder para incidir en las firmas oferentes en resguardo de los consumidores, lo que por consiguiente entrega un mayor poder al consumidor para exigir que se cumpla la normativa de emisiones de GEI. Es interesante que la modificación involucre directamente las emisiones de CO₂ en vehículos livianos de, puesto que las firmas oferentes de dicho producto deben de proveer información asociada que cumpla la normativa vigente y que se ajuste a normativas futuras para reducir las emisiones de carbono por medio de la integración de un sistema de monitoreo o auditorías de emisiones. Se considera una normativa relevante puesto

que puede involucrar a futuro vehículos logísticos, vehículos fuera de ruta y maquinaria pesada.

- **Declaración del hidrógeno verde como bien nacional de uso público:** En inicios del mes de marzo del 2021, se propone declarar al hidrógeno verde como bien nacional de uso público por medio de una moción de proyecto de ley protagonizada por el Senador Manuel José Ossandón. El objetivo del proyecto propuesto es otorgarle al hidrógeno verde una categoría jurídica especial (radicando su control en el estado) a un bien de tanta importancia, para una transición en términos de energía y combustibles velando por la conservación del medio ambiente y para el desarrollo de Chile.

La justificación presente en el documento de la moción, en palabras de Manuel Ossandón es “que el hidrógeno verde tiene un gran potencial como combustible del futuro y Chile tiene las ventajas para su producción, lo cual convierte a esta sustancia en un bien estratégico para el desarrollo del país. Dejar que este bien sea como cualquier otro bien más, sin tener un régimen de especial cuidado, administración y explotación, sería un grave error como país ya que en él no solo radica la esperanza para cuidar el medio ambiente, sino que también una posibilidad para que Chile siga desarrollándose económicamente, tal como sucedió con el salitre en el siglo XIX y con el cobre en el siglo XX.” (Cámara de Diputados, 2021).

La declaración manifiesta el interés en el hidrógeno verde en el ambiente político nacional, y en caso de aprobarse el proyecto de ley, un enfoque estratégico para la administración y producción del hidrógeno verde como bien público nacional. El impacto de la declaración en el proyecto de *Retrofit* es positiva, puesto que las facultades de bien público permiten un mayor nivel de organización y administración para las nuevas tecnologías asociadas al hidrógeno y tomar provecho del recurso a nivel nacional tanto en producción como uso. Se presume que acelerará materias de normativa asociadas al uso del hidrógeno verde y se fomentarán proyectos de

investigación y/o aplicación asociados para integrar el hidrógeno verde en otras industrias.

- **Implementación del Impuesto Verde en Chile:** Desde el año 2017 se comenzó la implementación del artículo 8° de la ley 20.780. Corresponde a la aplicación de un impuesto anual a beneficio fiscal que grava las emisiones al aire de material particulado, óxido de nitrógeno, dióxido de azufre y dióxido de carbono, producidas por establecimientos cuyas fuentes fijas, conformadas por calderas o turbinas, individualmente o en su conjunto sumen una potencia mayor o igual a 50 [MWt] (García Bernal, 2018).

Adicionalmente, de acuerdo a la revista Electricidad de Chile, el impuesto verde amplía su gravamen y obliga a empresas a reducir y compensar emisiones que entrarán en vigencia en el año 2023. Otros aspectos que incluye la modificación del impuesto es que el gravamen también afectará las emisiones producidas por establecimientos cuyas fuentes fijas emitan individualmente o en su conjunto 100 o más toneladas anuales de material particulado o 25.000 o más toneladas anuales de dióxido de carbono (Electricidad -Revista Energética Chile, 2020).

Los cambios en la normativa fuerzan a las empresas a buscar soluciones frente a las emisiones que provocan anualmente, optando por nuevos métodos más eficientes que utilicen menos recursos o a optar por fuentes de energía renovables o combustibles verdes, lo que vuelve atractiva la industria del hidrógeno verde con su versatilidad para el sector agrícola como fertilizante de Amoniac o como combustible.

- **Proposición de Estrategia Regulatoria del Hidrógeno:** Corresponde a un conjunto de sugerencias justificadas de regulación para implementar de forma segura la operación y manipulación del Hidrógeno en sus diferentes fases, como lo es el almacenamiento, piping, transporte e infraestructura necesaria para su aplicación energética. (Ministerio de Energia, 2020)

En la actualidad, existe normativa asociada al hidrógeno de forma genérica, siendo regulado por los reglamentos de sustancias peligrosas que aplican al transporte por vías públicas, a su almacenamiento y lugares de trabajo. El ministerio de salud reglamenta el almacenamiento de sustancias peligrosas y las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Por otro lado, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones reglamenta el transporte de sustancias peligrosas y la manipulación en recintos portuarios y así también, la normativa Minera de Seguridad y el Ministerio del Trabajo y Previsión Social que dictaminan condiciones de seguridad para prevenir riesgos con el compuesto.

Sin embargo, la normativa vigente no es suficiente para las aplicaciones energéticas del compuesto que requieren de reglamentos específicos y detallados, como las disposiciones respecto a recipientes de alta presión, fluidos criogénicos, atmósferas inflamables, mitigación de explosiones, necesidades de ventilación, manipulación y transferencia de Hidrógeno. Este escenario presenta un desafío en la integración de las prácticas de seguridad y manipulación del hidrógeno, de acuerdo a la propuesta presentada realizada por Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania y el Ministerio de Energía de Chile.

Se presume que, al ser un marco regulatorio nuevo para las diferentes fases de la producción de hidrógeno, será una barrera de entrada alta a la industria que decrecerá a través del tiempo con la implementación de nuevas tecnologías que se adapten con facilidad al hidrógeno y sus propiedades.

- **Elecciones Presidenciales 2021:** El 19 de diciembre del 2021 finalizó el proceso de elección de un nuevo presidente de la República de Chile que comenzará en marzo del 2022 por Gabriel Boric, quien es calificado como un representante de centro izquierda nacional, opuesto al actual mandatario de derecha Sebastián Piñera. Dicho contraste produce incertidumbre sobre el panorama nacional, considerando la corta edad del presidente electo y sus nuevas ideas.

Por otro lado, de acuerdo a los medios, es posible caracterizar el programa de Gabriel Boric como uno ecológico. Muestra de eso es el compromiso con la firma del acuerdo ambiental de Escazú de justicia ambiental potente a nivel latinoamericano. Adicionalmente, busca establecer relaciones internacionales significativas con representantes de Sudamérica para articular su gobierno (El Mercurio, 2021).

En el mes de febrero del 2022, el presidente Gabriel Boric presenta su gabinete ministerial con un total de 24 personas, en donde se destaca la participación de Mario Marcel como Ministro de Hacienda, quien tiene competencias en áreas de acción económicas relevantes como lo fiscal, previsional y laboral, además de considerar su participación en el Banco Central, sumando expertise en materias monetarias y de crecimiento. Su participación ha sido calificada el medio de comunicación *La Tercera*, como la favorita para el desarrollo del mercado nacional (David Nogales, 2022).

El escenario presidencial político de Gabriel Boric se puede considerar favorable en términos de medidas en favor del medio ambiente, lo que puede incidir positivamente de forma indirecta en materias de hidrógeno verde y sus aplicaciones para sustituir el uso de combustibles fósiles o fertilizantes. En términos económicos, será un desafío incluir cambios sostenibles considerando la situación de recesión actual marcada por la inflación, por lo que existe incertidumbre asociado a los resultados, sin embargo, la integración de Mario Marcel en el gabinete de gobierno, entrega seguridad en el sector económico.

5.2.1.2 Factores Económicos.

El escenario económico tiene un impacto negativo directo en el proyecto. Si bien las cifras del PIB están al alza, los crecimientos porcentuales son inferiores a los años anteriores, en el año 2019 tuvo un crecimiento del 0,94%, en 2020 con la pandemia un crecimiento de -5,8%, y el 2021 con un repunte del 11,5%. Sin embargo, la última cifra se sustenta en un exceso de consumo de bienes producto del aumento de la liquidez por los retiros de pensiones y ayudas

sociales en forma de subsidios, provocando así un aumento de demanda sin oferentes preparados, que desató alzas en el IPC y por ende una inflación “no saludable” para la economía nacional. En respuesta a la inflación, el Banco central alza la tasa de política monetaria a un valor histórico del 4%, promoviendo así el ahorro de los individuos. El tipo de cambio se vuelve una barrera, considerando que la inversión en activos importados considerará un alza de precios considerable para la maquinaria especializada y la minería si bien tiene un alza consecutiva del valor del cobre refinado, la cantidad producida en toneladas métricas se encuentra en descenso. Los principales factores en detalle son:

- **Tipo de Cambio:** El valor del dólar ha tenido una tendencia al alza desde el 2018, la cual se representa en el **Gráfico 14**, obtenido de la base de datos del Banco Central. En el gráfico es posible identificar que existe un período marcado por la baja del dólar con su valor más bajo en enero del 2021, cuya justificación recae en un alza del valor del cobre exportado en Chile y por incertidumbre en Estados Unidos por los aumentos de casos de COVID-19 (Line, 2021). Desde dicha baja registrada en enero, los medios aseguran que el dólar tiene una tendencia al alza que en la actualidad está marcada por una reducción del precio del cobre (principal producto de exportación del país) y el aumento de la tasa política monetaria (TPM) impulsado por el banco central para hacer frente a la inflación (Vizcarra G., 2022).



Gráfico 14: Registro de valor histórico del dólar en CLP. Fuente: Banco Central de Chile.

El valor de la divisa estadounidense afecta directamente a los proyectos que necesiten invertir en tecnología o maquinaria proveniente del exterior para ejecutar los proyectos. Es necesario considerar que la tecnología requerida para el proyecto se encuentra en una etapa inicial, por lo que incurrir en tecnologías innovadoras no completamente exploradas resulta en un incremento en el valor de adquirir dicha tecnología. Se especula que, a futuro, mediante economías de escala en la elaboración de celdas de combustible de hidrógeno, investigación para sustituir los catalizadores de platino y optimización las celdas de combustible sean más accesibles y seguras. Por otro lado, Chile es un país atractivo en inversión por su capacidad de producción de energía con fuentes renovables, y tener un alto potencial en producción y uso del hidrógeno verde, es posible atraer los dólares al país mediante la inversión de actores externos.

- **Índice de Precios del Consumidor y Desempleo:** El IPC es un indicador económico que mide mes a mes la variación conjunta de los precios de una canasta de bienes y servicios representativa del consumo en los hogares del país. La variación entre los registros del IPC hace referencia a la inflación, que indica qué tan costosa se hizo comparativamente la canasta respecto a periodos pasados. De acuerdo al boletín presentado por el INE en diciembre del 2021, específicamente en diciembre de 2021, el IPC anotó un incremento mensual de 0,8%, mientras que la variación a doce meses y la acumulada en el año 2021 fue de 7,2% (Instituto Nacional de Estadísticas., 2022). El comportamiento del IPC histórico se encuentra en el **Gráfico 15**, en donde es posible detectar un alza considerable en el corto plazo tomando valores cercanos al 7% que marcan cifras históricas desde el año 2011. Adicionalmente se visualiza una tendencia al alza del IPC desde el año 2019 (Banco Central, s. f.).

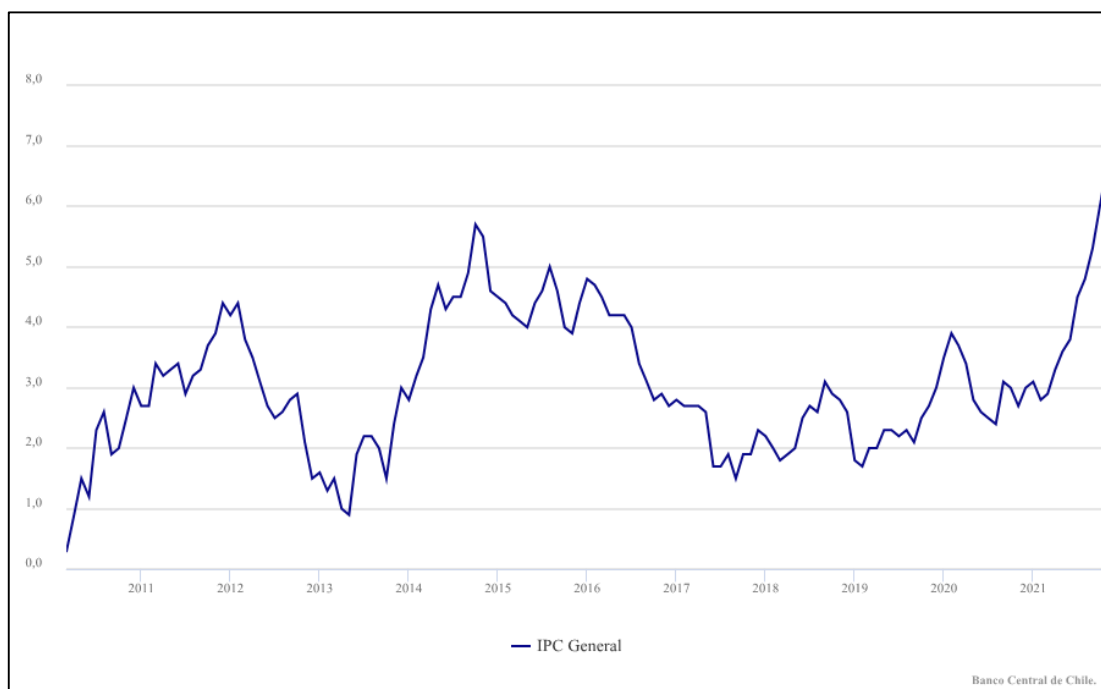


Gráfico 15: Valor histórico del Índice de Precios del Consumidor anual de Chile desde el año 2010 al 2021. Datos obtenidos desde el Banco Central.

De acuerdo al banco central, una explicación del alza del IPC son los retiros de fondos de pensiones y la extensión del ingreso familiar de emergencia (IFE) que han impulsado la demanda y el consumo de bienes. En el informe de política monetaria,

se señala que el 61% de la mayor inflación del año se explicaba por razones internas (nacionales), esto es transferencias fiscales y retiros de AFP. Se han registrado un crecimiento importante del gasto en el corto plazo por la apertura de la economía y la liquidez que los hogares han obtenido a través de ayudas estatales y retiros de ahorros previsionales, lo que hizo que todos los sectores económicos recuperaran o superaran los niveles de actividad que tenían antes de la pandemia, incluso el de servicio, que fue el más afectado. Sin embargo, el crecimiento económico actual no es sostenible, puesto que el aumento de consumo esporádico, ha hecho que las empresas no hayan podido responder con rapidez a la mayor demanda de productos, lo que ha provocado aumentos importantes de precio y es la principal razón del aumento de la inflación (Banco Central, s. f.).

El escenario de la inflación se aprecia al alza, sin embargo, se espera que las medidas del Banco Central puedan estabilizar la inflación en un plazo de 2 años aproximadamente. Existe un alza considerable en los precios de los bienes como los combustibles derivados del petróleo, lo que hace atractivos los proyectos de electromovilidad que mitigan el factor de riesgo ante las variaciones del combustible. Se ha detectado un alza considerable en el consumo de bienes que se espera decrezca en un escenario de ahorro de los individuos impulsado por el aumento de la tasa política monetaria.

En términos de desempleo en el contexto nacional, el desempleo histórico se ha caracterizado por tener un comportamiento poco volátil, con oscilaciones en el intervalo del [6%;8%] desde enero del 2012 hasta enero del 2020 que registra un alza considerable que registró un máximo de 13,1% de desempleo. Cabe mencionar que, en el **Gráfico 16** se aprecia una tendencia alza de desempleo desde el año 2014 en donde cada año posterior se registran tasas de desempleo superiores de acuerdo a las series presentadas por el Banco Central de Chile.

Actualmente, el nivel de desempleo se está estabilizando por medio de campañas e incentivos como el IFE Laboral y ha registrado bajas en el segundo y tercer trimestre del 2021. Para ser más precisos, de acuerdo al reporte del tercer trimestre del 2021, la tasa de desocupación nacional alcanzó el 8,4%, retrocediendo 0,3 puntos porcentuales referente al periodo anterior, como consecuencia del aumento de la fuerza de trabajo (0,5%) y la disminución de los desocupados (-2,6%) y el alza de ocupados (0,8%) (Instituto Nacional de Estadísticas, 2021).



Gráfico 16: Tasa de desempleo en porcentaje en función del tiempo desde el año 2013 al 2021. Datos obtenidos del Banco Central de Chile.

En términos de desempleo, la situación actual es estabilizar el desempleo junto a la inflación, con medidas de gobierno que apoyan a las familias frente las consecuencias activas de la pandemia de COVID-19. De acuerdo al reporte complementario de la Universidad de Chile frente al desempleo, se indica que, si bien pareciera que el mercado laboral presenta buenas noticias, aún se observa una gran cantidad de inactivos, que pese a la disminución de las restricciones en movilidad sigue sin buscar empleo. De hecho, hay un 12,6% de inactivos sin deseos de trabajar que declara que habría buscado empleo si no recibiera el IFE (Universidad de Chile, 2021). Por ende, se espera que el IFE laboral propuesto incentive a la búsqueda activa de empleos y reducir la tasa de desempleo. En síntesis, éste factor económico no se percibe que

afecte al proyecto directamente, pero de acuerdo a la estrategia nacional de hidrógeno verde, se crearán múltiples empleos al desarrollarse proyectos asociados a la producción y uso del compuesto, lo que se espera impacte positivamente en la tasa de desempleo.

- Producto Interno Bruto:** El producto interno bruto de Chile aumenta en un 4.9% en el tercer trimestre del 2021 respecto al trimestre anterior. Esta tasa es 33 décimas superior que la del segundo trimestre de 2021, que fue de 1.6% (Datos Macro, 2021a). En el **Gráfico 17**, se evidencia el comportamiento histórico del PIB en Chile, distinguiéndose entre la Serie Original de Variación Anual y el PIB Desestacionalizado con Variación Trimestral obtenido de la base de datos del Banco Central.

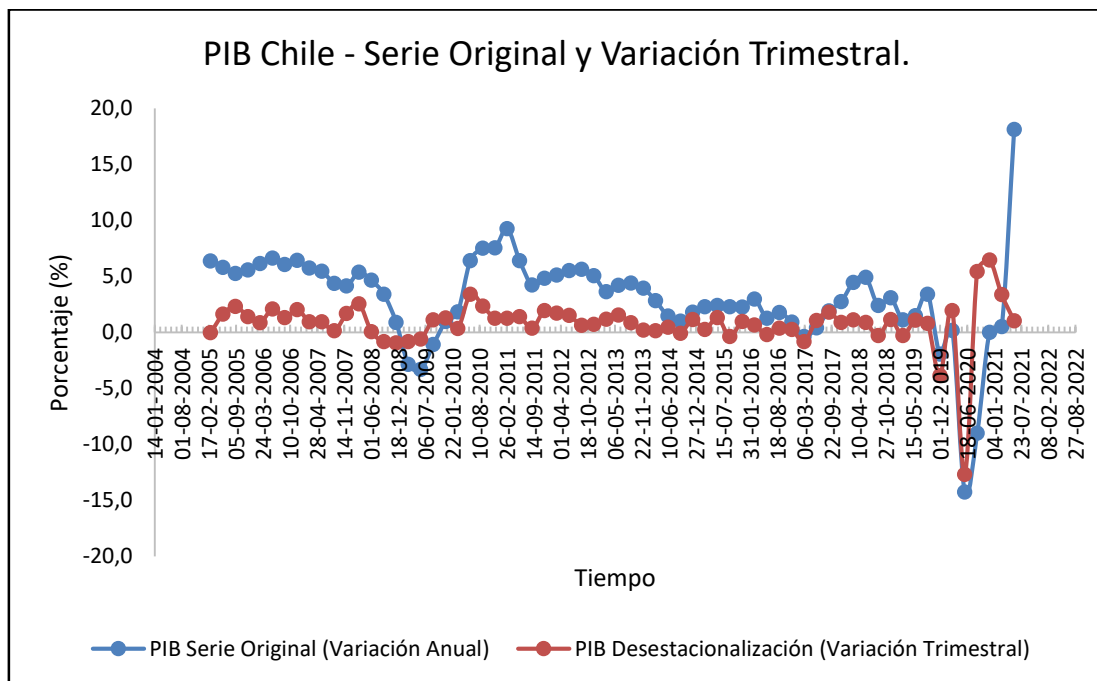


Gráfico 17: Registro de valor histórico del PIB Serie Original y PIB Desestacionalizada de Chile. Fuente: Banco Central.

Un fenómeno interesante de destacar es que en los últimos datos el PIB ha sido muy variable con saltos que reflejan mínimos históricos desde el 2005, notando que su comportamiento más reciente se ha caracterizado por el impacto del efecto de la crisis

social del país en 2019, el inicio de la Pandemia de COVID-19 en 2020 (que sigue estando presente en la actualidad). De acuerdo a la prensa, los economistas ajustan a la baja la proyección del PIB para el 2022, pasando de 2.1% a 1.4%, con un riesgo de recesión en el segundo semestre del 2022 marcado por incertidumbre política que tiene impacto directo en la inversión. El crecimiento esperado del PIB para el 2022 oscila entre [0.5%;2.5%] (Carlos Alonso, 2021).

De acuerdo a los antecedentes, el comportamiento del PIB en el corto plazo es volátil, sin embargo, se esperan crecimientos recatados en el PIB para el 2022 con un riesgo de posible recesión según los expertos. Cabe mencionar que el comportamiento del PIB tiene relación directa con factores asociados al precio del cobre y su volumen de exportación, puesto que la minería compone alrededor del 15% del PIB (BBC News Mundo, 2021). Por ende, se espera que el crecimiento en el sector minero con las exportaciones no sea significativo comparativamente a años anteriores, lo que podría traducirse en que las mineras no asuman riesgos asociados a una mayor inversión en tecnologías u otro tipo de innovaciones.

- **Tasa Política Monetaria - Banco Central:** El comportamiento de la tasa de interés definida por el Banco Central es capaz de definir comportamientos en las industrias según su valor, puesto que, al tomar valores elevados, se promueve el ahorro de los individuos, disminuyendo la inversión. En el caso contrario, es un mecanismo para reactivar el rendimiento de la inversión y el consumo.

De acuerdo a la información disponible del informe de política monetaria, realizado por el banco central de Chile en diciembre del 2021, se registró una cifra histórica del 4% para el valor de la tasa, que incremento un total de 125 puntos base respecto a su modificación anterior con la justificación de que mitigará gradualmente la brecha de actividad, de forma que la dinámica inflacionaria reciente no tenga un impacto persistente sobre el proceso de formación de precios (Banco Central, 2021).

