UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Departamento de Ingeniería Química y Ambiental Ingeniería Civil Ambiental

2022-08

Evaluación técnico-económica para la recolección de residuos sólidos domiciliarios en camiones de recolección de basura eléctricos en la comuna de Valparaíso

Sazo Cortés, Karim Graciela

https://hdl.handle.net/11673/54034

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL QUÍMICA Y AMBIENTAL
VALPARAÍSO – CHILE

"EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA PARA LA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN CAMIONES DE RECOLECCIÓN DE BASURA ELÉCTRICOS EN LA COMUNA DE VALPARAÍSO"

KARIM GRACIELA SAZO CORTÉS

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERA CIVIL AMBIENTAL

PROFESOR GUÍA

Daniel Ramírez

PROFESOR CO-REFERENTE

Andrea Lazo

Agosto de 2022

TABLA DE CONTENIDO

Índice de Tablas 3

Índice de Figuras 4

Resumen Ejecutivo 5

1 Introducción 6

2 Objetivos 7

2.1 Objetivos Generales 7

2.2 Objetivos Específicos 7

2.3 Alcances 7

3 Antecedentes 8

3.1 Conceptos claves 8

3.1.1 Conceptos de Residuos 8

3.1.2 Conceptos de Electromovilidad 10

3.2 Situación RSM en Chile 10

3.3 Situación RSM en Valparaíso 14

3.3.1 Generación de RSD en la comuna de Valparaíso 14

3.3.2 Servicio de recolección de RSD en Valparaíso 18

3.4 Discusión de antecedentes 24

4 Estado del Arte 25

4.1 Gestión de RSD 25

4.2 Contexto de Electromovilidad 26

4.2.1 Tipos de vehículos eléctricos 29

4.2.2 Baterías para vehículos eléctricos 35

4.3 Contexto Energético 37

4.3.1 Matriz energética 37

4.3.2 Distribución de la energía eléctrica 41

4.4 Casos de aplicación del sistema propuesto 41
4.4.1 Referencias mundiales 41
4.4.2 Referencias nacionales 42
5 Marco Legal Aplicable 45
5.1 Marco Legal Residuos 45
5.1.1 Aspectos Legales del Ámbito Nacional 45
5.1.2 Aspectos Legales del Ámbito Municipal 49
5.2 Marco Legal Ámbito Vehicular 49
5.3 Marco Legal Ámbito Energético 50
5.4 Marco legal Ámbito Electromovilidad 51
5.5 Marco Legal Ámbito Medioambiental 52
5.6 Normativa Internacional 54
6 Desarrollo 55
6.1 Análisis de la alternativa propuesta 55
6.1.1 Descripción general del servicio propuesto 55
6.1.2 Proceso de recolección 62
6.1.3 Especificaciones de servicios requeridos 63
6.1.4 Tecnología del servicio 67
6.1.5 Aspectos Ambientales 76
6.2 Análisis económico 79
6.2.1 Antecedentes del Mercado 79
6.2.2 Criterios de Selección Económica 80
6.2.3 Alternativas de financiamiento 82
6.2.4 Costos 85
6.2.5 Ingresos 91

6.2.6 Flujo de Caja 92

7 Conclusiones 1

8 Referencias y Bibliografía 3

Referencias 3

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estimación de generación de residuos al año 2030 17
Tabla 2: Indicadores de capacidad de gestión 24
Tabla 3: Análisis comparativo de las alternativas propuestas 34
Tabla 4: Disponibilidad de vehículos de recolección eléctricos en el mercado mundial 42
Tabla 5: Detalle de recorridos del servicio Cuartel Cárcel 58
Tabla 6: Oferta académica de formación continua de electromovilidad en Chile 66
Tabla 7: Características eléctricas del cargador BYD modelo EVA080k 74
Tabla 8: Características físicas del cargador BYD modelo EVA080k 75
Tabla 9: Características de seguridad del cargador BYD modelo EVA080k 75
Tabla 10: Otras características del cargador BYD modelo EVA080k 75
Tabla 11: Descripción Recursos Propios comuna de Valparaíso, 2019 83
Tabla 12: Descripción Recursos Externos de SUBDERE a comuna de Valparaíso, 2019 84
Tabla 13: Gasto municipal Valparaíso, 2019 84
Tabla 14: Detalle de costo de capital 86
Tabla 15: Detalle de costos fijos 87
Tabla 16: Detalle costos variables servicio convencional 88
Tabla 17: Tarifa cliente BT2, Valparaíso 90
Tabla 18: Costos variables servicio propuesto 90
Tabla 19: Modalidad de pago por derecho de aseo ordinario 91
Tabla 20: Detalle de Ingresos del servicio de aseo en UF 92
Tabla 21: Depreciación de activos 94
Tabla 22: Resumen Flujo de Caja del Proyecto 0