En consecuencia, del alza de la tasa descrita se promueve el ahorro frente a una alta inflación a nivel nacional que sigue creciendo, lo que por consecuencia reduce la inversión. Actualmente es posible determinar que no es el mejor momento para invertir en maquinarias o tecnología u otro activo que requiera de una inversión considerable.

- **Indicadores de Minería Chile:** Chile se caracteriza por ser un país que obtiene la mayor parte de sus ingresos por exportación en la actividad minera con la venta de cobre a nivel mundial. En el **Gráfico 18** se estudia el comportamiento histórico del Precio del Cobre en Valor Nominal y Real en BML/LME y COMEX de acuerdo a la base de datos de Cochilco (Cochilco, 2021). Cabe mencionar que el precio BML/LME (ya sea Nominal o Real) corresponde al valor fijado para el mineral por la Bolsa de Metales de Londres, mientras que el precio fijado por COMEX corresponde al precio fijado por el *Commodity Exchange, INC* que es la mayor bolsa de comercio de futuros de metales a nivel mundial.

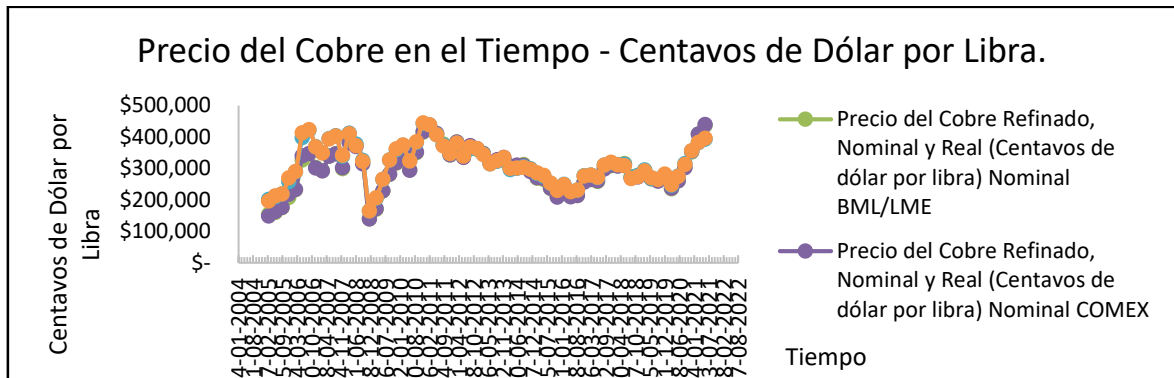


Gráfico 18: Precio del Cobre Refinado Nominal y Real en centavos de dólar por Libra en BML/LME y COMEX histórico. Datos obtenidos de Cochilco.

A partir del gráfico histórico de precios es posible determinar que existen períodos volátiles desde el 2005 hasta el 2011 donde se estabiliza con una tendencia a la baja hasta el año 2016, de los últimos períodos es posible determinar que existe una tendencia al alza del valor del cobre, que de acuerdo a los medios está asociado a la escasas a nivel mundial del cobre, el aumento de demanda del material desde

empresas que fabrican vehículos eléctricos y la reactivación económica de Chile (Cooperativa, 2021).

Otro factor incidente en la minería, es la producción anual en toneladas métricas del mineral, puesto que una mayor actividad minera, tendrá relación directa con el aumento de consumo de combustibles en faena por funcionamiento continuo de las maquinarias y hasta aumento en la adquisición de activos para ir superando producciones anteriores. De acuerdo a los datos publicados por Cochilco, se obtiene el **Gráfico 19** con el comportamiento histórico registrado desde el año 2000. Del gráfico es posible rescatar que existe una tendencia general al alza de la producción del mineral en el tramo de los 20 años estudiados, sin embargo, si analizamos los últimos 8 años, la producción anual se estanca sin tendencias claras. De acuerdo a los medios, el año 2021 fue un año exitoso para Codelco, puesto que logró triplicar sus excedentes durante el tercer trimestre del año, que corresponde a un alza de producción consecutiva a períodos anteriores. Adicionalmente, del primero al noveno mes del año, la empresa produjo un millón 185 mil toneladas de cobre fino, nivel que está un 1,7% por encima del registro del 2020 (Analitik, 2021). Se presume que el resto de las mineras de cobre siguen un comportamiento similar.

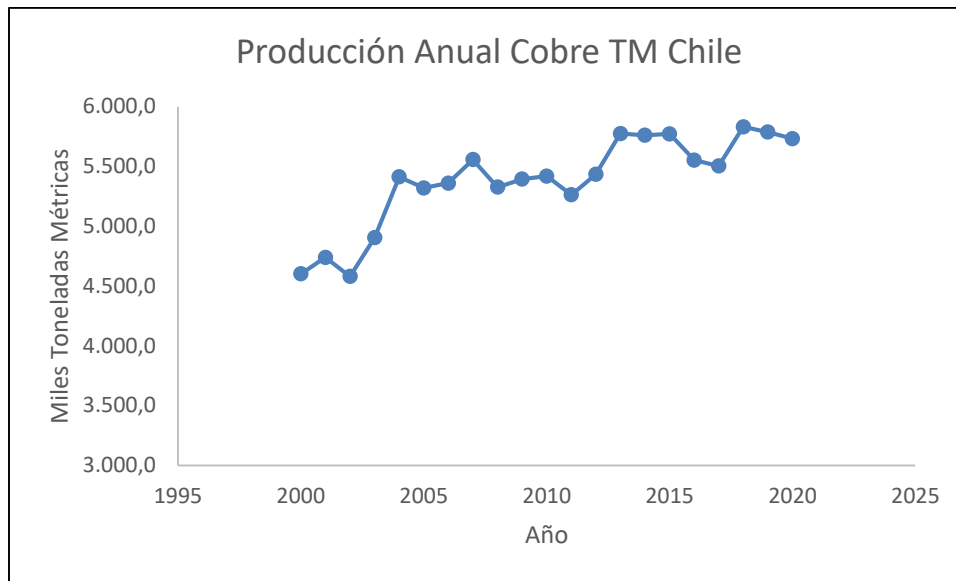


Gráfico 19: Producción anual de cobre en Toneladas Métricas de las Mineras de Chile. Datos obtenidos de Cochilco.

Adicionalmente, de acuerdo a la publicación de Cochilco, de Inversión de Minería Chilena – Cartera de proyectos 2021-2030 (Cochilco, 2021), se destaca una inversión minera en proyectos para el próximo decenio asciende a 68.000 [MUSD] a través de 51 iniciativas, en donde la región de Antofagasta destacó por concentrar el 29,5% de los proyectos (aproximadamente 20.332 [MUSD]). Cabe destacar, en una noticia de Bio Bio Chile (Iturra, 2021), se destaca que la inversión con mayor probabilidad de materializarse ya se ha ejecutado en un 29,2%, mientras que el 70,7% se materializará entre 2021 y 2025 y menos de un 0,1%% se invertirá posterior al 2025.

A partir de los antecedentes presentados, es posible determinar que el escenario de la minería del cobre está activo y con resultados superiores a los registros del corto plazo. Se espera que la demanda del material siga un comportamiento similar con la elaboración de vehículos eléctricos. En el caso de Chile con la estrategia climática de largo plazo (ECLP) se determina que existe una transición a la electromovilidad con objetivos tangibles para el 2030, por lo que la industria minera nacional se vería favorecida con una presunta alza de demanda del cobre. La cartera de proyectos de inversión en la minería, indica que habrá alta actividad para la integración de nuevos

proyectos hasta el 2025, lo cual podría aumentar la demanda de maquinaria pesada para llevar los proyectos a cabo, beneficiando el desarrollo del proyecto.

5.2.1.3 Factores Sociales.

El escenario social está marcado por su poca participación e incidencia en el proyecto. Del factor considerado se estima que su impacto es positivo por las características del proyecto de *Retrofit* que se caracteriza por conceptos como economía circular y electromovilidad. El factor determinado es:

- **Tendencia Ecológica:** De acuerdo a un estudio internacional realizado el 2019, Chile se sitúa como el país más comprometido con el medio ambiente. Los detalles de la investigación realizada en 24 países indica que el 37% de los chilenos está haciendo algo por reducir el impacto ambiental, por sobre naciones como Reino Unido o de América Latina, lo que ha modificado los hábitos de consumo de los chilenos (Thomasson, 2020). Se especula que el comportamiento en la población nacional ha permanecido o aumentado en el marco ecológico de acuerdo a registros históricos de sequía y altas temperaturas que se atribuyen al fenómeno del cambio climático. En el contexto de la sequía, el 53% de comunas están bajo decreto de escasez hídrica, lo que concentra al 47% de la población nacional. De acuerdo al último informe hídrico de la dirección general de aguas (DGA), la falta de lluvia en grandes ciudades llega al 98% de déficit en comparación a años normales (Leal, 2021).

Este comportamiento social resulta ser beneficioso para impulsar nuevas tecnologías que son independientes del uso de combustibles fósiles y permiten descarbonizar procesos o cadenas de valor usando compuestos sustitutos como el hidrógeno verde.

5.2.1.4 Factores Tecnológicos.

El escenario tecnológico es bastante influyente para tener en consideración, puesto que marcarán los nuevos estándares entre competidores (en caso de la tecnología en minas) y pueden ser ventajas competitivas si son aprovechadas en el corto plazo. Referente al impacto en el proyecto, se estima que los factores determinados son positivos, puesto que el desarrollo de las nuevas tecnologías permitirá la aplicación de economías de escala y permitirá reducir

los costos de las celdas de combustible y, por ende, su accesibilidad será mayor. Es necesario tener en consideración las nuevas aplicaciones de la tecnología en la minería para que el proyecto de *Retrofit* sea compatible con las transformaciones digitales en la minería. Los factores influyentes son:

- **Celdas de Combustible:** Las celdas de combustibles de hidrógeno son el componente nuclear y principal para el proyecto de *Retrofit* en que se basa la investigación, transformando la maquinaria intervenida en carbono neutral con una operación que no emite gases de efecto invernadero.

De acuerdo a la teoría, las celdas de combustible se distinguen por sus materiales utilizados, como los electrolitos y materiales catalizadores, además de que los electrodos de la celda de combustible son diferentes en cada caso, y el objetivo principal de las tecnologías de las celdas de combustible es desarrollar un modelo de bajo costo, alto rendimiento y materiales durables. Al igual que la reducción del costo, un objetivo para celdas de combustible PEM es el poder operar el sistema por sobre 100 [°C] con poca humedad de hidrógeno reactante y aire. El platino es el componente catalizador clave que usan los 3 diferentes tipos de celdas de combustible para usos portables, estacionarios y transportes, y el platino ofrece beneficios en términos de actividad y selectividad por sobre otros materiales alternativos (Pollet et al., 2012). Sin embargo, a nivel internacional, se están desarrollando proyectos de economías de escala en las celdas de combustible por medio de producción en masa, reduciendo el costo unitario de las celdas y volviéndolo una opción atractiva. Específicamente, en Alemania el proyecto H2FastCell está trabajando con un consorcio industrial para desarrollar un centro robótico automatizado de gran velocidad de ensamblaje de celdas de combustible, con el fin de desarrollar economías de escala en una tecnología libre de emisiones con metas de producción para el año 2023 (Cornelissen, 2021).

En el contexto de la industria minera, la empresa Anglo American se encuentra en pleno desarrollo y prueba de un proyecto de camión minero con sistema de baterías

de celda de combustible híbrido en la mina Mogalakewna en Sudáfrica que entró a su fase final de prueba en el cuarto trimestre del 2021. Dentro de los principales resultados obtenidos por el camión en prueba, es que el diseño completo, construcción y prueba de un pack de batería de 1,1 [MW/h] para aplicaciones del camión; diseño completo construcción y prueba de múltiples módulos de celdas de combustible en paralelo que entregan hasta 800 [Kw] de poder; completa construcción y prueba del software de control necesario para manejar el poder y energía de la celda de combustible de forma segura (International Mining, 2021).

Un desafío para la tecnología de las celdas de combustible es aumentar a accesibilidad por medio de la reducción de costos asociados a economías de escala para su masificación y la transición a la electromovilidad se realice en un período de tiempo acotado, por lo menos a nivel de automóviles, que necesitan requerimientos inferiores a la maquinaria pesada utilizadas en industrias como la minería. Sin embargo, organizaciones internacionales se encuentran en el desarrollo e investigación para integrar la celda de combustible como una forma de reducir el consumo de derivados del petróleo en maquinaria utilizada para altos ordenes de disponibilidad. Tener un conocimiento acabado acerca de la implementación de la tecnología permitirá obtener ventajas por sobre los competidores.

- **Transformación digital en la Minería:** De acuerdo a la teoría, las innovaciones tecnológicas disruptivas residen en la transformación digital en Minería con impactos positivos a lo largo de la cadena de valor (F. Sánchez & Hartlieb, 2020).

La automatización, robótica y operación remota son tecnologías que sostienen el nivel más alto de implementación entre las herramientas ofrecidas por la transformación digital. El primer beneficio más claro de la automatización de procesos, uso de robots en actividades críticas y centros remotos de operación es la mejora en seguridad por la reducción del número de operarios requeridos en actividades de riesgo. Los centros remotos de operación pueden reducir significativamente los costos operacionales

(OPEX) y costos de capital (CAPEX) de operaciones mineras. Como se requiere de menos fuerza de trabajo en el sitio de la mina, se requiere de una menor (o hasta ninguna) infraestructura de apoyo, como instalaciones de casas, hospitales o escuelas. Además, otros gastos son reducidos, como el transporte de los operarios. Los impactos en los costos son mayores a medida que la ubicación de la mina es más remota, lejana y aislada (Sganzerla et al., 2016).

El uso de equipamiento autónomo, como hauling trucks, LHDs, y taladros se está expandiendo rápidamente. Por ejemplo, Komatsu tiene una flota de 141 camiones autónomos distribuidos en Australia, Canadá, Chile, Japón y Estados Unidos. En Chile, dichos vehículos operan en Codelco, específicamente en la mina Gabriela Mistral. Después de 10 años de operación en la mina, el uso de camiones autónomos ha permitido una reducción significativa en el riesgo de colisión y altos niveles de productividad y desempeño de neumáticos (CODELCO, 2018). Cifras presentadas por CODELCO sobre los buses son reducción de costo operacional por bus del 70%, aumento de la confiabilidad y disponibilidad esperada del 40% -50%, puesto que tiene menos elementos a mantener y mayor vida útil de los componentes eléctricos vs componentes móviles y filtros del diésel (CODELCO, 2019).

Es necesario tener en consideración las innovaciones dentro de la minería para que el servicio de *Retrofit* pueda ajustarse a los requerimientos necesarios del cliente y de la maquinaria a intervenir, para incluir elementos tecnológicos que puedan favorecer el desempeño de la maquinaria dentro de la cadena de valor de la mina. Como las mineras se desempeñan continuamente aplicando economías de escala para reducir sus costos unitarios y producir a escala mínimo eficiente, los cambios descritos deben tener una tasa de adopción alta, puesto que se vuelve el diseño dominante al obtener ventajas comparativas y/o competitivas por la adquisición de nuevas tecnologías asociadas a la transformación digital y su consecuente reducción de costos operacionales o de capital, o aumento de producción.

- **Minería Sostenible:** Tanto en la Estrategia Climática a Largo Plazo (ECLP) como la Política Nacional Minera 2050, la minería sostenible cuenta con un rol fundamental como un objetivo el cual priorizar.

Para la Política Nacional Minera, se reunieron 50 representantes de instituciones estatales, empresas mineras, gremios, sindicatos, universidades y de la sociedad civil, entre otros, que dieron inicio a la construcción de la Política Minera.

El principal objetivo de la iniciativa es consensuar visiones y acciones de corto, mediano y largo plazo para transitar a una minería cada vez más sostenible. Los ejes en que está sostenida la política y parte de sus metas son (Ministerio de Minería, 2020):

1. Sostenibilidad Ambiental: Generar un sistema de información integrado y dinámico del estado de los recursos hídricos por cuenca. Potenciar gestión eficiente de recursos hídricos.
2. Sostenibilidad Económica: Fortalecer la innovación, desarrollo e investigación para una minería sustentable. Detectar y adaptarse al impacto en el empleo de la automatización y la adopción de nuevas tecnologías en la industria minera.
3. Sostenibilidad Social: Fortalecer la participación ciudadana anticipada e institucionalizada con acuerdos vinculantes y diálogo permanente.
4. Gobernanza: Fortalecer institucionalidad sectorial para los desafíos de la minería sostenible. Generar mayor transparencia tributaria de la minería a los gobiernos regionales y locales donde se emplaza la actividad.

Un reportaje realizado en la industria minera (Revista Minería Chilena, 2017), indica que ejemplos exitosos de implementación de minería sostenible son los casos como Sierra Gorda SCM, en donde se incorporaron una serie de tecnologías de última generación, en todas las áreas involucradas de la producción, que apuntan a minimizar el impacto ambiental de sus procesos, relacionadas con el uso de recursos hídricos, eficiencia energética y monitoreo en línea del material particulado. Específicamente, los molinos HPGR y el uso de agua de mar recuperada de termoeléctrica que, junto

con optimizar el uso de recursos, contribuyen a mejorar los métodos existentes y resolver de esta forma las externalidades intrínsecas a la obtención de los concentrados de cobre y molibdeno.

Es posible determinar que existen múltiples métodos para acceder a la minería sostenible, sin embargo, es importante recalcar el rol de las diferentes tecnologías e innovaciones en operación con el uso eficiente de recursos naturales y su preservación. Se presume que la Minería sostenible será un requerimiento a futuro como medida para inhibir las consecuencias del cambio climático y cuidar los recursos disponibles. En consecuencia, quienes no puedan adaptarse a la minería sostenible, tendrán mayor dificultad para desempeñarse en la industria.

5.2.1.5 Factores Ecológicos.

El escenario ecológico es favorable, considerando la diversidad de proyectos y estrategias orientadas a enfrentar el cambio climático por medio de la reducción de la dependencia de combustibles fósiles para la industria de la Energía, Minería, Construcción, Transporte y Agrícola. Se destaca el impulso de la participación de la ciudadanía para la toma de decisiones frente a decisiones ambientales y acceso a la información ambiental. Dentro de los factores ambientales se considera al hidrógeno verde como un agente de cambio que permitirá la independencia de los combustibles fósiles, lo que beneficia directamente al proyecto. Los factores en detalle son:

- **Estrategia Climática de Largo Plazo – Descarbonizando y Adaptando Chile:** La estrategia climática de largo plazo (ECLP) es un instrumento que define los lineamientos generales de largo plazo que seguirá el país de manera transversal e integrada tomando en consideración un horizonte temporal de 30 años para hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático, incluyendo la transición hacia un desarrollo bajo en emisiones de GEI, hasta alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de los mismos, reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia a los efectos adversos del cambio climático y dar cumplimiento a los compromisos internacionales asumidos por el Estado de Chile en materia. Dicha estrategia fue

presentada por los Ministros de Ciencia, Medio Ambiente y Energía de Chile en la COP-26 desarrollada en Glasgow, Escocia el 2021 (Ministerio del Medio Ambiente, s. f.).

El documento de la ECLP contiene metas y objetivos cuantitativos concretos definidos para cada sector industrial en un horizonte temporal definido, incluyendo el Transporte, Minería, Energía, Construcción, entre otro estableciendo una hoja de ruta que permite que Chile sea carbono neutral y resiliente al clima a más tardar al año 2050. En total se fijaron un total de 407 medidas en donde se destacan las siguientes (Gobierno de Chile, 2021):

- Al 2025, por ejemplo, destacan el retiro del 65% de la generación a carbón de la matriz nacional, sumar entre 10.000 a 15.000 hectáreas de humedales urbanos protegidos, establecer un ecoetiquetado de reciclabilidad obligatorio.
- Al 2030, a su vez, destacan metas como un 80% de la generación eléctrica provenga de fuentes renovables e implementar flota cero emisiones en la gran minería.
- Al 2040, que el hidrógeno verde sea el 20% de la matriz de combustibles del país, que el 100% de los buses, taxis y colectivos sean cero emisiones y reducir en un 40% el ingreso de residuos en mares y playas
- Al 2050 que la matriz energética sea en un 100% cero emisiones, reducir en 70% las emisiones de la industria y minería y que un 30% a 50% de especies amenazadas cuente con planes de recuperación, conservación y gestión.

Las metas presentadas son un extracto de las 407 metas en total que hay por sectores. Para un punto de la investigación posterior, se detallan las metas y objetivos incidentes directa e indirectamente incidentes en detalle, en la sección **5.2.2.4**.

La ECLP tiene un impacto positivo en el desarrollo del proyecto investigado, puesto que participa en múltiples sectores para integrar la electromovilidad por medio de la

tecnología fuel cell de hidrógeno. Se espera que, en el transcurso del tiempo, la formalización de las metas y objetivos impulsará proyectos de la misma índole que ofrecen soluciones para alcanzar las metas establecidas.

- **Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde:** En noviembre del 2020 el Ministerio de Energía de Chile presenta la Estrategia Nacional de hidrógeno verde en conjunto con McKinsey & Company en donde se detalla el potencial nacional para la producción de Hidrógeno Verde y su estrategia para ser en el futuro uno de los principales productores y comercializadores de hidrógeno verde con el menor costo operacional por las condiciones geográficas y climáticas que caracterizan a Chile para obtener energía renovable. Adicionalmente, se presenta al hidrógeno verde como un compuesto flexible capaz de hacer frente al cambio climático en el largo plazo (Ministerio de Energía, 2020).

La estrategia es desarrollada con el propósito de materializar el hidrógeno verde en 3 oleadas principales:

1. **La primera oleada ([2023;2028]) serán consumos domésticos de gran escala con demanda establecida:** Oportunidades a corto plazo como el reemplazo del amoniaco importado por producción local y el reemplazo del hidrógeno gris utilizado en las refinerías del país. Adicionalmente, enfocarse en el uso de hidrógeno en el transporte de pasajeros y carga pesada.
2. **Segunda oleada ([2028;2033]) enfocada en más aplicaciones en transporte y el inicio de la exportación de hidrógeno verde:** Producción de hidrógeno competitiva que desplazará a los combustibles líquidos en el transporte terrestre en nuevas aplicaciones como la minería, y a combustibles gaseosos en redes de distribución. En paralelo, se abre una clara oportunidad de exportación de hidrógeno y sus derivados en mercados internacionales.

3. **Tercera oleada (2033 en adelante) de Largo plazo abrirá nuevos mercados de exportación para escalar:** Los sectores de transporte marítimo y aéreo pueden ser descarbonizados mediante el uso de combustibles derivados del hidrógeno, tanto en rutas locales como internacionales. Se espera que a medida que los países se descarbonicen, crecerán los mercados de exportación.

También se incluyen metas cuantitativas concretas específicas a corto plazo. Para el 2025 se espera ser el Top 1 de Inversiones en proyectos de hidrógeno verde en Latinoamérica con un total de 5 Billones de USD invertidos; tener 5 [GW] de Capacidad de electrólisis construida y en desarrollo; 200 [kTon/año] de producción en al menos 2 polos de hidrógeno verde en Chile. Mientras que para el 2030 se espera que Chile sea líder exportador global de hidrógeno verde y sus derivados con 2,5 [BUSD/año]; El hidrógeno verde más barato del planeta con costos <1,5 [USD/Kg]; Líder en producción global de hidrógeno verde por electrolisis con 25 [GW].

La estrategia Nacional de hidrógeno verde tiene un impacto positivo en el proyecto estudiado, puesto que promueve la producción del hidrógeno verde y lo define como un componente capaz de descarbonizar las diferentes industrias por medio de sus múltiples aplicaciones.

- **Acuerdo de Escazú:** El acuerdo de Escazú es un convenio promovido por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) cuya adopción impulsaron Chile y Costa Rica en 2018 tras cuatro años de negociaciones. En el mismo año el Presidente Sebastián Piñera rechazó la participación en el acuerdo. De acuerdo a la prensa internacional, informan que tanto el ministerio de Relaciones de Exteriores como el de Medio Ambiente chilenos argumentaron el rechazo al tratado por incluir “ambigüedades” en algunas normas que “prevalecerían sobre la legislación interna”, causando confusiones jurídicas y exponiéndoles a posibles demandas internacionales (BBC News Mundo, 2020). En este contexto, el siguiente

presidente electo Gabriel Boric con su equipo, han confirmado que una de las primeras medidas a realizar es firmar el acuerdo de Escazú (Vargas, 2021).

El acuerdo de Escazú tiene por objetivo garantizar la implementación plena y efectiva en América Latina y el Caribe de los derechos de acceso a la información ambiental, participación pública en los procesos de toma de decisiones ambientales y acceso a la justicia en asuntos ambientales, así como la creación y el fortalecimiento de las capacidades y a cooperación, contribuyendo a la protección del derecho de cada persona, de las generaciones presentes y futuras, a vivir en un medio ambiente sano y al desarrollo sostenible (CEPAL, 2018).

En el acuerdo se destacan elementos como el Acceso a la información Ambiental, Generación y divulgación de información ambiental, participación pública en los procesos de toma de decisiones ambientales, acceso a la justicia en asuntos ambientales, defensores de los derechos humanos en asuntos ambientales. Este acuerdo, le entrega un rol importante a la comunidad para fiscalizar, participar de decisiones e informarse acerca de eventos o proyectos que incidan en el medio ambiente, por ende, se vuelve una barrera de entrada para proyectos de la industria minera que se caracterizan por grandes impactos medioambientales, tomando un rol incierto frente a nuevos proyectos.

5.2.1.6 Factores Legales

- **Normativa de *retrofit* de combustible fósil a eléctrico:** Actualmente, Chile no cuenta con una normativa para la aplicación del *retrofit* de vehículos livianos, medianos o pesados. En el año 2018 en la cámara de Diputados de Chile se aprueba una moción que autoriza y regula la circulación de vehículos livianos y medianos modificados y adaptados para utilizar, como único método de propulsión motores eléctricos, como pie inicial para incluir el *retrofit* (Chile, 2018).

El desarrollo de la propuesta llega a fines del 2021, en donde el gobierno de Chile pone en consulta pública la normativa del *retrofit* para reunir comentarios y sugerencias de qué elementos debe integrar la normativa que sienta las bases para la

transformación de vehículos de combustión a eléctricos (Subsecretaría de Transportes, 2021). En una entrevista realizada por el Portal Movilidad a la Ministra de Transportes, Gloria Hutt junto al Subsecretario de Transportes, José Luis Domínguez indicaron que siguen dando pasos importantes en materia de electromovilidad y que quieren ampliar aún más el acceso para que más personas se sumen a esta tecnología más limpia (Taborelli, 2021b).

Los requisitos técnicos planteados están adjuntos en el Anexo de Contenido. Cabe mencionar que la normativa en tramitación es aplicable solo a Buses o minibuses que presten servicio de transporte público o privado remunerado de pasajeros encuadrados en disposiciones ministeriales vigentes y vehículos motorizados destinados al transporte de carga con peso bruto vehicular inferior a 3.860 [Kg].

De lo anterior, se concluye que existen esfuerzos y trabajos colaborativos entre el Gobierno de Chile y las firmas que participan de la industria del *retrofit* de combustible a eléctrico para establecer una normativa para vehículos livianos que puedan operar por las calles, lo cual facilitaría el proceso de transición a la electromovilidad de las personas naturales sin necesidad de desembolsar un monto superior por un auto nuevo que no tenga emisiones contaminantes en su operación y que no sacrifique elementos asociados a la seguridad del usuario. Por otro lado, no hay noticias referentes al mundo del *retrofit* de maquinaria pesada de combustión a eléctrico, por lo que solo podría utilizarse dicha maquinaria en espacios privados fuera de ruta, contemplando elementos de seguridad para resguardar la integridad del usuario de la maquinaria. Tampoco se hace la distinción de transformación por medio de *retrofit* con celdas de combustible de hidrógeno, que se presume se debe a la carencia de un sistema de producción, distribución y abastecimiento de hidrógeno.

Una vez definidos los factores que son incidentes en el programa estudiado, es posible determinar las principales Oportunidades y Amenazas que tiene el proyecto.

Las principales Oportunidades determinadas son:

- Uso del hidrógeno como sustituto de combustibles fósiles: El servicio de *retrofit* promueve el uso del hidrógeno para sustituir el sistema actual dominante en función de combustión interna de diésel.
- Incentivo gubernamental al uso de nuevas tecnologías cero emisiones: El gobierno de Chile por medio de la Estrategia de hidrógeno verde y la ECLP ha definido objetivos cuantitativos con fechas determinadas para reducir las emisiones de efecto invernadero y a la vez promover nuevas tecnologías que prescindan de los combustibles fósiles en los distintos sectores industriales.
- Innovación en la Minería Orientada a la transformación digital y reducción de emisiones: Existe una orientación de la minería enfocada en reducir sus emisiones por medio del uso de nuevas tecnologías y herramientas que permitan mejorar las condiciones de trabajos de los operarios, mejorar sus ciclos de producción y eficiencia, y a la vez ser sostenible para cumplir con la normativa vigente de emisiones.
- Tendencia Ecológica: Existe un apoyo social a iniciativas que tengan por objetivo aplicar conceptos asociados a la ecología como la preservación de especies, cuidado de recursos naturales y reducción de emisiones que dea de representar una barrera para innovaciones y se vuelve un apoyo.

Las principales Amenazas determinadas son:

- Escenario económico nacional inestable: El valor de indicadores como el PIB han tenido variaciones volátiles en el último tiempo, lo que vuelve difícil de predecir su comportamiento en el futuro. Asimismo, se vive un tiempo de recesión marcado por una alta cifra de inflación cercana al 7% por alzas del IPC.
- Tasa de política monetaria promueve el ahorro: Nuevamente se alza el valor de la tasa política monetaria a un valor histórico del 4% en respuesta al ciclo inflacionario que se está viviendo en el país. Se promueve el ahorro con esta medida para inhibir la inflación, para volver a su valor sano del 3% en un horizonte temporal de 2 años.

- Tipo de cambio no favorece importación: El tipo de cambio del dólar ha tenido una constante alza en el último período con valores sobre los \$770 CLP por unidad. Su volatilidad está marcada en el último período por el conflicto Rusia – Ucrania.
- Impacto de acuerdo de Escazú en decisiones de minería: El poder que entrega el acuerdo de Escazú a las personas naturales para poder acceder a información y participar de la decisión de proyectos que se lleven a cabo con una consecuencia ambiental puede significar una gran barrera a la entrada a los proyectos de minería que se destacan por intervenir en el ambiente donde se desarrolla, puesto que comunidades podrían tener el poder rechazar dicho proyecto a pesar de contar con sus análisis de impacto ambiental aprobadas por las entidades gubernamentales existentes.

5.2.2 Microentorno.

El modelo de las 5 fuerzas de competencia de Porter es un método de análisis muy utilizado para formular estrategias en muchas industrias. La intensidad de la competencia entre las empresas varía en gran medida en función de las industrias. En general, la intensidad de la competencia es mayor en las industrias de menor rendimiento. De acuerdo a Porter, la naturaleza de la competitividad en una industria determinada es vista como el conjunto de 5 fuerzas: Rivalidad entre firmas competidoras, desarrollo de productos sustitutos, poder de negociación de los consumidores, entrada potencial de nuevos competidores y el poder de negociación de los proveedores. A lo largo del capítulo se desarrolla cada uno de los puntos mencionados.

5.2.2.1 Rivalidad.

La rivalidad entre empresas competidoras es por lo general la más poderosa de las 5 fuerzas de Porter. Las estrategias que sigue una empresa tienen éxito solo en la medida que proporcionen una ventaja competitiva sobre las estrategias que apliquen las empresas rivales. Dependiendo de la relación de rivalidad entre competidores, es posible seleccionar una estrategia que permita desarrollarse en la industria.

5.2.2.1.1 Tamaño y Homogeneidad de Firmas Participantes

De acuerdo a los datos recopilados sobre los 24 participantes identificados de la industria del servicio de mantenimiento, *retrofit* y *overhaul* de maquinaria, se obtuvieron los siguientes resultados de acuerdo a la participación de mercado estimada bajo el criterio de puntuación por atributos de valor en proveedores.

Firmas	Cuota de Mercado Estimada
Epiroc / Atlas Copco	9,28%
KOMATSU	8,28%
FINNING CAT	7,92%
SALFA MAQUINARIAS	7,18%
LIEBHERR	6,65%
SKC Maquinarias	6,10%
DERCOMAQ - Chile	5,80%
Sorena	5,15%
Maestranza Diesel	4,47%
He Parts - International	4,40%
TALLERES LUCAS	3,97%
FARÍAS INVERSIONES	3,15%
Emeser	2,90%
MECAMIN	2,89%
L&H CHILE	2,85%
FLUITEK	2,67%
ATACAMA LTDA	2,67%
CONFIPETROL	2,63%
Fukushi	2,62%
Power Train Technologies	2,53%
ZAMINE-Chile	1,95%
Anexus	1,91%
GHH	1,07%
MAX SOLUTIONS	0,94%

Tabla 11: Cuota de mercado de cada firma identificada en la industria del *retrofit* de maquinaria minera. Elaboración propia.

El valor obtenido del indicador C4 es de un 32.66%, que corresponde a la suma de los 4 líderes en cuota de mercado de acuerdo a la estimación realizada. El indicador refleja que no existe una alta concentración de cuota de mercado en los líderes.

En la industria analizada, que se caracteriza por tener una limitada cantidad de competidores, se obtuvo un valor del indicador HH (Herfindahl-Hirschmann) de 0,05445, lo cual refleja que el comportamiento de la industria no está concentrado en un grupo reducido de firmas, sino que todos pueden acceder a cuotas de mercado decentes y la industria no está concentrada en un grupo reducido de firmas. Dicho resultado respalda los datos obtenidos del indicador anterior.

De acuerdo a las estimaciones de participaciones de mercado realizadas, se obtuvo un valor de Ginni de 0,306, lo que indica una baja desigualdad para la industria, en donde no hay firmas que logren tener un gran dominio de la participación de mercado en comparación a las demás, por lo que no se pueden definir patrones de comportamiento para la industria. De acuerdo a lo planteado, no es posible para las firmas líderes el usar estrategias como fijaciones de precios para que las demás firmas no puedan competir.

Cabe mencionar que, aunque la desigualdad tenga un valor pequeño, el servicio no se caracteriza por ser homogéneo. Por ejemplo, el servicio de *retrofit* se caracteriza por intervenir maquinarias que pueden ser de múltiples marcas y participar de diferentes industrias, por lo que el factor desigualdad puede incidir en la especialización en una cierta marca o industria a las que pertenezcan las maquinarias para diferenciarse de los competidores. Se presume que este factor es incidente por las relaciones estrechas con proveedores para acceder a partes y piezas de la maquinaria necesaria para el reacondicionamiento.

Gráficamente, es posible analizar el fenómeno de la desigualdad mediante la curva de Lorentz obtenida en el **Gráfico 20**. En dicho gráfico se representa la situación ideal en donde la participación de mercado se distribuye de manera equitativa entre los participantes y se compara con la situación real de participación, la diferencia entre las dos curvas corresponde a la desigualdad obtenida.

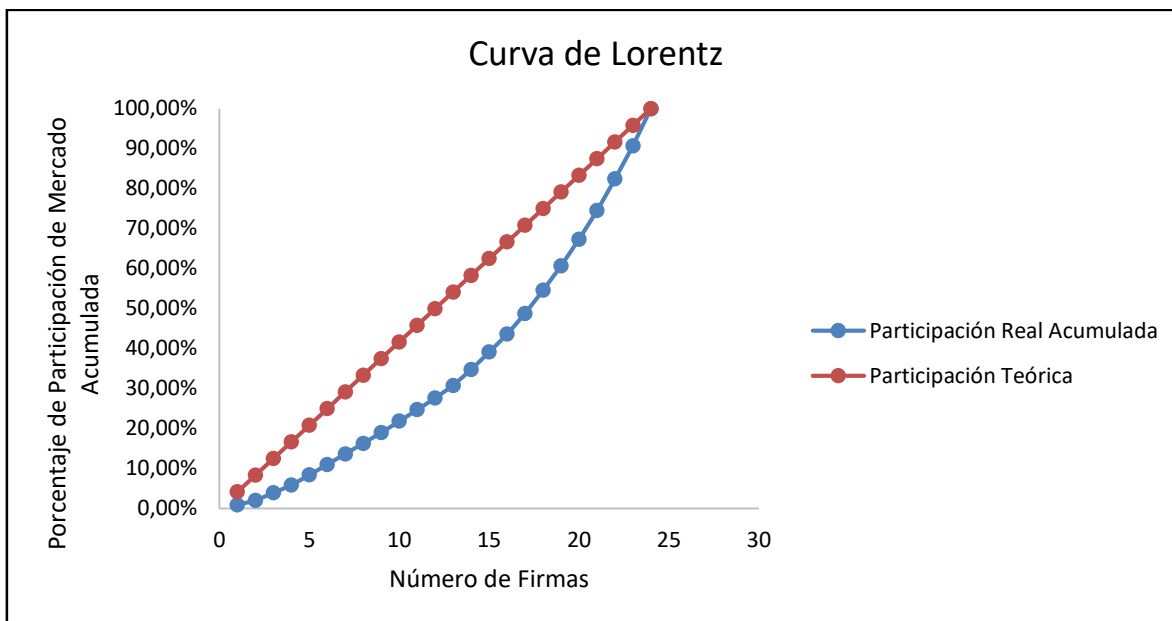


Gráfico 20: Gráfico de Curva de Lorentz obtenido de acuerdo a las participaciones de mercado estimadas de las firmas participantes en la industria. Elaboración propia.

A partir del gráfico se determina que la curva real obtenida no tiene una diferencia considerable, por lo que no es posible afirmar que el mercado está concentrado en un número finito de firmas, lo cual se respalda por el valor del índice de desigualdad de Ginni. Es posible determinar que al incluir nuevos competidores en la industria con bajas participaciones iniciales puede aumentar el fenómeno de desigualdad y las firmas con mayor poder de mercado pueden tomar decisiones como la reducción de precios para reducir los incentivos a nuevos competidores.

5.2.2.1.2 Cambios en la Oferta y Demanda.

De acuerdo a los gráficos de los escenarios analizados (**Gráfico 10** y **Gráfico 21**) es posible caracterizar la demanda como inestable, puesto que hay 3 años en que hubo importaciones significativas (2013, 2014 y 2016) que son saltos considerables comparados a los otros registros. De acuerdo a la literatura, una demanda menos estable, promueve un escenario de alta rivalidad entre las firmas, puesto que buscan aumentar su cuota de mercado captando a nuevos clientes.

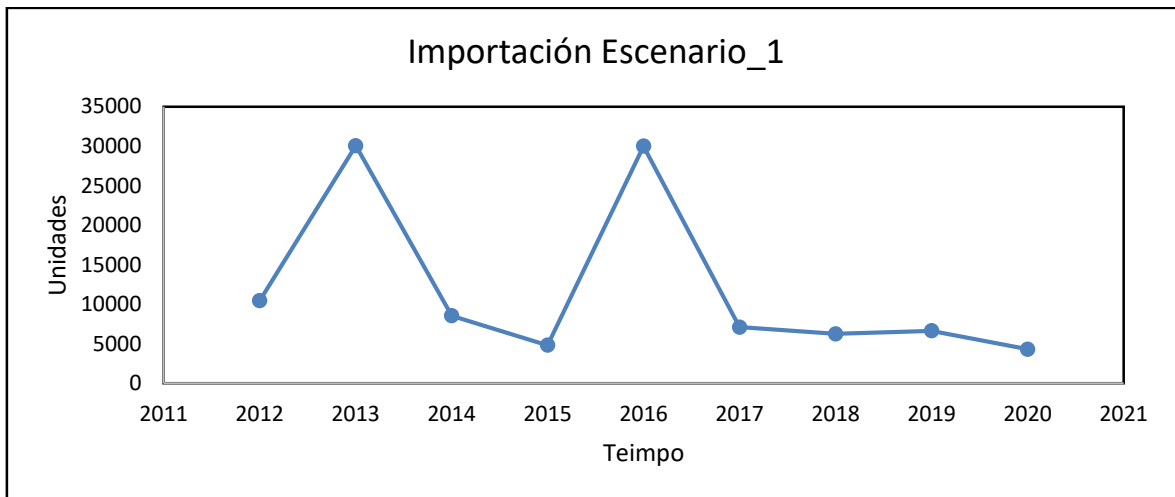


Gráfico 11: Importación de Maquinaria Exclusiva Minera No Agregada en Unidades. Fuente: Elaboración Propia.

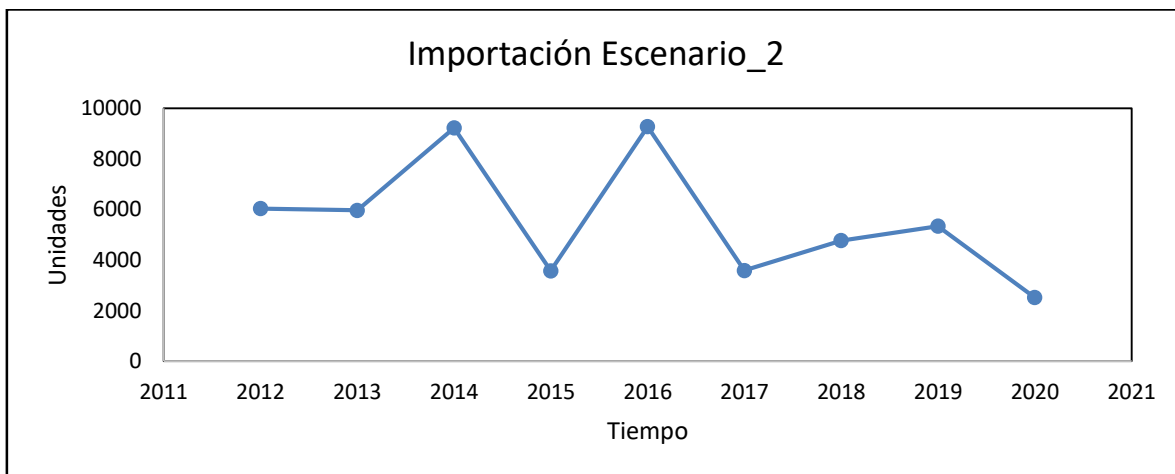


Gráfico 21: Importación de Maquinaria Transversal No Agregada en Unidades. Elaboración Propia.

De acuerdo a un estudio publicado en 2018, referente al mercado de Equipamiento Minero realizado por *Global Market Insights* (Wadhvani & Saha, 2018), se determina que el mercado de equipamiento minero tiene un tamaño evaluado por sobre los 70 Billones de USD en 2017 con una expectativa de crecimiento de sobre el 5% de CAGR (*Compound anual growth rate*) o tasa crecimiento anual compuesto del 2018 al 2024. Las expectativas del estudio detallan que los envíos de equipamiento a nivel global esperan superar las 450.000 unidades para el 2024. Cabe mencionar que el tipo de maquinaria contabilizada para el

estudio son Perforadoras y rompedores de minería, equipos de trituración, pulverización y cribado, maquinaria de procesamiento de minerales, equipos de minería de superficie y de minería subterránea (tanto para Mineras de Metal, de Minerales y de Carbón).

Otro estudio complementario de crecimiento de camiones pesados a nivel global publicado en el 2020, para camiones Clase 7, Clase 8 y de tipo de cabina, motorizado por combustible, gas, híbridos – eléctricos y con caballos de fuerza de los 300[HP] hasta por sobre 500[HP], indica que el tamaño del mercado de camiones pesados excede los 360 billones de USD para el 2019 con un crecimiento anual compuesto por sobre el 4% entre el año 2020 y 2026 (Wadhvani & Saha, 2020).

Por último, de acuerdo al Registro Oficial de Maquinaria Agrícola del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación correspondientes a octubre del 2020 muestra un crecimiento de las ventas de maquinaria nueva de un 3,4% respecto al 2019 en Chile. Sin embargo, previo al crecimiento indicado, se tiene un comportamiento errático en la curva de ventas en el **Gráfico 22**, en donde se destaca que en el primer semestre del 2020 la compra de maquinaria nueva fue sustancialmente inferior a la del año anterior y logra estabilizarse en el segundo semestre, como se ve en la curva comparativa verde.