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Generación de residuos sólidos a nivel nacional según origen 11
Figura 2: Composición de los Residuos Sólidos Municipales valorizados, 2018 12
Figura 3: Proporción de residuos sólidos municipales recolectados regularmente y con disposición final adecuada, por región, 2018 13
Figura 4: Disposición final de residuos (2015-2018) 13
Figura 5: Composición porcentual de los RSDyA de Valparaíso 16
Figura 6: Mecanismo Vehículos Eléctricos de Batería (BEV) 31
Figura 7: Mecanismo Vehículos eléctricos con pila combustible (FCEV) 32
Figura 8: Esquema de funcionamiento de una batería 35
Figura 9: Proyectos de generación eléctrica en construcción, enero 2022 39
Figura 10: Capacidad instalada, enero 2022 40
Figura 11: Generación bruta de energía eléctrica, 2021 41
Figura 12: Importaciones de vehículos de carga durante el período 2014 y mayo de 2021 44
Figura 13: Sectores geográficos del Cuartel Cárcel 56
Figura 14: Detalle de recorridos Cuarte Cárcel 57
Figura 15: Ubicación y acceso Cuartel Cárcel 60
Figura 16: Distancia Cuartel Cárcel - Subestación eléctrica 60
Figura 17: Ubicación estación de carga de vehículos eléctricos 61
Figura 18: Sistema de lavado de camiones referencial 64
Figura 19: Vehículo eléctrico modelo BYD T8A 68
Figura 20: Alternativas de carga de vehículos eléctricos 71
Figura 21: Sistemas de carga AC 72
Figura 22: Cargador EVA080k 74
Figura 23: Esquema general de los componentes de una estación de carga 76

RESUMEN EJECUTIVO

El municipio de Valparaíso, en función de mejorar el servicio prestado por el Departamento de Aseo, busca disminuir los costos operacionales del servicio y transitar en la adquisición de vehículos propios para la flota de camiones recolectores para a futuro prescindir de empresas externas que efectúan estas labores.

Los camiones recolectores recorren distancias cortas dentro de la comuna (55 km/día) y realizan constantes paradas y partidas por lo que el uso de combustible en el servicio convencional es muy elevado. En este sentido, la electromovilidad presenta una alternativa al servicio de recolección de residuos para la disminución de costos operacionales en mantenimiento, uso de combustible y aspectos ambientales como disminución de emisiones de ruido y gases de efecto invernadero asociados a la combustión de un vehículo tradicional. El aumento del uso de vehículos eléctricos que se ha generado a nivel mundial ha potenciado el desarrollo tecnológico de la electromovilidad, mejorando las alternativas disponibles en el mercado, disminuyendo sus desventajas y acercando los precios al alcance de los usuarios.

El análisis económico del estudio indica que la inversión es desfavorable, con un VAN negativo de $567.827.590, debido a que los costos del servicio de aseo superan considerablemente los ingresos que percibe el municipio por concepto de aseo. Sin embargo, al comprar los costos operacionales asociados al servicio convencional actual respecto del servicio eléctrico propuesto, se observa una disminución de costos de $38.311.544 por vehículo.

Finalmente, a pesar de los indicadores económicos obtenidos, se recomienda la inversión en el proyecto debido a los beneficios superiores que genera, tanto ambientales como sociales, que no son cuantificados a nivel económico. Además, independiente de que el proyecto no genera ganancias económicas, se aprecia una disminución considerable del gasto operacional al implementar el uso de camiones eléctricos para el servicio de recolección de residuos.

1 INTRODUCCIÓN

La electromovilidad es una tecnología que se ha desarrollado rápidamente en la última década, permitiendo que el mercado se expanda y comience a abarcar sistemas más complejos como sistemas de transporte de pasajeros y vehículos de carga de alto tonelaje.