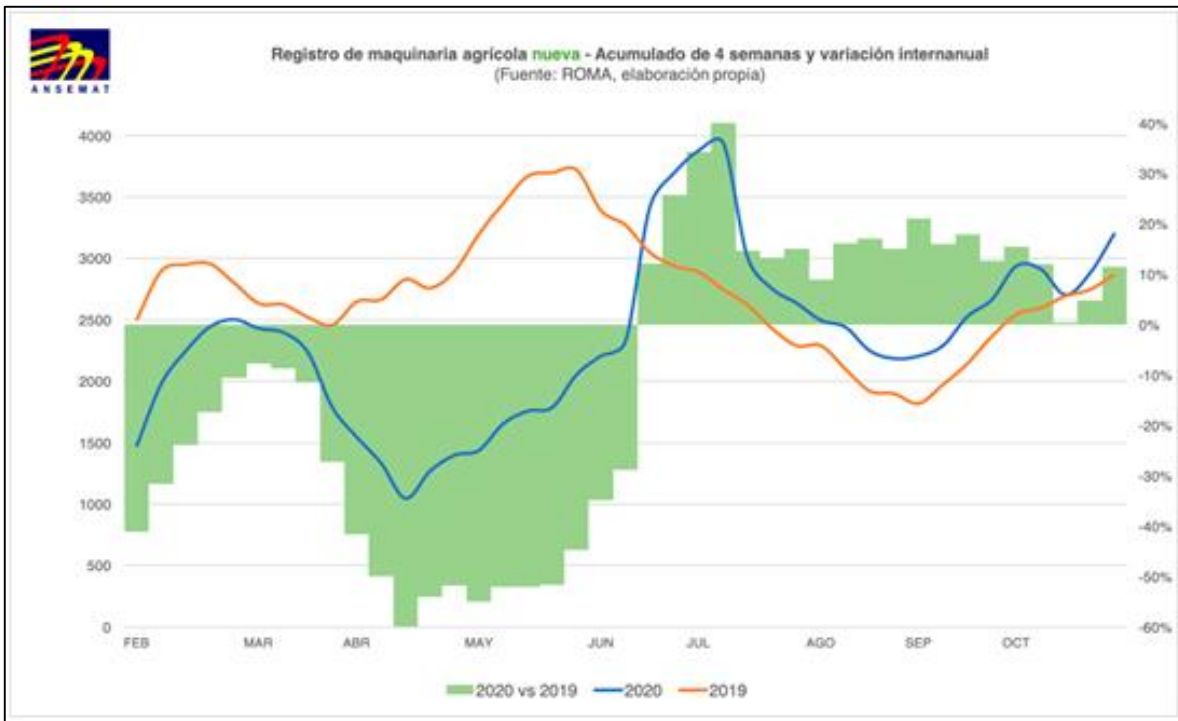


Gráfico 22: Registro de ventas de maquinaria agrícola nueva – Acumulado de 4 semanas y variación interanual. Fuente: Registro Oficial de Maquinaria Agrícola de Chile.

De acuerdo a los datos expuestos, la situación de la potencial demanda del servicio de *retrofit* es difícil de determinar, pero es posible afirmar que existe una demanda creciente a nivel global de maquinaria minera pesada y camiones de carga pesada fuera de ruta con expectativas crecientes. A nivel nacional existen importaciones de maquinaria que no tienen un comportamiento claro (tanto para la industria minera, agrícola o transversal), pero incrementan el parque de maquinaria nacional total, por lo que podría considerarse como maquinaria que puede ser *retrofiteada*.

Referente a la oferta, de acuerdo a la determinación de actores en el mercado, de las 23 firmas consideradas, las firmas que se conformaron más tarde tienen 5 años desde su constitución, por lo que el crecimiento de la Oferta es bastante reducido, como se ve en el **Gráfico 23**. A partir de la información recopilada, en los últimos 20 años, se han integrado a la industria un total de 9 firmas, lo cual es lógico bajo la premisa de las altas barreras de entrada y de salida de la industria.

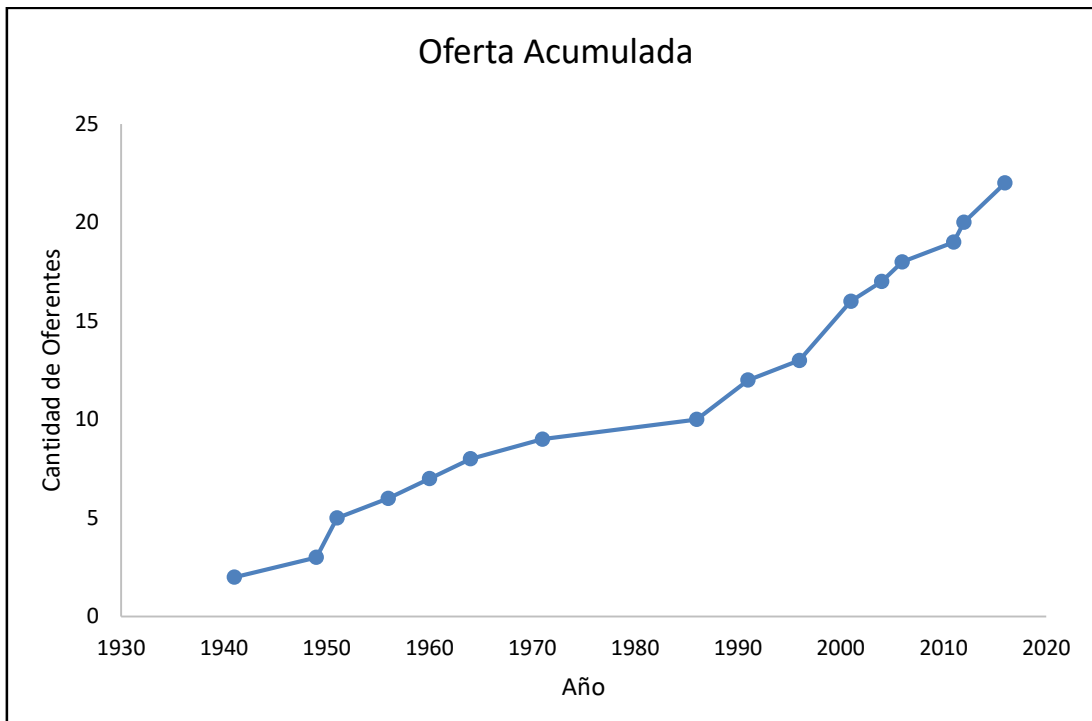


Gráfico 23: Oferta acumulada de acuerdo a las 23 actores identificados en la industria de acuerdo a su información de años de experiencia en la industria.

5.2.2.2 Presencia de Sustitutos.

Dado que en la industria actualmente no existe oferta que provea el servicio de *retrofit* cambiando el motor de combustión interna por uno de celda de combustible en base a hidrógeno, se considera como servicio sustituto el servicio de *retrofit* con conversión a motor diésel, que es el servicio que proveen parte de las 24 firmas identificadas. Adicionalmente, es necesario tomar en consideración que existe una normativa vigente para el *retrofit* a diésel que no está desarrollada para la tecnología del hidrógeno, por lo que la adquisición del servicio será creciente en el tiempo a medida que se desarrollen las normativas necesarias.

Otros sustitutos al servicio de *retrofit*, se consideran las firmas que participan en la industria de venta y arriendo de maquinarias, dado que se sustituye la maquinaria que ha cumplido su ciclo de vida útil con maquinaria nueva o usada que pueda desarrollar la misma tarea, abarcando el mismo mercado objetivo que el *retrofit*. Se investigaron los principales proveedores del servicio de venta y arriendo de maquinaria pesada, obteniéndose un total de 27 firmas que participan en la industria descrita a la fecha, sin considerar, los portales que

facilitan la conexión entre dueños de maquinaria particular y clientes. Las 27 firmas identificadas contienen actores de renombre en la industria, como Salfa Maquinarias, Dercomaq, Liebherr, Komatsu, Jansenn y Finning Caterpillar. Se estudia el crecimiento de este sector oferente en función del año en que inician sus actividades en Chile de acuerdo a los registros de Servicios de Impuestos Internos (SII), obteniéndose así el **Gráfico 24**. En el gráfico es posible determinar que, de acuerdo a los registros, las mayores alzas ocurren del año 97' al 98' y del 2004 al 2005 con la integración de 4 y 3 firmas respectivamente. De acuerdo a la función de la curva obtenida, es posible esperar que para el 2024 el número de firmas que provea el servicio sea de 39 firmas, un 45% más del valor actual de acuerdo a la regresión obtenida ($R^2=0.9059$).

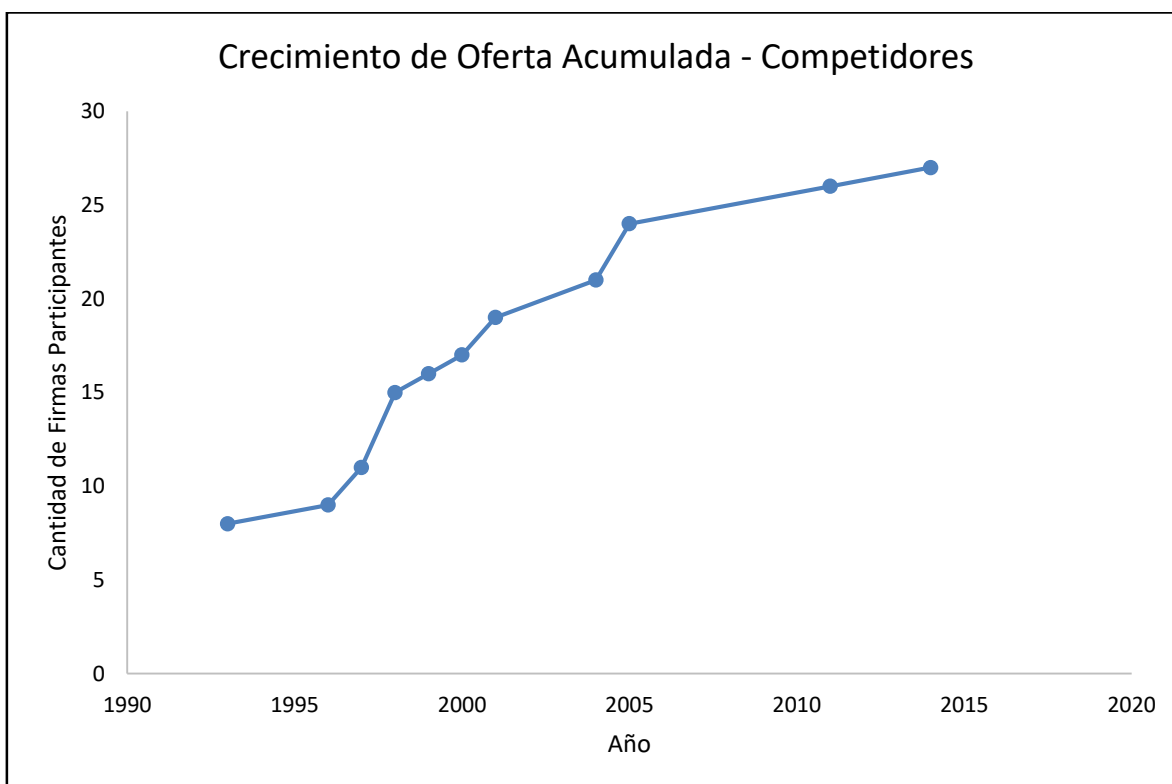


Gráfico 24: Curva de crecimiento de firmas oferentes de servicios de arriendo y venta de maquinaria pesada en Chile. Elaboración Propia.

Cabe mencionar que, a partir de una entrevista con Cristian Miranda, subgerente de productos y servicios de Salfa Maquinarias, indicó que sus clientes no suelen recurrir al servicio de retrofit cuando su maquinaria ha cumplido su ciclo de vida útil, sino que lo utilizan como

parte de pago para renovar su flota de maquinaria, por lo que la presencia de sustitutos en este caso es un factor considerable en donde las opciones de arriendo de equipamientos son preferidas por los consumidores. Es por esta afirmación, que se estima que el poder de los sustitutos es alto.

5.2.2.3 Barreras a la Entrada de Nuevos Competidores.

La tasa de entrada a nuevos participantes puede verse afectada por los siguientes factores:

1. **Activos Específicos:** El equipamiento utilizado debe cumplir con la normativa vigente a nivel nacional definida específicamente para el uso de gases industriales y su almacenamiento. De acuerdo al reporte de insumos requeridos para el Laboratorio de Electromovilidad instalado en la Universidad Técnica Federico Santa María (Campus San Joaquín) se requiere la instalación de cilindros de gas comprimido de hidrógeno con sistema de regulación de presión, conductos, sujeciones y soportes adecuados para el flujo de hidrógeno. Adicionalmente, se requieren de suministros de nitrógeno comprimido para procesos de inertización en el laboratorio con su equipamiento complementario como el regulador de alta presión y la pistola de soplete y conexión.

Adicionalmente, el hecho de trabajar con hidrógeno, implica una metodología de operación de procesos acorde a los riesgos de la operación con dicho compuesto. Por ejemplo, una fuga de gas hidrógeno puede provocar Anoxia e Hipoxia sin una ventilación adecuada en un espacio cerrado como un laboratorio. El detalle de los requerimientos de seguridad para la correcta manipulación del compuesto, tanto como instrucciones de respuesta a múltiples escenarios se encuentran descritos en el WP2 – Diseño e Implementación de Sistemas de Seguridad para Laboratorio de Electromovilidad (A. Sánchez, 2021a).

Para efectos de testeo y simulación, el programa de Electromovilidad de la Universidad Técnica Federico Santa María desarrolló un emulador de pila de combustible, capaz de tener un comportamiento similar a la celda de combustible, desde el punto de vista eléctrico, lo que evita utilizar las instalaciones dedicadas al trabajo con explosivo, no se utiliza combustible para las diferentes pruebas, entre

otros. Los detalles de componentes específicos para realizar la simulación se encuentran en WP2 – Preparación de Laboratorios – Emulador de Pila de Combustible (A. Sánchez, 2021b).

A partir de los antecedentes y anexos presentados, es posible determinar que se requiere de una considerable inversión en activos específicos y especializados en materia energética para la prueba de componentes de la pila de combustible, como Fuentes DC programables, *EVS – F Fuel Cell Battery Simulators* y sistemas de testeo de fuentes de energía (como baterías, supercondensadores y celdas de combustible). Esto, incrementa las barreras de entrada para nuevos competidores en la industria, puesto que los activos específicos no tienen utilidad transferible a otras industrias, siendo consideradas como requisitos para participar en la industria.

2. **Flexibilidad de Aplicación:** El servicio de Retrofit en maquinaria pesada se destaca por la versatilidad y flexibilidad que debe tener el taller y los mecánicos para adaptarse a los diferentes tipos de maquinarias que requieran de una intervención, independiente del modelo y marca que tenga la maquinaria. Se sugiere adoptar un foco flexible para abarcar una cuota de mercado más amplia, sin embargo, una línea de retrofit exclusivo para una marca en especial, como John Deere puede ser un atractivo de nicho que requiera de una inversión inferior a una de maquinaria en general.
3. **Reputación Agresiva de los Participantes:** De acuerdo a la entrevista realizada a Cristian Miranda de Salfa Maquinarias, indicó que un factor incidente en las mineras para tomar una decisión referente a los proveedores son la antigüedad por año que posee la organización, por lo que el efecto reputación es incidente y constituye una parte de las barreras de entrada.
4. **Licencias y Patentes:** Se presume que será un punto importante para la barrera de entrada en la industria del retrofit a fuel cell dado que la metodología para su implementación será mediante una licencia que permita a los proveedores del servicio tener pleno conocimiento para la correcta instalación del sistema en base a hidrógeno. Por ende, el NO tener la licencia será una brecha para quienes busquen integrarse a la industria.

5. **Contratos:** Una parte importante para efectuar el retrofit, es el acceso a partes y piezas que necesite la maquinaria para su correcto reacondicionamiento, por lo que el tener contratos de exclusividad con los OEM marca una barrera para poder atender a los clientes.
6. **Ventajas de las Marcas Pioneras:** Para el caso en particular se considera el servicio de Retrofit como un “bien de experiencia” en cuanto al desempeño de la maquinaria post-intervención. En este contexto, los consumidores se arriesgan al momento de hacer la compra, puesto que no está claro por simple inspección si el producto es de calidad alta o baja. Así, se resume el problema enfrentado por un entrante potencial en convencer a los consumidores a arriesgarse con un nuevo servicio, cuando ya saben el desempeño de los proveedores existentes en el mercado. Ser una firma pionera marca un precedente de una línea de expectativa que será alta acorde a la aplicación de nuevas tecnologías y metodologías, y se considera como una barrera de entrada considerable para los potenciales competidores.

Con los criterios presentados, es posible determinar que la industria se caracteriza por tener considerables barreras a la entrada de nuevos participantes, por las relaciones exclusivas de contratos con proveedores OEM's de partes y piezas de maquinaria, además de considerar el factor de reputación que es valorado por las mineras acorde a las respuestas de Cristian Miranda en su entrevista. Debe considerarse, además, que para poder aplicar el reacondicionamiento de maquinaria con fuel cell se requiere de una metodología y aplicación clara dada por la presunta presencia de licencias que serán un factor a tomar en consideración para los nuevos participantes.

5.2.2.4 Factores Gubernamentales.

En la reciente publicación del Gobierno de Chile que lleva por nombre *Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile* presentada en la COP-26 en el año 2021, se destacan compromisos a nivel de país para enfrentar el cambio climático, en donde se explicitan objetivos y metas específicas por sector para reducir la huella de carbono y así reducir el impacto del cambio climático. Los objetivos y metas por sector incidentes en la investigación serán adjuntados en la sección de Anexo de Tablas.

El sector energético de Chile se destaca por ser responsable del 77% de las emisiones totales en el año 2018, pero a su vez, tiene el mayor potencial para mitigar las emisiones. De acuerdo a los objetivos y metas planteados para este sector, se destaca en la **Tabla 12** el alcanzar una matriz energética con una reducción considerable de emisiones de carbono. Para el 2050 se plantea una reducción del 40% de las emisiones directas provenientes del uso de combustibles fósiles en el transporte, una reducción de al menos 60% de emisiones de GEI en el sector energía, y una reducción del 70% de emisiones directas provenientes del uso de combustibles en la industria y minería, todo con respecto al año 2018. Dichos cambios requieren de una transición al uso de nuevas tecnologías emergentes para sustituir el uso de combustibles fósiles, promoviendo la inversión y desarrollo de nuevas tecnologías.


Sector Energía	ODS
Objetivo 1: Alcanzar una matriz energética baja en carbono al 2050.	
<p>Meta 1.1: Al 2030, reducción de un 25% de emisiones de GEI del sector energía (de acuerdo con el INGEI) en relación al 2018.</p> <p>Meta 1.2: Al 2040, reducción de un 20% de las emisiones directas de GEI provenientes del uso de combustibles en el sector transporte (incluido el transporte terrestre, marítimo y aéreo) con respecto al 2018.</p> <p>Meta 1.3: Al 2050, reducción de un 40% de las emisiones directas de GEI provenientes del uso de combustibles en el sector transporte (incluido el transporte terrestre, marítimo y aéreo) con respecto al 2018.</p> <p>Meta 1.4: Al 2050, reducción de al menos 60% de emisiones de GEI del sector energía (de acuerdo con el INGEI) en relación al 2018.</p> <p>Meta 1.5: Al 2050, reducción de un 70% de las emisiones directas de GEI provenientes del uso de combustibles en Industria y Minería, con respecto al 2018.</p>	

Tabla 12: Objetivo 1 y Metas del Sector Energético de acuerdo a la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile, página 109.

De acuerdo a la **Tabla 13**, se establecen metas orientadas al parque vehicular, en donde se destaca que desde el 2035 el 100% de la venta de vehículos terrestres de categoría livianos y medianos nuevos, deben ser cero emisiones, al igual que la integración de flota de vehículos que son parte del transporte público urbano. También evolucionará dicha transición a vehículos de transporte de carga y buses interurbanos, fomentando así la electromovilidad y

el desarrollo de tecnologías compatibles con combustibles cero emisiones, como el combustible sintético y el hidrógeno verde (incluyendo sus derivados).


<p>Objetivo 3: Incrementar el uso de tecnologías y energéticos bajos en emisiones, como por ejemplo el uso de hidrógeno verde, en todos los sectores de la economía.</p>	
<p>Meta 3.1: Meta 3.1: Al 2035, 100% de las ventas de vehículos nuevos terrestres, de categoría livianos y medianos, son cero emisiones; y el 100% de las nuevas incorporaciones en el transporte público urbano (buses, taxis y colectivos) son cero emisiones.</p> <p>Meta 3.2: Al 2030, se alcanza un 15% de combustibles cero emisiones (tales como hidrógeno verde y sus derivados, y combustibles sintéticos) en los usos energéticos finales no eléctricos.</p> <p>Meta 3.3: Al 2040, el 100% del parque de buses de transporte urbano público y privado, taxis, y logística urbana son vehículos cero emisión, asegurando contar con la infraestructura necesaria</p> <p>Meta 3.4: Al 2045, el 100% de las ventas de transporte de carga y buses interurbanos serán cero emisiones.</p> <p>Meta 3.5: Al 2050, alcanzar al menos 60% de participación de vehículos cero emisiones en el parque de uso particular y comercial, asegurando contar con la infraestructura necesaria.</p> <p>Meta 3.6: Al 2050, se alcanza un al menos un 70% de combustibles cero emisiones (tales como hidrógeno verde y sus derivados, y combustibles sintéticos) en los usos energéticos finales no eléctricos.</p>	

Tabla 13: Objetivo 3 y Metas del Sector Energético de acuerdo a la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile, página 110.

De la **Tabla 14** es posible rescatar que se penalizará el uso del carbono por medio de un aumento de precio en el transcurso del tiempo hacia el 2050. Adicionalmente para el año 2030 se presume existirá un sistema integral y eficiente de instrumentos de precio al carbono y otras externalidades, que podrían incluir impuestos a emisiones y usos de combustibles fósiles.

Objetivo 7: Diseñar y promover el uso de instrumentos económicos, incorporando mejoras en los existentes, para acelerar la transición energética en línea con los objetivos climáticos y lo que manda la ciencia.

Meta 7.1: Entre 2025 y 2030, el país ha definido una trayectoria de aumento del precio al carbono hacia el año 2050.

Meta 7.2: Al 2030, Chile cuenta con un sistema integral y eficiente de instrumentos de precio al carbono y otras externalidades, que podría incluir impuestos a emisiones y usos de combustibles fósiles, complementados con mecanismos de mercado u otros instrumentos que se evalúen como eficientes en esa fecha, que permitan dar señales económicas coherentes y predecibles.

Meta 7.3: Al 2050, toda generación eléctrica con atributo renovable se encuentra certificada por esquemas reconocidos por el Ministerio de Energía.



Tabla 14: Objetivo 7 y Metas del Sector Energético de acuerdo a la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile, página 112.

Cabe mencionar que, de acuerdo a la información publicada por el Gobierno de Chile (2021), la ECLP (*Estrategia Climática a Largo Plazo*) establece las emisiones máximas por sector económico, necesario para cumplir el presupuesto nacional de emisiones de carbono máximo para el período 2020-2030 de 1100 millones de toneladas de carbono de acuerdo al compromiso del país. La segmentación de porcentaje asignado corresponde a la siguiente:

- Ministerio de Transporte – 29%
- Ministerio de Energía – 26%
- Minería – 16%
- Agricultura – 11%
- Vivienda – 9%
- Salud – 5%
- Obras Públicas – 4%

A partir de los objetivos energéticos presentados, es posible determinar un escenario favorable para el desarrollo de nuevas tecnologías en materia de electromovilidad, puesto que la transición a la carbono neutralidad es una realidad en vehículos livianos, medianos y transporte público en cuanto a su venta. Adicionalmente se promueve el desarrollo y uso de nuevos combustibles cero emisiones como el hidrógeno verde y combustibles sintéticos,

mediante la penalización al precio del carbono y potenciales impuestos asociados al uso de combustibles fósiles o emisiones de GEI en general.

Referente al sector de la Minería, de acuerdo a la **Tabla 15** se establecen medidas referente a las flotas de maquinaria pesada, de forma que para el año 2030 el 100% de la gran minería inició la implementación de flota cero emisión para vehículos livianos como de carga. Se espera también que se reduzca a la mitad las emisiones de dióxido de carbono equivalente en las operaciones de la gran minería. Adicionalmente, la transición incluirá un sistema de gestión y auditorías para validar la eficiencia energética y emisiones de GEI incurridas en la operación.



Objetivo 4: Estar a la vanguardia en la mitigación al cambio climático impulsando el suministro basado en fuentes de energías renovables, y promoviendo la investigación, desarrollo tecnológico e innovación (I+D+i) para el uso de tecnologías bajas o neutras en emisiones.	
<p>Meta 4.1: Generar planes de flota cero emisión al 2025 para la gran minería e inicia implementación flota cero emisión al 2030.</p> <p>- 4.1.1: Al 2025, todas las operaciones de la gran minería cuentan con planes de flotas cero emisión tanto para vehículos livianos como de carga.</p> <p>- 4.4.2: Al 2030, el 100% de la gran minería inició implementación flota cero emisión.</p> <p>Meta 4.2: Al 2030, las operaciones de la gran minería reduce al menos un 50% las emisiones de CO_{2eq}.</p> <p>Meta 4.3: Al 2030, el 90% de los contratos de energía eléctrica del sector minero proviene de fuentes renovables, alcanzando el 100% al 2050.</p> <p>Meta 4.4: Establecer metas de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de alcance 1, 2 y 3, dando cumplimiento al 2030, y su posterior monitoreo y actualización.</p> <p>- 4.4.1: Al 2030, metas establecidas, monitoreadas y bajo cumplimiento.</p> <p>- 4.4.2: Al 2050, cumplimiento de las Metas establecidas.</p> <p>Meta 4.5: Al 2050, el 100% de las empresas cuenta con sistema de gestión y de auditorías para la eficiencia energética.</p>	 

Tabla 15: Objetivo 4 y Metas del Sector de Minería de acuerdo a la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile, página 116.

Por último, en la **Tabla 16** se destaca la planificación y gestión para integrar elementos del modelo de economía circular, generando indicadores de circularidad en línea con los compromisos de la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC).



Objetivo 6: Liderar el modelo de economía circular con un foco en el desarrollo de soluciones locales, reutilización de residuos e infraestructura y uso eficiente de recursos.	
<p>Meta 6.1: Al 2022, promover la generación de indicadores de circularidad en línea con los compromisos de la NDC. Al año 2025, se cuenta con Mesa de trabajo multisectorial; estudio de circularidad; e indicadores de circularidad.*</p> <p>Meta 6.2: Al 2030, fomentar la inclusión en la Ley REP de otros residuos no mineros, fuera de los siete residuos prioritarios.</p> <p>Meta 6.3: Al 2030, impulsar la economía circular a través de minería secundaria. Para ello, al año 2025 se identificarán las oportunidades de implementación para generar valor a partir de los residuos mineros.</p> <p><i>(*) Está orientado a proveedores, Cochilco hará estudio de diagnóstico en el 2021.</i></p>	 

Tabla 16: Objetivo 6 y Metas del Sector de Minería de acuerdo a la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile, página 117.

En base a los antecedentes del sector minero presentados, se determina que la planificación para descarbonizar el sector minero está sustentado en eficiencia en la operación y la integración de la electromovilidad para los diferentes tipos de vehículos que son parte de la cadena de valor de la minería.

En general, la ECLP se caracteriza por planificar el proceso de transición a la descarbonización de los múltiples sectores involucrados mediante la integración de nuevas tecnologías y compuestos sustitutos a los combustibles fósiles, lo que resulta en un escenario favorable para el desarrollo del *retrofit* a fuel cell, que actúa como una opción para la electromovilidad, promoviendo la economía circular por medio del reacondicionamiento de maquinaria que ha cumplido su ciclo de vida útil para reintegrarla en el mercado, como una opción económica para aquellos que busquen comprar o arrendar nuevo equipamiento que cumpla las normativas a futuro.

Se presume que el gobierno tendrá un rol clave para reducir las barreras a la entrada en la industria y así alcanzar las metas propuestas en la ECLP, promoviendo el ingreso de nuevos competidores, incentivando el desarrollo e investigación de nuevas tecnologías cero emisiones. Adicionalmente, estos factores gubernamentales inciden en la relación de las firmas, puesto que tendrán que ajustarse a los nuevos requerimientos para subsistir dentro de la industria.

6. Propuesta de Plan Estratégico.

6.1 Análisis y Desarrollo de Matriz FODA

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis del Macro entorno por medio del análisis PESTA y el análisis del Micro entorno por medio del análisis de Rivalidad y las 5 fuerzas de Porter, es posible determinar los componentes de la Matriz FODA resumiendo las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas del estudio. La matriz FODA es una herramienta de ajuste importante que ayuda al desarrollo de estrategias en función de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas identificadas.

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de tecnología asociada al hidrógeno como combustible. • Tecnología cero emisiones que promueve economía circular en maquinaria pesada. • Aplicable a múltiples industrias. • Altas barreras a la entrada (difícil entrar a competir). • Difícil de imitar. • Nula sensibilidad ante variaciones del precio de combustibles. • Reducción de CAPEX en la maquinaria intervenida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso del hidrógeno como sustituto de combustibles fósiles. • Incentivo gubernamental al uso de nuevas tecnologías cero emisiones. • Innovación en la Minería Orientada a la transformación digital y reducción de emisiones. • Tendencia Ecológica
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Reducida factibilidad en gran minería en maquinaria pesada, por políticas orientada a la seguridad. • Indeterminación de factores técnicos críticos como autonomía, disponibilidad, tiempo de reparación y ciclos de mantenimiento. • Alto costo asociado a tecnología fuel cell y estado inicial de implementación. • Difícil estandarización por características de cada maquinaria específica y las partes y piezas de OEM. • Alta presencia de servicios sustitutos (arriendo de maquinaria pesada por dueños particulares o empresas, empresas de proyectos de construcción, movimiento de tierra, excavación, etc). 	<ul style="list-style-type: none"> • Escenario económico nacional inestable. • Tasa de política monetaria promueve el ahorro. • Tipo de cambio no favorece importación. • Impacto de acuerdo de Escazú en decisiones de minería.

Una vez identificadas las Fortalezas y Debilidades, obtenidos del análisis interno y las Oportunidades y Amenazas del análisis externo se define la Matriz FODA que permite identificar estrategias para cada combinación:

Análisis Interno \ Externo	Amenazas	Oportunidades
Fortalezas	<p>Máx. Fortalezas Mín. Amenazas.</p> <p>Usar recursos únicos asociados a la tecnología cero emisiones como medio para mejorar la imagen de proyectos teniendo una huella ecológica en la reducción de emisiones en su operación, disminuyendo el impacto de malestar en comunidades con mayor poder de decisión sobre proyectos que incidan de forma negativa en el ambiente.</p>	<p>Máx. Fortalezas Máx. Oportunidades.</p> <p>El servicio de retrofit es difícil de imitar y usa nueva tecnología asociada al hidrógeno para su funcionamiento en Chile, donde existe una estrategia de hidrógeno para ser competitivo en la producción de dicho combustible y que es contemplado como un medio para alcanzar las metas y objetivos definidos en la estrategia climática de largo plazo en diferentes sectores industriales.</p>
Debilidades	<p>Mín. Debilidades Mín. Amenazas.</p> <p>Para tomar provecho de esta posición, se requieren de medidas asociadas a la supervivencia del proyecto. Se requiere de un trabajo duro en la determinación de factores técnicos para ser implementado con factibilidad técnica disminuyendo la incertidumbre. Se sugiere buscar alianzas con grandes firmas para apoyo financiero y para minimizar la incertidumbre por el impacto de la participación ciudadana en decisiones que intervengan en el medio ambiente.</p>	<p>Mín. Debilidades Máx. Oportunidades.</p> <p>Se pueden disminuir las debilidades asociadas a la factibilidad en la gran minería, por medio de enfocarse en minería de mediano y pequeño tamaño, considerando los futuros objetivos del gobierno que potencian el desarrollo de nuevas tecnologías en diferentes sectores industriales, teniendo en consideración que los requerimientos de disponibilidad y potencia son más flexibles en la minería en menor escala.</p>

En función de las potenciales estrategias identificadas, se selecciona la estrategia que maximiza las fortalezas y oportunidades en que está contextualizado el proyecto en estudio, puesto que, al ser un servicio y producto completamente nuevo e innovador en la industria, se tienen fortalezas suficientes para tomar provecho de las oportunidades obtenidas en el análisis de macroentorno.

Una vez utilizada la Matriz FODA para definir el principio en que se sustenta la estrategia, se procede a desarrollar el plan estratégico correspondiente.

6.2 Plan Estratégico.

Para la elaboración del Plan estratégico, se utilizará el modelo propuesto por David, que consiste en 3 etapas esenciales, la formulación de la estrategia, implementación de la estrategia y la evaluación de la estrategia (Fred R, 2003). En necesario mencionar, que los objetivos asociados a la estrategia deben ser medibles, cuantificables y alcanzables, sin embargo, se desarrollarán de forma conceptual, puesto que el aspecto técnico del kit de la celda de combustible se encuentra en etapa de investigación y desarrollo, y no hay una firma constituida ni estructurada al respecto. Cabe mencionar que también se encuentra en desarrollo un sistema de producción, logística y abastecimiento de hidrógeno verde a nivel nacional para contemplar el acceso al hidrógeno verde en el futuro.

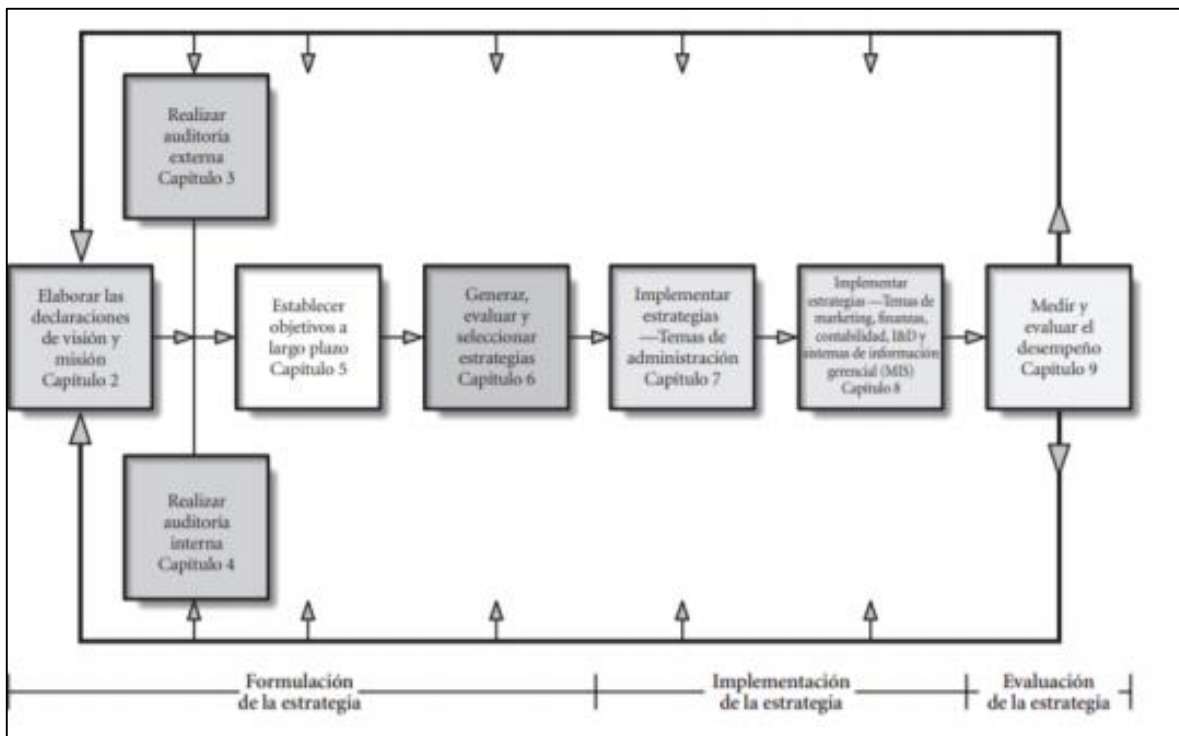


Figura 11: Modelo de Gestión estratégica de tres fases. Fuente: Conceptos de la Administración estratégica de Fred David.

Para el proyecto de servicio de *retrofit* de maquinaria transversal por medio de un kit de conversión de celda de combustible de hidrógeno, se requiere una Misión y Visión que guía y oriente la estrategia de acuerdo a lo que se busca. A partir del análisis realizado se sugiere lo siguiente:

- **Misión:** Utilizar la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías en función de hidrógeno para acelerar la transición hacia la electromovilidad en la maquinaria pesada, por medio de la economía circular y celdas de combustible.
- **Visión:** Ser líder en mantenimiento y reconversión de maquinaria cero emisiones en función de celdas de combustible de hidrógeno en Chile, reconocidos por su desempeño y servicio.

De esta forma, el servicio de *retrofit* de maquinaria transversal, buscará mejorar continuamente su tecnología, metodología y aplicación en las diferentes maquinarias,

permitiendo la integración de nuevas tecnologías cero emisiones a partir de hidrógeno verde, en maquinaria que se reintegra al mercado.

Una vez teniendo definido Misión y Visión del programa de investigación, se determinan las principales estrategias que se utilizarán.

La principal estrategia sugerida para alcanzar los objetivos, corresponde al **Desarrollo de Productos**, que consiste en la búsqueda del incremento de ventas por medio del mejoramiento de los productos o servicios actuales, o del desarrollo de nuevos productos. Dicha estrategia es seleccionada, puesto que las características y beneficios del uso del producto son únicos dentro de la industria del *retrofit*, considerando que es una tecnología que no emite GEI, es independiente de la volatilidad de precios de los combustibles fósiles, emite menos ruido, aplica economía circular y funciona en base a hidrógeno con precios atractivos al 2030 de acuerdo a la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, que corresponden a sus principales fortalezas. Estas distinguidas características, que aún no han sido completamente exploradas técnicamente hablando (en aspecto de autonomía, potencia, abastecimiento y tiempo de recarga) tienen el potencial de distinguirse del resto de productos y servicios en la industria del *retrofit* de maquinaria pesada. Esto permite tomar provecho de las oportunidades planteadas que se sustentan principalmente en la masiva producción de hidrógeno verde contemplada para Chile, y su uso como medio para reducir la huella de carbono en maquinaria pesada transversal usando su aplicación en celda de combustible.

Para tomar provecho de la estrategia de Desarrollo de Productos se definen los siguientes objetivos a plazos definidos:

N°	OBJETIVOS	RESPONSABLES	PLAZOS
(1)	Presentar un prototipo de maquinaria <i>retrofiteada</i> con kit de celda de combustible de hidrógeno operativo para demostración y prueba.	Equipo de Desarrollo Técnico.	[2-3] años.

(2)	Determinar el costo aproximado del kit de celda de combustible de hidrógeno, contrastando la diferencia de costo operacional por el aumento de costo de capital con maquinaria convencional.	Equipo de Desarrollo Técnico	[3-6] meses después del objetivo (1).
(3)	Determinar comparación de reducciones de emisiones de GEI en términos monetarios de acuerdo a la normativa vigente, proyección de impuesto a emisiones y los objetivos de la ECLP.	Equipo de análisis ambiental.	[6 meses – 1 año]
(4)	Definir metodología y “ <i>know how</i> ” para el servicio de <i>retrofit</i> con kit de celda de combustible de hidrógeno para ser patentada.	Equipo de Investigación y Desarrollo.	[6 meses – 1 año] después del objetivo (1).
(5)	Formar relaciones con principales OEM y sus talleres para facilitar el acceso a partes y piezas de maquinaria a intervenir.	Gerencia General.	[6 meses - 1 año] en últimas etapas del objetivo (1)

Con dichos objetivos, la perspectiva de factibilidad del programa incrementará sustancialmente y sus límites estarán definidos. Los propósitos y justificaciones detrás de cada objetivo son:

- **Objetivo (1):** Presentar una maquinaria *retrofiteada* con kit de celda de combustible de hidrógeno operativa con parámetros definidos de tiempo de operación continua, MTBF (*Mean Time Between Failures* – Tiempo medio entre fallas, detallado en la **Ecuación 3**), MTTR (*Mean time to repair* – Tiempo medio de reparación, detallado en **Ecuación 4**), tiempo y costo de mantenimiento preventivo, disponibilidad

(Ecuación 5) y autonomía de la maquinaria, consumo de combustible por hora, tiempos de recarga de combustible y otros parámetros de seguridad que resguarden la integridad de quienes operan la maquinaria y el entorno en donde opera la maquinaria. Todo avance debe ser reportado por medio de informes periódicos para informar a la organización sobre el estado del aspecto técnico de la maquinaria intervenida y comparado con maquinaria convencional. Esta información entrega fundamentos técnicos que justifiquen la aplicación de esta nueva tecnología, puesto que, si el desempeño es similar o superior a la oferta actual, la factibilidad del proyecto será sustancialmente superior, así como también en caso contrario, no lo será.

$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total disponible} - \textit{Tiempo de Averías}}{\textit{Número de fallas}}$	(3)
<i>Nota:</i> Se utilizan intervalos de tiempo definidos para el análisis del valor del indicador.	

Ecuación 3: Fórmula para cálculo de MTBF (tiempo medio entre fallas). Fuente: (Vargas & BluePrints, 2000)

$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de mantenimiento}}{\textit{Número de fallas}}$	(4)
<i>Nota:</i> Se utilizan intervalos de tiempo definidos para el análisis del valor del indicador.	

Ecuación 4: Fórmula para cálculo de MTTR (tiempo medio de reparación). Fuente: (Vargas & BluePrints, 2000)

$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	(5)
<i>Nota:</i> Se utilizan intervalos de tiempo definidos para el análisis del valor del indicador.	

Ecuación 5: Fórmula para cálculo de disponibilidad de equipamiento. Fuente: (Vargas & BluePrints, 2000)

- **Objetivo (2):** Entregar una cifra asociada al costo de implementación y operación de maquinaria reconvertida, será de gran ayuda para comparar los sistemas en función de combustibles convencionales derivados del petróleo y su volatilidad de costos operacionales producto de la dependencia directa de combustibles. Para ello, se

sugiere utilizar indicadores como estimaciones de costos de consumo de combustible a nivel mensual y anual por maquinaria comparando los costos incurridos por uso de combustible, además de comparar costos de mantenimientos. Adicionalmente, cuantificar el valor del kit de celda de combustible de hidrógeno para tener una clara percepción del gasto incurrido y plantear estrategias asociadas a su valor. Por ejemplo, si el costo de adquirir el servicio es muy elevado, pero reduce sustancialmente los costos operacionales para ser atractivo, se propone integrar facilidades de pago para la adquisición del servicio para pagar por su uso a través del tiempo en vez de afrontar un desembolso considerable por parte del cliente.

- **Objetivo (3):** Las oportunidades entregadas por el contexto en el que está inscrito el proyecto, se sustentan en el alcanzar objetivos asociados a la reducción de emisiones de GEI en distintos sectores industriales, por ende, es necesario contar con un estudio que demuestre el cambio y reducción que es posible generar con la integración de esta tecnología en la flota de maquinarias. Las comparaciones económicas deben hacerse por medio del análisis de los Bonos de carbono e infracciones y multas por emisiones de GEI en algunas industrias.
- **Objetivo (4):** Teniendo un prototipo exitoso, es posible desarrollar la metodología que contenga el *know how* asociado al servicio de *retrofit* con el kit en cuestión, producto del trabajo del equipo de desarrollo técnico. Se sugiere patentar dicha metodología con el fin de proteger los intereses de la organización, y como una forma de negociación para potenciales competidores que quieran integrarse al servicio de *retrofit* con celda de combustible de hidrógeno por medio de negociaciones de licencia.
- **Objetivo (5):** Un elemento importante extraído del análisis Porter, es el gran poder de negociación de proveedores (OEM) que proveen de las partes y piezas de la maquinaria intervenida. Por esto, se sugiere establecer y mantener relaciones con los proveedores de partes y piezas para tener facilidades de acceso a las partes y piezas

requeridas para proveer el servicio. Adicionalmente, no se descarta una alianza estratégica conocida como *Joint Ventures*, con el fin de aprovechar las oportunidades descritas por medio de la aplicación de esta nueva tecnología uniendo capacidades con los proveedores.

Con dichos objetivos, la perspectiva de factibilidad del programa incrementará sustancialmente y sus límites estarán definidos. La evaluación de la estrategia estará a cargo de la gerencia del proyecto por medio del análisis de los reportes entregados por los diferentes responsables con sus indicadores correspondientes.

Otra estrategia que puede ser aplicable una vez esté definido el producto y servicio de *retrofit*, es la estrategia de **Diversificación Concéntrica**, que consiste en la adición de productos o servicios nuevos, pero relacionados entre sí. Con esta estrategia, es posible proveer de servicios relacionados con el equipo *retrofiteado*, como el mantenimiento del mismo una vez haya cumplido un ciclo de horas determinado, o cursos de capacitación para prestar mantenimiento a los equipos en los talleres que los clientes podrían tener, que son actividades relacionadas al servicio de *retrofit* que se espera dar en un futuro.