Debido a los múltiples beneficios que presenta a nivel económico, ambiental y energético; se han impulsado proyectos que permiten el desarrollo de nuevas tecnologías que han perfeccionado los sistemas de electromovilidad, acortando las brechas económicas para su acceso, entregando mayor rango de independencia a los vehículos y aportando una variedad de alternativas para el uso de las baterías. Estas condiciones hacen posible evaluar alternativas como la propuesta en este estudio.

La comuna de Valparaíso, presenta una serie de desafíos en cuanto al Servicio de Aseo que presta la Municipalidad, entre ellos, la disminución del alto costo operacional del servicio asociado a la tercerización de los servicios, reposición y mantención de maquinaria en mal estado, el fuerte desgate que sufren los vehículos debido a las condiciones geográficas de la comuna, la alta densidad demográfica del sector y la dificultad de acceso a todos los sectores de la población producto de la geografía y los sitios habitacionales no regularizados.

En consecuencia, la administración actual del municipio busca alternativas que permitan mejorar las condiciones del servicio de aseo entregado a los habitantes de la comuna, disminuir sus costos y comenzar de manera gradual a adquirir una flota de vehículos propios para a futuro prescindir de terceros que realicen dichas labores.

El presente estudio analizará las alternativas presentes en el mercado de electromovilidad que permitan enfrentar los desafíos que presenta el servicio de recolección de residuos domiciliarios en la comuna de Valparaíso y entregará una propuesta que considere la factibilidad de implementación, los requerimientos en infraestructura o marco legal que deberá cumplir para su operación, además de alternativas de financiamiento y análisis comparativo respecto al servicio actual y el propuesto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Generales

Evaluar técnica y económicamente la implementación de un sistema de recolección de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables (RSDyA) en la comuna de Valparaíso, específicamente en los cerros, mediante el uso de camiones eléctricos.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características del sistema de recolección de residuos domiciliarios que opera actualmente.
- Recopilar información y referencias globales de sistemas de recolección de residuos que apliquen electromovilidad en sus recorridos.
- Definir el tipo de tecnología de electromovilidad a aplicar para el servicio propuesto.
- Análisis comparativo de servicio de recolección con camiones convencionales versus camiones eléctricos.
- Realizar un análisis respecto a las proyecciones de este tipo de tecnología y los desafíos que presenta para su masificación.

2.3 Alcances

El alcance de este proyecto tiene relación con la evaluación de implementación de un plan piloto para la recolección de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables en la comuna de Valparaíso.

El plan piloto consiste en implementar un periodo de prueba donde se utilizarán camiones eléctricos a fin de observar su comportamiento frente a la geografía de la comuna, se evaluará el comportamiento mensual de estos vehículos y al cabo de dos años de su implementación se analizará el comportamiento que tuvieron los camiones del plan piloto. Esta evaluación servirá como base para que la Municipalidad de Valparaíso determine si este servicio se implementará de manera definitiva.

3 ANTECEDENTES

3.1 Conceptos claves

3.1.1 Conceptos de Residuos

Los residuos son generados como consecuencia de un modelo económico lineal, que consiste en la extracción, producción, consumo y eliminación, con el fin de satisfacer necesidades humanas como habitación, alimento, vestimenta, transporte, comunicación, entre otros. Bajo este enfoque, se generan constantemente desechos cuyo destino es en el mejor de los casos un relleno sanitario.

Los residuos son clasificados según dos distinciones, clasificación según peligrosidad y clasificación según origen.

Según su peligrosidad se distinguen en:

- **Residuo peligroso**: residuo o mezcla de residuos que presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto.
- **Residuo no peligroso**: residuo que no presenta riesgo para la salud pública ni efectos adversos al medio ambiente.
- **Residuo inerte**: residuo no peligroso que no experimenta variaciones físicas, químicas o biológicas significativas, no es soluble, ni combustible, ni reacciona física o químicamente, ni de ninguna otra manera. No es biodegradable y tampoco afecta negativamente a otras materias con las cuales entra en contacto.