Para los pasos siguientes, de acuerdo a la Figura 5 del modelo de David, se requiere de la existencia de la firma que provea el servicio de *retrofit* con celda de combustible de hidrógeno, para definir objetivos específicos asociados a cada sección que compone la organización para trabajar en función de los objetivos generales definidos, lo cual no es posible por el estado de desarrollo actual del programa.

Con lo anterior, se cumple la fase de Formulación de la estrategia acorde a los *insights* obtenidos por la investigación del Macro y Micro entorno en que se desarrolla el programa actualmente.

7. Conclusiones.

De acuerdo a los análisis realizados y los antecedentes presentados, se concluye que existe una oportunidad de negocio en la implementación de un proyecto asociado al *retrofit* de maquinaria, sin embargo, las condiciones y requerimientos en la industria minera constituyen unas barreras a la entrada elevada para participar en dicha industria. Esto se debe a que, de acuerdo a la entrevista realizada a Víctor Dorner (Jefe de proyectos de la Gerencia de Desarrollo e innovación de CODELCO – El Teniente), toda maquinaria adquirida en la gran minería utilizada en faena, tiene altos requerimientos de disponibilidad y seguridad en constante evolución con los avances tecnológicos, por lo que toda adquisición de maquinaria debe ser exclusivamente nueva y no equipamiento *retrofiteado* que podría no cumplir dichas expectativas al estar en una etapa de investigación y desarrollo, de acuerdo a sus políticas de seguridad. Para eliminar dicha barrera a la entrada, se sugiere tomar énfasis en la maquinaria transversal (Escenario 2) que participa en múltiples industrias, puesto que, a diferencia del sector minero, las disponibilidades de la maquinaria son menos exigentes (menores al 90% de disponibilidad que requiere en faena minera, de acuerdo a la entrevista a Victor Dorner). Cabe mencionar que, considerando que más del 50% de la maquinaria pesada en Chile, es *retrofiteada* (Geasur, 2014), existe un mercado amplio para la innovación en la industria de servicio de reconversión. A partir de la entrevista realizada a Cristián Miranda, Gerente de Ventas de Salfa Maquinarias, indica que clientes de su empresa han consultado por nuevas tecnologías en sus maquinarias para implementar innovación en sus procesos productivos asociados a electromovilidad, reducciones de emisiones de GEI y mejoras de eficiencia y rendimiento en su flota.

Para ser más específicos en la definición del mercado, se sugiere tener como objetivo a las empresas que proveen el servicio de venta y arriendo de maquinarias, dado que ante los objetivos definidos en la ECLP (reducción de emisiones en general) se presume que los clientes finales deleguen la responsabilidad a proveedores de servicios de arriendo de maquinarias o servicios de movimiento de tierra o proyectos en general para reducir su huella de carbono indirectamente, por lo que dicha industria deberá proporcionar el servicio acorde a las nuevas exigencias de emisiones de gases contaminantes, integrando modelos de

maquinarias más eficientes o con nuevas tecnologías, o reconvirtiendo su maquinaria. Ejemplos de objetivos y metas asociados a la industria de edificación y construcción se muestran en la siguiente Tabla:




SECTOR EDIFICACIÓN Y CIUDADES	ODS
Objetivo 1: Reducir las emisiones de GEI y contaminantes locales en las ciudades y a lo largo del ciclo de vida de la construcción y gestión de ciudades.	
<p>Meta 1.1: Al 2025, contar con información y definición de línea base nacional de carbono incorporado y carbono operacional de edificaciones residenciales nuevas y existentes.</p> <p>Meta 1.2: Al 2025, el 100% de las edificaciones nuevas que cuenten con certificación y calificación de sustentabilidad o eficiencia energética deberán reportar públicamente su huella de carbono operacional.</p> <p>Meta 1.3: Al 2030, el 100% de las edificaciones nuevas residenciales, deberán reportar públicamente su huella de carbono (carbono incorporado y carbono operacional).</p> <p>Meta 1.4: Al 2030, las edificaciones nuevas residenciales deberán reducir al menos un 10% su huella operacional con respecto a la línea base definida del año 2025.</p> <p>Meta 1.5: Al 2050, todos los nuevos edificios residenciales y no residenciales deberán alcanzar emisiones netas cero.</p> <p>Meta 1.6: Al 2050, lograr una reducción de 50% en emisiones de GEI de la edificación residencial nueva con respecto a la línea base 2020.</p>	  

Tabla 17: Objetivo 1 y Metas del Sector Edificación y Ciudades de acuerdo a la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile, página 135.

Otra conclusión que se asocia a la sugerencia de enfocarse en la maquinaria transversal, es la reducción de dependencia de las OEM, puesto que requieren de menor cantidad de partes y piezas específicas comparativamente a maquinaria más sofisticada (comparando un cargador frontal / tractor vs bulldozer). Adicionalmente, al ser maquinaria más “simple” aumentan las chances de proporcionar un kit de conversión de hidrógeno estándar para la maquinaria. Este punto es importante, porque los contratos de exclusividad y poder de las OEM limitan la capacidad de integración de un kit de conversión debido a las diferentes partes y piezas exclusivas de cada marca para cada modelo de maquinaria, efecto que se incrementa con maquinaria más sofisticada, por lo que se presume, es posible reducir la dependencia de las OEM enfocando los esfuerzos en la maquinaria transversal.

En el análisis del Macroentorno, se determina que la situación actual a nivel país no tiene las mejores condiciones económicas, sin embargo, sobre dilatar la implementación de la nueva oportunidad de negocio en desarrollo, podría costar una entrada no explorada en una industria con potencial para hacer frente al cambio climático mediante la reintegración de maquinaria al mercado, con cero emisiones mediante el *retrofit*. Adicionalmente, al ser el primer proyecto asociado a *retrofit* de maquinaria por medio de un kit de celda de combustible, fijará las expectativas y estándares en la industria del *retrofit* a futuro en el país.

Dentro del FODA obtenido a partir de los análisis realizados, se destaca la alta presencia de oportunidades por la aplicación de nuevas tecnologías ecológicas, cero emisiones y que involucren al hidrógeno, puesto que existen múltiples iniciativas de gobierno por descarbonizar e integrar nuevas tecnologías que sustituyan o minimicen el uso de combustibles fósiles, como se muestran en los diferentes objetivos de la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile o los objetivos en materia de hidrógeno con la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde como vector energético. Dichas oportunidades favorecen la realización del proyecto, y se presume existirán instrumentos de gobierno como fondos concursables para el desarrollo de nuevas tecnologías que funcionen a partir de hidrógeno, una vez se haya definido y concretado un sistema de producción, distribución y abastecimiento sostenible en el país.

En el ámbito de competitividad y rivalidad, la industria de servicio de *retrofit* está marcada por la presencia de los principales talleres de las OEM como Komatsu y Catterpillar, incluyendo otras grandes firmas multinacionales. De acuerdo a los criterios definidos para estimar la participación de mercado, se obtiene que la industria no presenta una significativa concentración de las grandes organizaciones, de forma que la cuota de mercado no se concentra en un puñado de firmas. Adicionalmente, el índice de desigualdad de Ginni con la curva de Lorentz, indican que la desigualdad entre los competidores no representa un comportamiento dominante de las firmas con mayor participación, por ende, no se pueden generar comportamientos propios de oligopolio (como precios predatorios) y es posible entrar a competir con una expectativa de cuota de mercado decente.

Otro aspecto a considerar, es la amplia presencia de sustitutos al servicio de mantenimiento de maquinaria en general, que corresponde al servicio de venta y arriendo de maquinaria o flota de maquinaria para movimiento de tierras u otros proyectos, que son realizados por firmas o por dueños particulares de maquinaria. Al cambiar el enfoque de mercado al de servicio de arriendo y venta de maquinaria, se “reduce” la presencia del sustituto, puesto que se vuelven el cliente objetivo del proyecto del kit de reconversión.

A pesar de existir un escenario con múltiples oportunidades para nuevas tecnologías cero emisiones, el proyecto del kit de reconversión con celda de combustible depende directamente del desarrollo del estudio técnico para definir información crucial para la integración de la nueva tecnología, como lo es el Costo Operativo de la maquinaria post intervención, limitaciones de potencia, costo de implementación y de la celda de combustible, costo y tiempo de mantenimiento de la maquinaria, autonomía, tiempo de recarga de combustible, entre otros factores considerando además que debe existir una norma de seguridad para la correcta operación y mantenimiento de la maquinaria. Por ende, es necesario esperar hasta poder responder las inquietudes planteadas para determinar la factibilidad técnica del proyecto. Teniendo dicha información, es posible enfocar la estrategia en las fortalezas del producto de ser único, independiente de los combustibles fósiles y con una metodología y *know how* que solo el proyecto puede realizar.

El plan estratégico propuesto sugiere un enfoque directo en el desarrollo del producto de kit de celda de combustible de hidrógeno para buscar diferenciarse de los competidores en la industria del *retrofit* por tener un producto/servicio innovador, difícil de imitar y que tome provecho de las oportunidades que da el contexto nacional. Para esto, es clave determinar y cuantificar elementos técnicos asociados al servicio para evidenciar la competitividad de la maquinaria intervenida con las opciones que ofrece el mercado actualmente. El servicio de *retrofit* entrega oportunidades para nuevas líneas de negocios asociadas al servicio de *retrofit*, como lo son el mantenimiento de la maquinaria intervenida y las capacitaciones de personal mecánico para el mantenimiento preventivo de la maquinaria y para su correcta operación como servicios complementarios que deben ser investigados a futuro.

Chile está dando grandes pasos en materia de producción de hidrógeno verde, y se puede hacer mucho más que solo comercializarlo y exportarlo con la aplicación en nuevas tecnologías que permitan incorporar la economía circular y la independencia de los combustibles fósiles. Utilizar este recurso para ser pioneros en su uso y control, definirá la perspectiva de innovación en energía y movilidad sostenible en el futuro.

8. Bibliografía.

- Antonio Sánchez, M. R. (2021). *Mercado potencial para utilización de la celda de combustible y Modelo económico de evaluación*.
- BCE. (2017). *BCE – Informe Anual 2017*.
- Brantes, R., & Cantallopis, J. (2019). *Informe de actualización de emisiones de gases de efecto invernadero directos en la minería del cobre al año 2019*. 18. <https://www.cochilco.cl/Listado Temtico/Informe GEI 2015 Versión Final con RPI.pdf>
- CEPAL. (2018). *Acuerdo de Escazú*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43595/1/S1800429_es.pdf
- Chile, C. de D. (2018). *Moción que Autoriza y regula la circulación de vehículos livianos y medianos modificados y adaptados para utilizar como unico medio de propulsión motores eléctricos*. 5.
- Cochilco. (2021). *Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2021 -2030 Resumen Ejecutivo*. 54. <https://www.cochilco.cl/Listado Temtico/2021 10 28 Inversión en la minería chilena - cartera de proyectos 2021 - 2030 VFinal.pdf>
- Dur, A. R. (2013). *ELABORACIÓN DE DIAGNÓSTICO E*.
- Fernández, C. (2013). *Energética del hidrógeno. Contexto, estado actual y perspectivas de futuro. Tesis Doctoral, Química Orgánica, Universidad de Sevilla, España, 73–81*. www.unep.or.kr/energy/hydrogen/hyg_intro.htm
- Fred R, D. (2003). *Conceptos de la Administración Estratégica*.
- Fundación Chile. (2019). *Memoria 2019*. 5–24.
- Fúnez Guerra, C., Reyes-Bozo, L., Vyhmeister, E., Jaén Caparrós, M., Salazar, J. L., Godoy-Faúndez, A., Clemente-Jul, C., & Verastegui-Rayó, D. (2020). Viability analysis of underground mining machinery using green hydrogen as a fuel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(8), 5112–5121. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.07.250>
- Geasur. (2014). *Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país*. 1–171. www.geasur.cl
- Gobierno de Chile. (2021). *Estrategia Climática de Largo Plazo*. July, 1–23. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/estrategia-climatica-de-largo-plazo-2050/descripcion-del-instrumento/>
- Lao, J., Song, H., Wang, C., Zhou, Y., & Wang, J. (2021). Reducing atmospheric pollutant and greenhouse gas emissions of heavy duty trucks by substituting diesel with hydrogen in Beijing-Tianjin-Hebei-Shandong region, China. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(34), 18137–18152. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.132>
- McKinsey. (2021). *Hydrogen Insights. February*.
- Ministerio de Energía. (2020). *Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde - Chile*. 33.
- Ministerio de Energía, G. (2020). *Proposición de Estrategia Regulatoria del Hidrogeno*. 171.
- Ministerio de Energía, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, & Ministerio del Medio Ambiente. (2017). *Estrategia nacional de electromovilidad*. 56. http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/2018/electromovilidad/estrategia_electromovilidad-27dic.pdf.
- Najjar, Y. S. H. (2013). Hydrogen safety: The road toward green technology. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(25), 10716–10728. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.05.126>
- Nda, M., Adnan, M. S., Ahmad, K. A., Usman, N., Razi, M. A. M., & Daud, Z. (2018). A review on the causes, effects and mitigation of climate changes on the environmental aspects. *International Journal of Integrated Engineering*, 10(4), 169–175. <https://doi.org/10.30880/ijie.2018.10.04.027>
- Ordin, P. (1997). Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen Systems, 1. *National Aeronautics and*

- Space Administration, NSS*. <https://doi.org/NSS 1740.16>
- Ortiz-Rivera, E. I., Reyes-Hernandez, A. L., & Febo, R. A. (2007). Understanding the history of fuel cells. *2007 IEEE Conference on the History of Electric Power, HEP 2007*, 2(2), 117–122. <https://doi.org/10.1109/HEP.2007.4510259>
- Pan, W., Chen, L., & Zhan, W. (2019). PESTEL Analysis of Construction Productivity Enhancement Strategies: A Case Study of Three Economies. *Journal of Management in Engineering*, 35(1), 05018013. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000662](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000662)
- Pollet, B. G., Staffell, I., & Shang, J. L. (2012). Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects. *Electrochimica Acta*, 84, 235–249. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.03.172>
- Reyes-Valenzuela, M., Sánchez-Squella, A., Barraza, R., Osses, M., & Valdivia-Lefort, P. (2021). Economic evaluation of fuel cell-powered OFF-ROAD machinery using stochastic analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.247>
- Sánchez, A. (2021a). *Diseño e Implementación de Sistema de Seguridad para Laboratorio de Electromovilidad*.
- Sánchez, A. (2021b). *WP2 - Preparación Laboratorios*. 1–9.
- Sánchez, F., & Hartlieb, P. (2020). Innovation in the Mining Industry: Technological Trends and a Case Study of the Challenges of Disruptive Innovation. *Mining, Metallurgy and Exploration*, 37(5), 1385–1399. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00262-1>
- Sganzerla, C., Seixas, C., & Conti, A. (2016). Disruptive Innovation in Digital Mining. *Procedia Engineering*, 138, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.02.057>
- SILVA, F. A. P., VENTURA, L., MALICHESKI, T. A., & JUNGE, T. (2016). *Concept of start stop retrofit system for mining equipment (off-highway)*. 362–370. <https://doi.org/10.5151/engpro-simea2016-pap53>
- Vargas, E., & BluePrints, S. (2000). High availability fundamentals. *Sun Blueprints Series, November*. <http://www.it-project-work.com/doc/HP-doc/HA/HAFund.pdf>
- Woodhouse, S., & Meisen, P. (2011). *Renewable Energy Potential of Chile. August*, 35. <http://www.geni.org/globalenergy/research/renewable-energy-potential-of-chile/Chile 2020 Report II PBM final.pdf>
- Analitik, V. (2021, 29 octubre). *Chilena Codelco sube producción de cobre e incrementa excedentes*. Valora Analitik. Recuperado 10 de enero de 2022, de <https://www.valoraanalitik.com/2021/10/29/codelco-sube-produccion-cobre-incrementa-excedentes/>
- Banco Central. (s. f.). *Base de Datos Estadísticos*. bcentral.cl. Recuperado 6 de enero de 2022, de https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_ESTADIST_MACRO/MN_EST_MACRO_IV/PEM_VAR12_IPC/PEM_VAR12_IPC
- Banco Central. (2021, 1 diciembre). *Informe de Política Monetaria - Banco Central de Chile*. bcentral.cl. Recuperado 6 de enero de 2022, de <https://www.bcentral.cl/web/banco-central/areas/politica-monetaria/informe-de-politica-monetaria>
- Banco Central de Chile. (2021, 31 diciembre). *Banco Central publica Informe de Política Monetaria (IPoM) de diciembre de 2021 - Banco Central de Chile*. Recuperado 3 de marzo de 2022, de <https://www.bcentral.cl/contenido/-/detalle/banco-central-publico-informe-de-politica-monetaria-ipom-de-diciembre-de-2021>

- BBC News Mundo. (2020, 23 septiembre). *Acuerdo de Escazú: el polémico rechazo de Chile al primer gran pacto medioambiental de América Latina y el Caribe*. Recuperado 10 de enero de 2022, de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-54263916>
- BBC News Mundo. (2021, 9 marzo). *Cómo el enorme aumento del precio del cobre encendió el debate en Chile sobre el aporte de las mineras privadas a las arcas públicas*. Recuperado 10 de enero de 2022, de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-56247275>
- Cámara de Diputados. (2017, 8 junio). *Honorable Cámara de Diputadas y Diputados - Chile*. camara.cl. Recuperado 6 de enero de 2022, de <https://www.camara.cl/legislacion/ProyectosDeLey/tramitacion.aspx?prmID=7163&prmBOLETIN=6767-03>
- Cámara de Diputados. (2021, 2 marzo). *Honorable Cámara de Diputadas y Diputados - Chile*. camara.cl. Recuperado 6 de enero de 2022, de <https://www.camara.cl/legislacion/ProyectosDeLey/tramitacion.aspx?prmID=14645&prmBOLETIN=14044-12>
- Carlos Alonso. (2021, 20 octubre). *Economistas ajustan a la baja proyección de PIB 2022 y ven que crece riesgo de que Chile caiga en recesión*. La Tercera. Recuperado 10 de enero de 2022, de <https://www.latercera.com/pulso/noticia/economistas-ajustan-a-la-baja-proyeccion-de-pib-2022-y-ven-que-crece-riesgo-de-que-chile-caiga-en-recesion/5D6ENRE7ZRFZ7NTTTFDNI05HXY/>
- COBUILD Advanced English Dictionary. (s. f.). *Definition of Retrofit*. www.collinsdictionary.com. Recuperado 2 de noviembre de 2021, de <https://www.collinsdictionary.com/es/diccionario/ingles/retrofit>
- Cochilco. (2021, 30 diciembre). *Precio de los Metales | Cochilco*. Recuperado 10 de enero de 2022, de <https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Bases%20de%20Datos/Precio-de-los-Metales.aspx>
- CODELCO. (2018, 23 abril). *10 años de Operación Autónoma en División Gabriela Mistral, Codelco. Presente y Futuro. - PDF Free Download*. docplayer.es. Recuperado 4 de enero de 2022, de <https://docplayer.es/89339870-10-anos-de-operacion-autonoma-en-division-gabriela-mistral-codelco-presente-y-futuro.html>
- CODELCO. (2019, 12 abril). *Codelco es la primera minera que integra buses eléctricos a sus operaciones*. <http://www.codelco.com>. Recuperado 2 de marzo de 2022, de https://www.codelco.com/codelco-es-la-primer-minera-que-integra-buses-electricos-a-sus/prontus_codelco/2019-04-12/141735.html
- Consejo Minero. (2020, 24 noviembre). *Pioneros en electromovilidad*. Recuperado 6 de octubre de 2021, de <https://consejominero.cl/plataforma-social/pioneros-en-electromovilidad/>
- Cooperativa. (2021, 20 octubre). *Nueva alza del precio del cobre: Llegó a su segundo valor más alto de la historia*. [Cooperativa.cl](http://cooperativa.cl). Recuperado 10 de enero de 2022, de <https://www.cooperativa.cl/noticias/economia/materias-primas/cobre/nueva-alza-del-precio-del-cobre-llego-a-su-segundo-valor-mas-alto-de-la/2021-10-19/130200.html>
- Cornelissen, A. (2021, 31 agosto). *Mass production of fuel cells becomes possible*. Innovation Origins. Recuperado 6 de enero de 2022, de <https://innovationorigins.com/en/mass-production-of-fuel-cells-becomes-possible/>

- Datos Macro. (2021, 2 diciembre). *El PIB de Chile aumenta un 4,9%*. datosmacro.com. Recuperado 10 de enero de 2022, de <https://datosmacro.expansion.com/pib/chile>
- David Nogales. (2022, 26 enero). «*Super Mario*» Marcel, el hombre más influyente de la economía local y favorito del mercado que será el encargado del Ministerio de Hacienda en la era Boric. La Tercera. Recuperado 4 de marzo de 2022, de <https://www.latercera.com/pulso/noticia/super-mario-marcel-el-hombre-mas-influyente-de-la-economia-local-y-favorito-del-mercado-que-sera-el-encargado-del-ministerio-de-hacienda-en-la-era-boric/WGTCB3BKSRQZFSY6YW6YBLL4Q/>
- El Mercurio. (2021, 20 diciembre). *Gestos a Argentina, firma de Escazú y empujar articulación sudamericana: Los primeros pasos internacionales de Boric*. emol.com. Recuperado 6 de enero de 2022, de <https://www.emol.com/noticias/Nacional/2021/12/20/1041643/boric-primeras-medidas-internacional.html>
- Gobierno de Chile. (2021, 26 octubre). *Presidenta de COP25 lidera lanzamiento de la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile que fija el camino para ser carbono neutral*. cop25.mma.gob.cl. Recuperado 17 de noviembre de 2021, de <https://cop25.mma.gob.cl/presidenta-de-cop25-lidera-lanzamiento-de-la-estrategia-climatica-de-largo-plazo-de-chile-que-fija-el-camino-para-ser-carbono-neutral/>
- Gustavo Orellana. (2020, 13 febrero). *Minería de cobre en Chile pierde 220 mil toneladas en 2016, su mayor caída en ocho años*. La Tercera. Recuperado 3 de marzo de 2022, de <https://www.latercera.com/noticia/mineria-cobre-chile-pierde-220-mil-toneladas-2016-mayor-caida-ocho-anos/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20las%20cifras,desde%20la%20crisis%20financiera%20internacional.>
- Hernández, L. (2020, 22 abril). *Daimler y Volvo se asocian para desarrollar celdas de combustible enfocadas a vehículos pesados*. Autocosmos. Recuperado 5 de octubre de 2021, de <https://noticias.autocosmos.com.mx/2020/04/22/daimler-y-volvo-se-asocian-para-desarrollar-celdas-de-combustible-enfocadas-a-vehiculos-pesados>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2021, 30 septiembre). *Tasa de desocupación nacional alcanzó 8,5% en el trimestre móvil junio-agosto de 2021*. ine.cl. Recuperado 6 de enero de 2022, de <https://www.ine.cl/prensa/2021/09/30/tasa-de-desocupaci%C3%B3n-nacional-alcanz%C3%B3-8-5-en-el-trimestre-m%C3%B3vil-junio-agosto-de-2021>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2022, 7 enero). *IPC de diciembre aumentó 0,8% respecto al mes anterior*. INE. Recuperado 3 de marzo de 2022, de <https://www.ine.cl/prensa/2022/01/07/ipc-de-diciembre-aument%C3%B3-0-8-respecto-al-mes-anterior#:~:text=Alza%20acumulada%20de%202021%20fue,fue%20de%207%2C%2025.>
- International Mining. (2021, 29 julio). *Anglo American says fuel cell-battery hybrid mining truck project at Mogalakewna entering final phase with testing start Q4 2021*. Recuperado 6 de enero de 2022, de <https://im-mining.com/2021/07/29/anglo-american-says-fuel-cell-battery-hybrid-mining-truck-project-mogalakewna-entering-final-phase-testing-start-q4-2021/>

- Iturra, F. (2021, 12 noviembre). *Exponor 2022 destaca cartera de proyectos mineros en Chile*. BioBioChile. Recuperado 3 de marzo de 2022, de <https://www.biobiochile.cl/noticias/economia/actualidad-economica/2021/11/12/exponor-2022-destaca-cartera-de-proyectos-mineros-en-chile.shtml>
- JCB. (s. f.). *JCB LEADS THE WAY WITH FIRST HYDROGEN FUELLED EXCAVATOR*. Www.Jcb.Com. Recuperado 13 de octubre de 2021, de <https://www.jcb.com/en-gb/news/2020/07/jcb-leads-the-way-with-first-hydrogen-fuelled-excavator>
- Leal, I. (2021, 9 diciembre). *Sequía histórica: 53% de comunas están bajo decreto de escasez hídrica*. La Tercera. Recuperado 10 de enero de 2022, de <https://www.latercera.com/nacional/noticia/sequia-historica-53-de-comunas-estan-bajo-decreto-de-escasez-hidrica/R5MKC2IXNRBATAIYWJXW75BW3Y/>
- Line, E. O. (2021, 4 enero). *Dólar abrió a la baja en primera sesión de 2021, debilitamiento global de la divisa*. Diario Estrategia. Recuperado 6 de enero de 2022, de <http://www.diarioestrategia.cl/texto-diario/mostrar/2250627/dolar-abrio-baja-primera-sesion-2021-debilitamiento-global-divisa>
- Ministerio de Energía. (s. f.). *Plataforma de Electromovilidad - Hidrógeno y electromovilidad en la minería*. Recuperado 6 de octubre de 2021, de <https://energia.gob.cl/electromovilidad/transporte-con-hidrogeno/hidrogeno-y-electromovilidad-en-la-mineria-ID-en-chile>
- Ministerio de Energía de Chile. (s. f.). *Plataforma de Electromovilidad - Empresas de conversión de vehículos eléctricos*. energia.gob.cl. Recuperado 2 de noviembre de 2021, de <https://energia.gob.cl/electromovilidad/modelos-de-negocios/empresas-de-conversiones-de-vehiculos-electricos>
- Ministerio de Minería. (2020, 17 abril). *Una Minería Sostenible: Ese es objetivo al que apunta la Política Nacional Minera 2050, hoy en desarrollo*. <https://www.minmineria.cl/una-mineria-sostenible-ese-es-objetivo-al-que-apunta-la-politica-nacional-minera-2050-hoy-en-desarrollo/>. Recuperado 4 de enero de 2022, de <https://www.minmineria.cl/una-mineria-sostenible-ese-es-objetivo-al-que-apunta-la-politica-nacional-minera-2050-hoy-en-desarrollo/>
- Ministerio del Medio Ambiente. (s. f.). *Estrategia Climática de Largo Plazo – Cambio Climático*. cambioclimatico.mma.gob.cl. Recuperado 6 de enero de 2022, de <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/estrategia-climatica-de-largo-plazo-2050/descripcion-del-instrumento/>
- Portal Minero. (2014, 16 enero). *Chile bate récord en producción de cobre el 2013 - Noticias - Comunidad Portal Minero*. www.portalminero.com. Recuperado 21 de octubre de 2021, de <http://www.portalminero.com/pages/viewpage.action?pageId=87007916>
- Portal Minero. (2017, 31 enero). *Chile obtiene producción de cobre de 5,5 millones de toneladas en 2016 - Noticias - Comunidad Portal Minero*. www.portalminero.com. Recuperado 21 de octubre de 2021, de <https://www.portalminero.com/pages/viewpage.action?pageId=124487651>
- Reborn Electric. (s. f.). *TECHNOLOGY*. Recuperado 6 de octubre de 2021, de <https://en.rebornelectric.cl/tech>

- Reporte Sostenible. (2021, 18 marzo). *Compañía minera en Chile implementa la flota de buses eléctricos interurbanos más grande de Sudamérica*. Recuperado 6 de octubre de 2021, de <http://reportesostenible.cl/blog/compania-minera-en-chile-implementa-la-flota-de-buses-electricos-interurbanos-mas-grande-de-sudamerica/>
- Revista Electro Industria. (2011, 1 julio). *Revista ElectroIndustria - Retrofit en la Industria: Extendiendo la vida útil de los equipamientos*. emb.cl. Recuperado 2 de noviembre de 2021, de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1647>
- Revista Minería Chilena. (2017, 8 febrero). *Casos de éxito de una minería sostenible*. Minería Chilena. Recuperado 4 de enero de 2022, de <https://www.mch.cl/reportajes/casos-exito-una-mineria-sostenible/#>
- Subsecretaría de Transportes. (2021, 31 diciembre). *Consulta Pública “Reglamento que establece requisitos para transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica”*. www.subtrans.gob.cl. Recuperado 3 de marzo de 2022, de <https://www.subtrans.gob.cl/>
- Taborelli, M. (2021a, agosto 12). *Gloria Hutt: «Estamos realizando pruebas para abordar la normativa del retrofit»*. Portal Movilidad. Recuperado 6 de diciembre de 2021, de <https://portalmovilidad.com/gloria-hutt-estamos-realizando-pruebas-para-abordar-la-normativa-del-retrofit/>
- Taborelli, M. (2021b, diciembre 16). *El Gobierno de Chile pone en consulta pública la normativa de retrofit*. Portal Movilidad. Recuperado 3 de marzo de 2022, de <https://portalmovilidad.com/el-gobierno-de-chile-pone-en-consulta-publica-la-normativa-de-retrofit/>
- Thomasson, E. (2020, 12 febrero). *Estudio internacional sitúa a Chile como el país más comprometido con el medioambiente*. La Tercera. Recuperado 10 de enero de 2022, de [https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/el-pais-mas-comprometido-con-el-medioambiente/817843/#:%7E:text=Estudio%20internacional%20sit%C3%BAa%20a%20Chile%20como%20el%20pa%C3%ADs%20m%C3%A1s%20comprometido%20con%20el%20medioambiente,-Emma%20Thomasson%20\(Reuters&text=Investigaci%C3%B3n%20en%202024%20pa%C3%ADses%20dice,Unido%20o%20de%20Am%C3%A9rica%20Latina](https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/el-pais-mas-comprometido-con-el-medioambiente/817843/#:%7E:text=Estudio%20internacional%20sit%C3%BAa%20a%20Chile%20como%20el%20pa%C3%ADs%20m%C3%A1s%20comprometido%20con%20el%20medioambiente,-Emma%20Thomasson%20(Reuters&text=Investigaci%C3%B3n%20en%202024%20pa%C3%ADses%20dice,Unido%20o%20de%20Am%C3%A9rica%20Latina)
- Universidad de Chile. (2021, 26 octubre). *Caída en tasa de desempleo a 7,8 por ciento muestra un repunte del mercado laboral*. Recuperado 6 de enero de 2022, de <https://www.uchile.cl/noticias/181090/tasa-de-desempleo-muestra-un-repunte-del-mercado-laboral#:~:text=La%20tasa%20de%20desempleo%20se,5%20puntos%20porcentuales%20para%20hombres>
- Vargas, F. (2021, 20 diciembre). *Gestos a Argentina, firma de Escazú y empujar articulación sudamericana: Los primeros pasos internacionales de Boric*. emol.cl. Recuperado 10 de enero de 2022, de <https://www.emol.com/noticias/Nacional/2021/12/20/1041643/boric-primeras-medidas-internacional.html>
- Vizcarra G., D. (2022, 3 enero). *Dólar cierra sobre \$ 850 tras alza de tasa del Banco Central y fuerte caída en el precio del cobre*. Diario Financiero. Recuperado 6 de enero de 2022, de

<https://www.df.cl/noticias/mercados/divisas/dolar-cierra-sobre-850-tras-alza-de-tasa-del-banco-central-y-fuerte/2021-12-15/083234.html>

Wadhvani, P., & Saha, P. (2018, 11 octubre). *Mining Equipment Market Size By Product (Mining Drills & Breakers, Crushing, Pulverizing & Screening Equipment, Mineral Processing Machinery, Surface Mining Equipment, Underground Mining Machinery), By Application (Metal Mining, Mineral Mining, Coal Mining), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Growth Potential, Competitive Market Share & Forecast, 2018 - 2024*. Global Market Insights, Inc. Recuperado 21 de noviembre de 2021, de

<https://www.gminsights.com/industry-analysis/mining-equipment-market>

Wadhvani, P., & Saha, P. (2020, 29 julio). *Heavy-Duty Trucks Market Size By Class (Class 7 [Axle Type {4X2, 6X4, 6X2}], Class 8 [Axle Type {4X2, 6X4, 6X2}, Cab Type {Day Cab, Sleeper}]), By Fuel (Diesel, Natural Gas, Hybrid Electric, Gasoline), By Horsepower (Below 300HP, 300HP – 400HP, 400HP – 500HP, Above 500HP), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Growth Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2020 – 2026*. Global Market Insights, Inc. Recuperado 6 de diciembre de 2021, de <https://www.gminsights.com/industry-analysis/heavy-duty-trucks-market>

9. Anexo de Contenido

9.1 Glosario

A lo largo de la investigación se hará referencia a los siguientes conceptos por su forma abreviada:

- FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle en inglés, o Vehículo con celda de combustible eléctrica en español.
- GEI: Gases de efecto invernadero.
- BEV: Battery Electric Vehicle en inglés, o Vehículo de batería eléctrica en español.
- PEM: Proton Exchange Membrane en inglés, o Membrana de intercambio de Protones en español.
- ICE: *Internal Combustion Engine* en inglés, o Vehículo de combustión interna en español.
- OEM: *Original Equipment Manufacturer* o Proveedor de equipamiento original en español.
- ERNC: Energía Renovable No Convencional.

9.2 Hidrógeno y Seguridad.

Una de las grandes preocupaciones por el uso del Hidrogeno Verde, son los aspectos de la seguridad para su manipulación y uso. En el año 2019 en Noruega, se registró una explosión en una gasolinera de Hidrógeno, lo que provocó que se cortara el suministro de hidrógeno en toda Noruega hasta definir la falla ocurrida e implementar las nuevas medidas de seguridad que prevengan hechos similares (Herget, 2019).

Este hecho pone en perspectiva la necesidad de cumplir con estándares de seguridad para un compuesto que se integra como nuevo combustible y sustituto de los combustibles fósiles, de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas.

De acuerdo a la teoría presentada en *Energética del Hidrógeno. Contexto, estado actual y perspectivas del futuro* (Fernández, 2013) se presentan los siguientes antecedentes que corresponden a las propiedades del hidrógeno.

El Hidrógeno posee un alto contenido de energía por unidad de masa con un Poder Calorífico que oscila entre los valores de 119 [MJ/kg] y 141 [MJ/kg], que son valores muy superiores a los de otros combustibles convencionales, siendo el poder calorífico inferior del hidrógeno del orden de tres veces superior al de la gasolina.

En términos de inflamabilidad, el hidrógeno necesita una fuente de ignición externa para que se produzca la ignición, por lo que no se le cataloga como un explosivo. Para que el hidrógeno arda son necesarias tres condiciones: que el hidrógeno se mezcle con el oxidante, que la mezcla esté dentro de los límites de la inflamabilidad y que esté presente una fuente apropiada de ignición. Las mezclas de hidrógeno con aire, oxígeno, u otros oxidantes son altamente inflamables en un amplio rango de composiciones. Los detalles de los límites de inflamabilidad y cantidad de energía necesaria para la ignición, de acuerdo a la presión y temperatura, se encuentran detalladas en el documento Estándar de Seguridad para el Hidrógeno y Sistemas de Hidrógeno publicado por la NASA (Ordin, 1997).

El peor suceso resultante de la liberación del hidrógeno, es que se mezcle con un oxidante (normalmente aire), que la mezcla se sitúe dentro de las concentraciones de detonación y que por lo tanto se produzca una mezcla detonante. La flotabilidad positiva y la rápida difusión molecular del hidrogeno gaseoso hacen que cualquier escape se mezcle rápidamente con el gas de los alrededores. Si se produce la detonación, el resultado de la zona de reacción es una onda de choque y la onda expansiva que le acompaña tiene un gran potencial para causar daños personales o de los equipos. Un factor que determina la existencia de la detonación es el confinamiento en que se encuentra la mezcla, como se muestra en el siguiente gráfico:

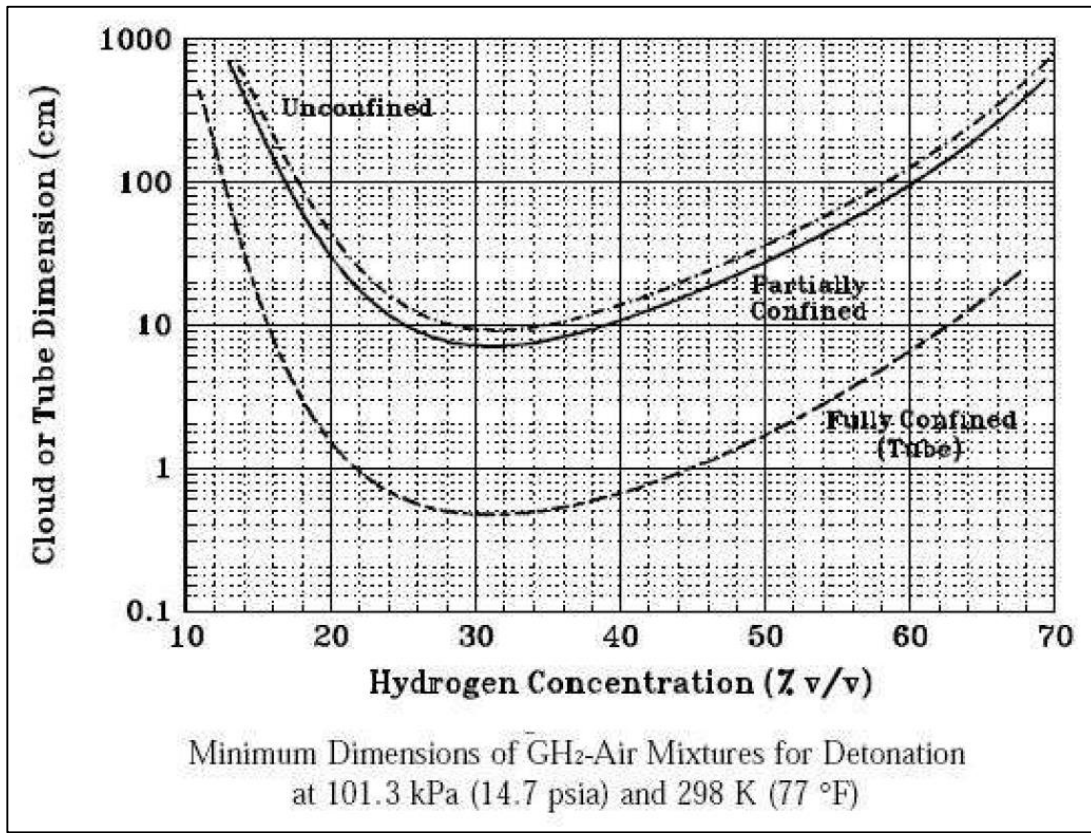


Gráfico 25: Límites de detonación de una mezcla de hidrógeno-aire dependiendo del tipo de confinamiento a una presión de 101.3 kPa y 298 K. La curva punteada superior indica el límite No confinado, por debajo el límite de parcialmente confinado y por último el límite confinado (tubo).

A partir del **Gráfico 25** es posible detectar que existe un comportamiento similar para la concentración de hidrógeno porcentual presente en la mezcla independiente de las dimensiones del tubo, sin embargo, para su correcto transporte minimizando las pérdidas y reduciendo el contacto con elementos oxidantes, se prefiere el tubo confinado buscando el punto máximo en el límite de detonación con una concentración aproximada del 28 – 29% y un diámetro de tubo de 0.7 cm aproximadamente. Cabe mencionar que los puntos superiores a la curva indican la detonación en las condiciones de presión y temperatura definidas la tabla.

En su forma gaseosa, el Hidrógeno es incoloro, inodoro y no es detectable en ninguna

concentración por los sentidos humanos. El hidrógeno no es tóxico, pero puede resultar asfixiante al diluir el oxígeno necesario en el aire respirable.

Adicionalmente, la llama hidrogeno-aire-oxígeno es incolora. Cualquier visibilidad de la misma es causada por impurezas. A presiones reducidas puede presentarse en un azul o morado pálidos. La temperatura de la llama para un porcentaje de volumen de hidrógeno de 19.6% es de 2321 [K]. Su velocidad de combustión en aire a condiciones normales es de 2.7 a 3.5 [m/s]. Dicha velocidad depende de la presión, la temperatura y composición de la mezcla. La alta velocidad de combustión del hidrogeno indica su alto potencial explosivo y la dificultad de confinar las llamas y explosiones de hidrógeno.

Todos los peligros que existen con el hidrogeno gaseoso también existen con el hidrógeno líquido, dada la facilidad con la que se evapora. El hidrógeno líquido tiene un punto de ebullición a 20.3 [K] a la presión a nivel del mar. Cualquier hidrógeno líquido salpicado en la piel o en los ojos puede producir serias quemaduras por congelación o hipotermia.

Teniendo en consideración las propiedades del hidrogeno, es necesario considerar su comportamiento en las diferentes etapas de su producción. En la literatura, se plantean los peligros asociados al almacenamiento del hidrógeno, que es que la baja densidad en conjunto con el tamaño pequeño de las partículas permite la penetración de las moléculas de hidrógeno en algunos metales y aleaciones como hierro fundido y acero con alto contenido de carbono. La penetración puede resultar en pequeñas fugas de hidrógeno, o que, en presencia de grietas dentro de la pared, contribuya a que las grietas se propaguen y disminuya la resistencia del material concluyendo posteriormente en una fractura. El almacenamiento es uno de los más grandes desafíos en materias de hidrogeno (Najjar, 2013).

Los antecedentes presentados evidencian los riesgos a los que está asociado el uso de Hidrógeno y el proyecto en cuestión, dado su alta capacidad energética y calorífica, volatilidad e inflamabilidad que deben ser considerados e investigados para su correcta aplicación y uso como un combustible sustituto o como materia prima para la

producción de Amoniaco o explosivos. Sin embargo, se vuelve una opción atractiva al ser un componente que tiene tanto potencial energético (3 veces el de la gasolina) y puede sustituir a los combustibles fósiles en diversas industrias, reduciendo la huella de carbono en diferentes sectores económicos como el transporte, agricultura y minería.

9.3 Tendencias en la Industria Minera.

El año 2019 se publica el Estudio de Caracterización de Proveedores en la Minería Chilena, en donde se estudia las firmas provenientes de diferentes industrias que componen el sector minero por medio de una encuesta realizada a más de 300 proveedores en el sector minero nacional. De acuerdo a su última publicación, se determinó que existen 4 pilares de tendencias en la minería chilena, que son:

- **Productividad:** La productividad minera ha caído desde el año 2011 en las faenas mineras chilenas de acuerdo a un reporte de Sernageomin presentado en el **Gráfico 26**. Lo anterior se debe principalmente a la caída en las leyes del mineral, y el súper ciclo en el precio de los metales que implicó que las empresas mineras privilegiaran la producción a expensas de la productividad, incrementando el uso de insumos. El uso de nuevas tecnologías, así como capitalizar de mejor forma el escenario de precios que plantea el mercado puede implicar mejorar en este ámbito contribuyendo a aumentar la productividad en la industria (BCE, 2017).

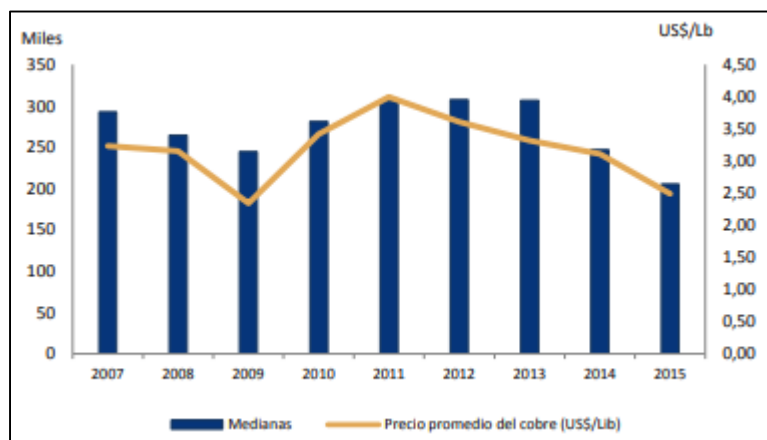


Gráfico 26: Producción de Cobre fino en mediana minería de Chile. Fuente: Sernageomin.

- **Interoperabilidad:** Un tema importante en la minería de Chile y el mundo, es la

incompatibilidad entre las tecnologías de monitoreo, automatización y robótica utilizadas en las faenas (Fundación Chile, 2019). En ese sentido, cada faena utiliza tecnologías específicas, incrementando el costo de mantención y adquisición, junto con enfocar y abordar sus problemáticas de forma diferente. Esto implica generar esfuerzos adicionales, sumado al incremento de los costos para compatibilizar las capacidades de los proveedores.

- **Electromovilidad:** Respecto a las nuevas aplicaciones del cobre, los nuevos vehículos eléctricos que se desarrollan en los mercados usan considerablemente más cobre que los vehículos convencionales, representando una oportunidad de abordar ese mercado y darle un valor agregado al cobre extraído. Por otro lado, en términos estratégicos, existe una Política de Energía 2050, la cual establece en uno de sus lineamientos el mejorar la eficiencia energética de los vehículos y de su operación y, como en una de sus metas, que al 2035 se adopten estándares de eficiencia energética para que el parque de vehículos livianos nuevos, resultado de esta forma una tendencia para la minería (Ministerio de Energía et al., 2017).
- **Minería Sostenible:** En este campo se busca una visión de la actividad minera que sea compartida por todos los actores interesados, para promover efectivamente el desarrollo sostenible del país. En este marco se promueve una actividad minera que equilibre los enfoques económicos, ambientales y sociales, permitiendo construir una minería armónica con su entorno.

A partir de los 4 puntos destacados, es posible determinar que las tendencias en la industria minera están relacionadas directamente con los avances tecnológicos que permiten la interacción y sinergia de los monitoreos, automatización y robótica en la cadena de valor de la minería, estandarizando la tecnología para priorizar la productividad. Adicionalmente, es posible relacionar la implementación de Maquinaria que funciona a partir de celdas de combustible de hidrógeno, como un agente que participa en la electromovilidad (además de

la tendencia global de vehículos eléctricos que se espera aumente la demanda de cobre) de maquinaria pesada en la minería y contribuye directamente a la minería sostenible por sus cualidades químicas y eléctricas que emiten como residuo agua y no GEI.

En el contexto internacional, en la literatura (F. Sánchez & Hartlieb, 2020), se identifican las siguientes tendencias en innovación en la industria de la minería:

- **Transformación Digital en Minería:** El concepto se basa en una digitalización avanzada de los procesos productivos y la combinación de tecnologías orientadas al internet, permitiendo la conexión entre sensores inteligentes, máquinas y sistemas IT a lo largo de la cadena de valor. La implementación de estos sistemas cyber-físicos debería traer una serie de beneficios, como un aumento en la productividad por la automatización de la producción y procesos de toma de decisiones, reducción de residuos, mejoras en el uso de equipamiento y reducción de costo de mantenimiento. Sin embargo, para alcanzar los beneficios mencionados, se demandan cambios organizacionales, conocimiento especializado y experto.
- **Minería “más allá” de la Transformación Digital:** En paralelo con la ola tecnológica que trajo la transformación digital, una serie de otras tendencias han ganado relevancia en la industria minera en los últimos años. Conducidos por la seguridad y preocupación medioambiental, reducción de costos, mejoras en la eficiencia y productividad en la operación, o un mix de estos motivos se forman las nuevas necesidades complementarias a la transformación digital. Dentro de esta categoría se encuentra la electromovilidad presente en los vehículos para transporte de personas, carga, maquinaria pesada y transporte público como medida alternativa a los combustibles fósiles. La electromovilidad en equipos puede distinguirse en 5 categorías de acuerdo a como entregan energía al motor: carro accionado, en base a baterías, mediante cableado directo a la máquina, Híbrido (ICE y equipo eléctrico) y por celda de combustible de hidrógeno.
- **Minería cero-residuos invisible:** Se basa en función a la reducción del impacto en la

superficie, usando el material residual de la operación subterránea para rellenar nuevamente cavidades abiertas después de la extracción de minerales, principalmente por razones de estabilidad y como razón para reducir el transporte. Al mismo tiempo, esta práctica reduce el efecto de hundimiento y, por ende, el impacto en la superficie por sobre la mina subterránea.

De acuerdo al escenario internacional expuesto, se presentan similitudes acordes al escenario nacional, con las tecnologías asociadas a la electromovilidad y a la transformación digital de la minería implementando sistemas de monitoreo y automatización en la minería. Es posible determinar que, acorde a las tendencias, las innovaciones desarrolladas con orientación a la electromovilidad y descarbonización de la industria minera tienen un escenario propicio para su integración y desarrollo en un futuro próximo.

9.4 Requisitos Técnicos de la Normativa de Retrofit de combustible a eléctrico.

Se presentan las principales condiciones para la correcta operación de servicio de *retrofit* de combustible a eléctricos en vehículos livianos de acuerdo a la información publicada por la consulta pública realizada por la Subsecretaría de transportes de Chile (Subsecretaría de Transportes, 2021).

Según el artículo 8 sólo podrán ser transformados aquellos vehículos sin elementos o dispositivos de seguridad de control electrónico, tales como: Sistema Antibloqueo de Frenos (ABS), Sistema Electrónico de Estabilidad (ESP), Control de Tracción, Airbag y/o Sistemas de Asistencia a la Conducción, y para los que exista un Kit Eléctrico de Transformación específico para la marca y modelo del vehículo.

La tipología de vehículos que quedaría bajo este reglamento son:

Buses o minibuses que presten servicios de transporte público o privado remunerado de pasajeros encuadrados en disposiciones ministeriales vigentes.

Vehículos motorizados destinados al transporte de personas o carga con peso bruto vehicular inferior a 3.860 [Kg].

Un detalle a remarcar es que el vehículo transformado no podrá revertir su condición a vehículo con motor de combustión interna.

Los vehículos transformados podrán circular siempre que el Par Modelo – Kit, haya sido certificado por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT), a través del Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV) y se verifique con ocasión de las revisiones técnicas que el kit y sus componentes corresponden aquellos certificados por el 3CV.

Por cada Par Modelo – Kit aprobado en la certificación, el 3CV emitirá un “Certificado de Aptitud para Transformación a Propulsión Eléctrica” que señalará expresamente el o los modelos que quedan amparados por la certificación, y las principales características de los componentes del Kit Eléctrico específico utilizado en la transformación.

Para dicha certificación existe un trámite burocrático a realizar desde una solicitud cuyos requisitos quedan expuestos en el reglamento. Aprobadas estas instancias se comienza con un procedimiento de verificación.

En tanto que, el 3CV será el encargado de comunicar a las Plantas de Revisión Técnica, a través de los Secretarios Regionales Ministeriales correspondientes, las características y componentes de las transformaciones realizadas en aquellos modelos certificados.

Referente a los talleres que practiquen este servicio, la práctica de transformación deberá realizarse en talleres autorizados por Resolución de la Subsecretaría de Transportes. Esta autorización se entregará a quienes cumplan aspectos específicos relacionados con personal técnico, infraestructura, equipamiento y nómina. Las plantas de revisión técnica también participarán del proceso.

Finalizados los pasos anteriores, el propietario del vehículo cuya transformación a propulsión eléctrica resulte verificada mediante un certificado de revisión técnica en el proceso indicado,

deberá realizar la anotación de la alteración de las características de un vehículo en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados.

9.5 Análisis de Caja y Bigotes.

A partir del análisis de caja elaborado para la determinación del parque de maquinaria, es posible determinar lo siguiente:

- 1.- En los casos A, B, D, E, F, G, H, I, K y M se obtuvieron datos atípicos fuera de los límites superiores del diagrama.
- 2.- En el caso de la serie C, J y L se aprecia que la distribución de los datos es mayor que en los demás gráficos obtenidos, lo cual es explicado por los valores de desviación que poseen dichas series.
- 3.- Los gráficos que poseen una menor distribución son A, B, F y H.

En consecuencia, se intervendrán los valores atípicos de la serie A, B, D, E, F, G, H, I, K y M y se reemplazarán por el límite superior determinado por el gráfico de caja y bigotes, puesto que su eliminación tiene un alto impacto en la estimación de la media, desviación y coeficiente de variación.

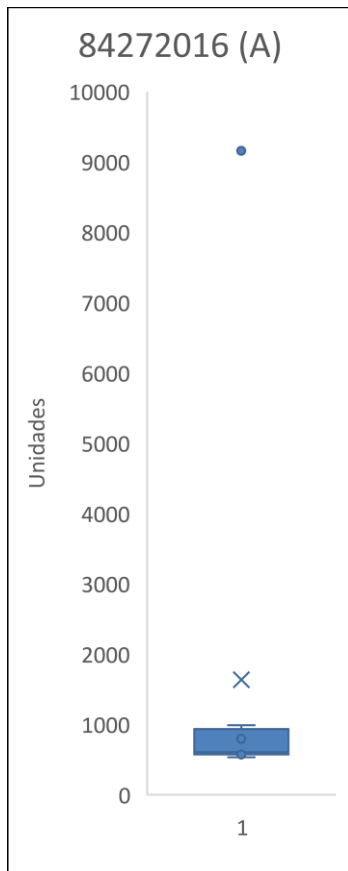


Gráfico 27: Análisis de Caja y Bigotes de Grúa Horquilla con Motor diésel, con capacidad de levante superior a 2000 Kg.

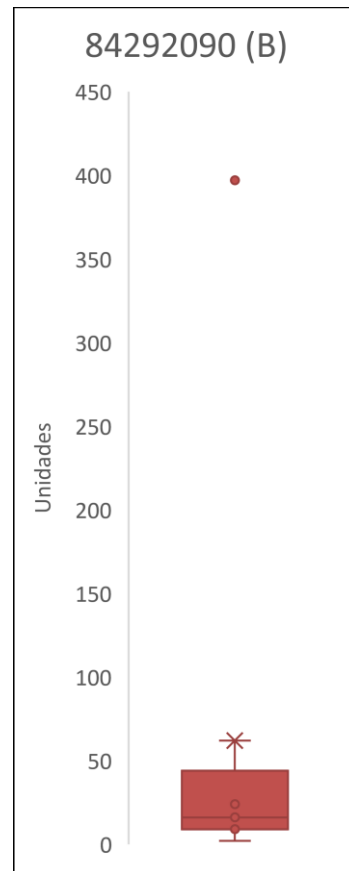


Gráfico 28: Análisis de Caja y Bigotes de Niveladoras en criterio “las demás”.

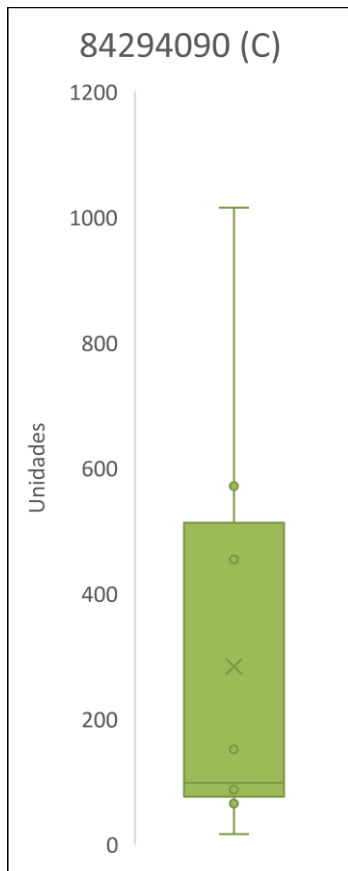


Gráfico 29: Análisis de Caja y Bigotes de Compactadoras y Niveladoras en criterio “las demás”.

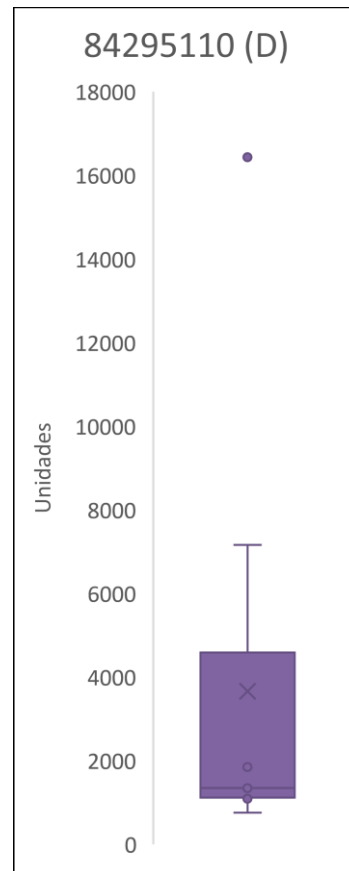


Gráfico 30: Análisis de Caja y Bigotes de Cargadores Frontales.

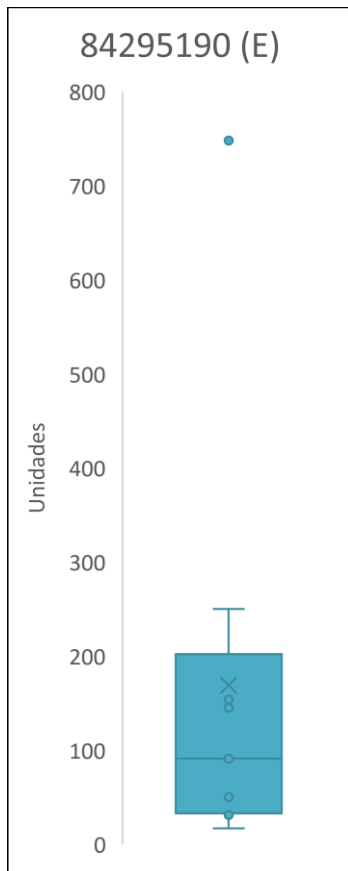


Gráfico 31: Análisis de Caja y Bigotes de Palas cargadoras de carga frontal.

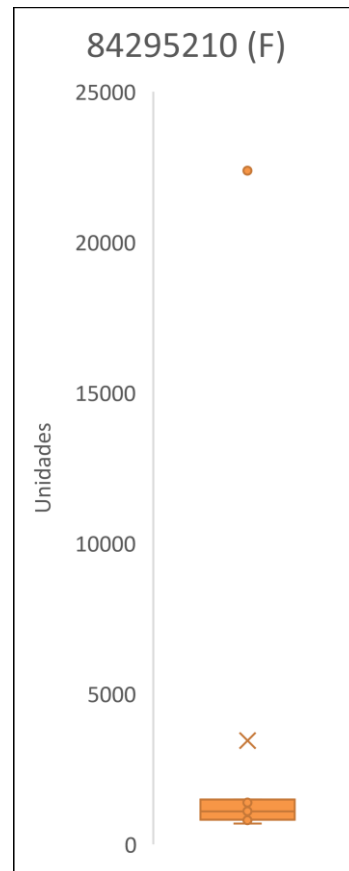


Gráfico 32: Análisis de Caja y Bigotes de Excavadoras cuya superestructura puede girar en 360°.

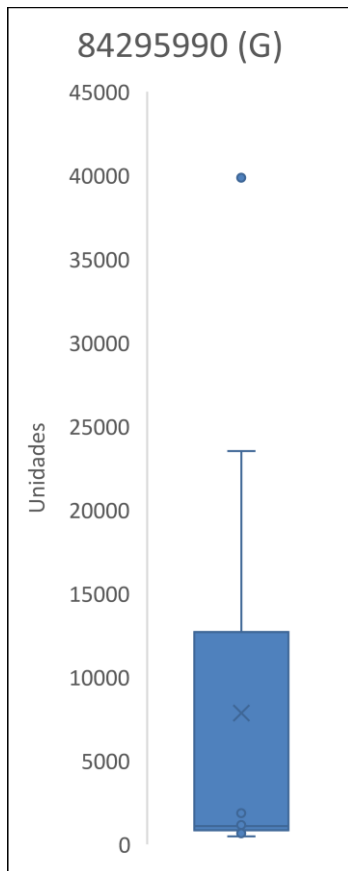


Gráfico 33: Análisis de Caja y Bigotes de las demás palas mecánicas, excavadoras, cargadoras y palas cargadoras.

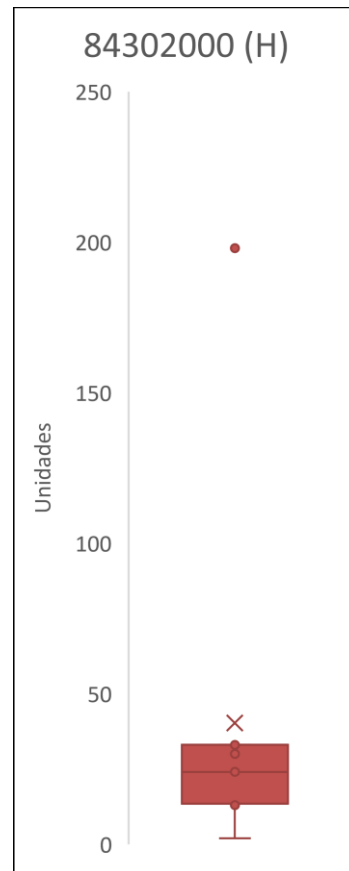


Gráfico 34: Análisis de Caja y Bigotes de Quitanieves.

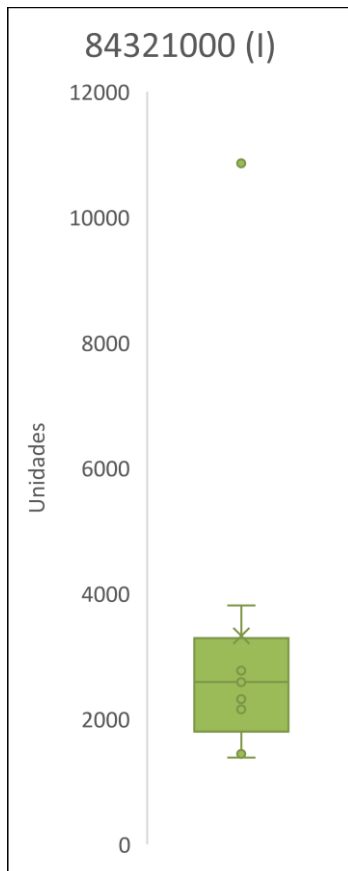


Gráfico 35: Análisis de Caja y Bigotes de Arados.

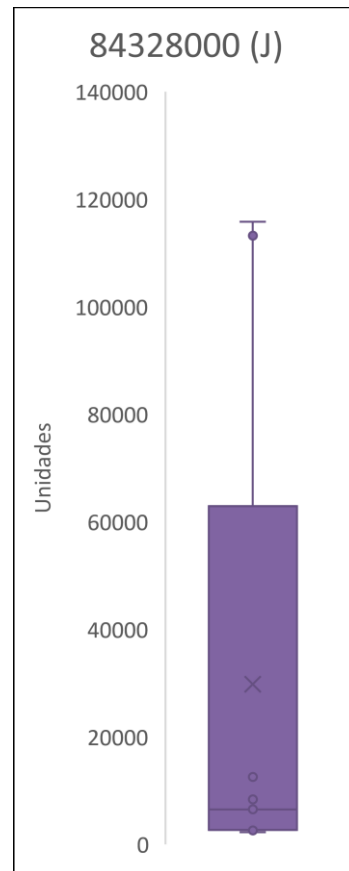


Gráfico 36: Análisis de Caja y Bigotes de las demás maquinarias agrícolas, hortícolas o silvícolas para la preparación o el trabajo del suelo o para el cultivo.

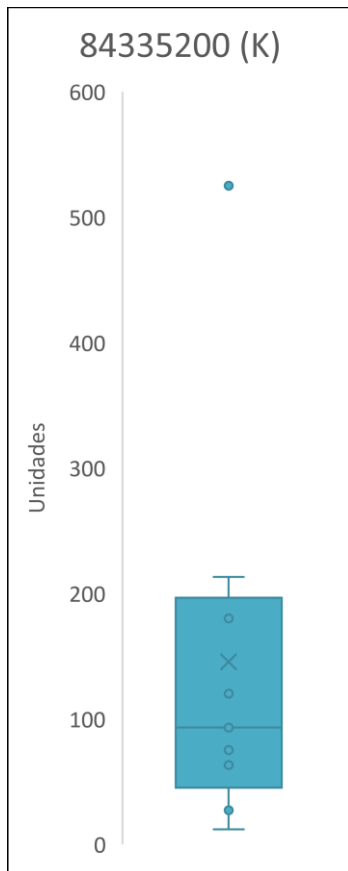


Gráfico 37: Análisis de Caja y Bigotes de las demás máquinas y aparatos de trillar.

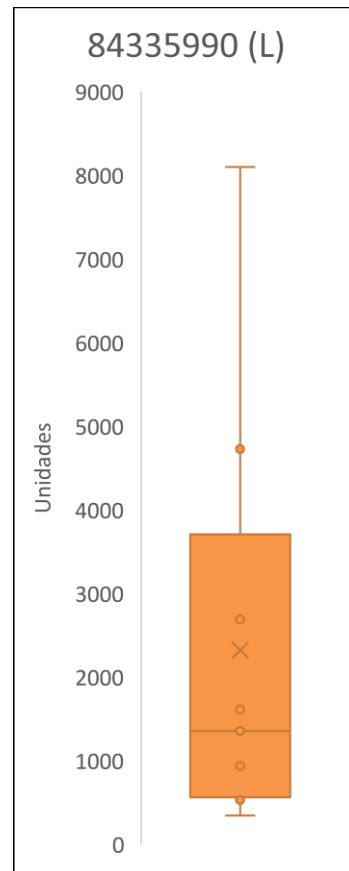


Gráfico 38: Análisis de Caja y Bigotes de las demás máquinas de cosechar o trillar.

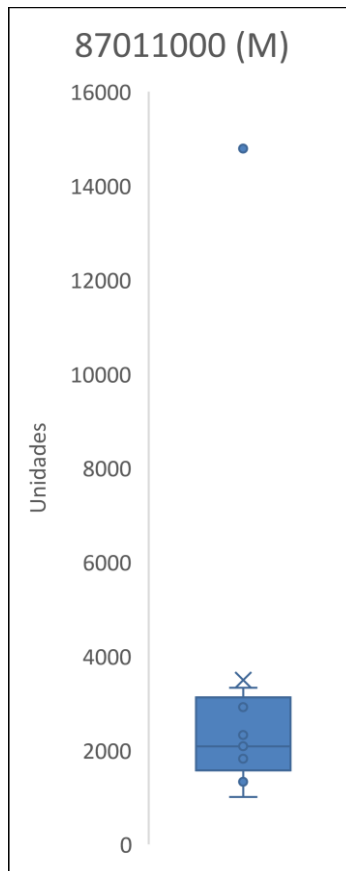


Gráfico 39: Análisis de Caja y Bigotes de Tractores de un solo eje.