Mientras que la clasificación según su origen corresponde a:

- **Residuos industriales:** residuo resultante de los procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza y mantenimiento, generados por la actividad industrial. Corresponden a residuos sólidos, líquidos o combinaciones de estos que, por sus características físicas, químicas o microbiológicas, no pueden asimilarse a los residuos domésticos.
- **Residuos sólidos municipales:** incluye residuos sólidos domiciliarios y residuos similares a los anteriores generados en el sector servicios y pequeñas

industrias. También se consideran residuos municipales a los derivados del aseo de vías públicas, áreas verdes y playas.

La gestión de residuos se refiere a todas las acciones operativas aplicadas al manejo de estos, que involucra desde su recolección, almacenamiento, transporte, pre-tratamiento y tratamiento. Estas acciones están enfocadas en reducir la generación de residuos cuyo destino es la disposición final, además de asegurar las condiciones sanitarias para evitar la proliferación de vectores infecciosos, malos olores y efectos adversos hacia la salud de las personas y el medio ambiente que se generan producto un mal manejo.

Actualmente, existen múltiples opciones para la disposición final de RSM, tales como vertederos, basurales y rellenos sanitarios, de los cuales no todos cumplen con la legislación vigente, siendo el último, el único sistema autorizado para su funcionamiento (exceptuando proyectos en funcionamiento aprobado previo a la entrada en vigencia del D.S. N°189/2005 del Ministerio de Salud):

- **Vertedero:** sitio de disposición de residuos que fue planificado para ese uso, pero que no cuenta con las medidas sanitarias mínimas establecidas en el decreto supremo 189/2005 del Ministerio de Salud que "Aprueba Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y de Seguridad Básicas en los Rellenos Sanitarios".
- **Basural:** terreno en el cual se deposita basura periódica o eventualmente. Por lo general, de acceso directo: calles, callejones, riberas de cursos superficiales, cercanos a poblaciones. Se asocian a procesos espontáneos de disposición periódica de residuos, generalmente de productos residuales del hogar.
- **Relleno Sanitario:** instalación de eliminación de residuos sólidos en la cual se disponen residuos sólidos domiciliarios y asimilables, diseñada, construida y operada para minimizar molestias y riesgos para la salud y la seguridad de la población y daños para el medio ambiente, en la cual las basuras son compactadas en capas al mínimo volumen practicable y son cubiertas diariamente, cumpliendo con las disposiciones del reglamento.

Además, existen otros tipos de depósitos utilizados principalmente para residuos del tipo industrial, ya sean peligrosos o no, tales como depósitos de seguridad, monorelleno, depósito de cenizas, entre otros.

3.1.2 Conceptos de Electromovilidad

La electromovilidad corresponde a una tecnología que utiliza electricidad como fuente de energía para impulsar diversos medios de transporte tales como automóviles, bicicletas, buses, camiones, entre otros.

Los vehículos eléctricos pueden categorizarse en 3 tipos de tecnologías principales:

- **Vehículo Eléctrico a Batería o** BEV (Battery Electric Vehicle): este tipo de vehículo almacena electricidad en sus baterías cargándose directamente a través de la red convencional de distribución eléctrica.
- **Vehículo Híbrido Enchufable o** PHEV (Plug.in Hybrid Electric Vehicle): incorpora dos modalidades, cuenta con una batería que almacena electricidad del mismo modo que un BEV, además, posee un motor convencional de combustión interna.
- **Vehículo con Celda de Combustible de Hidrógeno o** FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle): este tipo de vehículos utiliza hidrógeno en forma de gas en vez de electricidad para recargar su batería, de este modo utilizan la electricidad que produce el mismo vehículo a partir del hidrógeno.

Los tres tipos de vehículos utilizan un motor eléctrico que proporciona movimiento al vehículo utilizando como fuente de energía la electricidad. Sin embargo, cada tecnología se diferencia en el origen de la electricidad que fluye hacia el motor.

3.2 Situación RSM en Chile

A partir del año 2015, en Chile comienza a regir un sistema de registro mediante plataforma de ventanilla única denominado Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), que permite a los generadores de residuos declarar las cantidades de residuos generadas de manera anual y determinar la fracción de estos que es efectivamente valorizada por medio de un Sistema Nacional de Declaración de Residuos

(SINADER) que se basa en un sistema de clasificación que tipifica los residuos generados, denominado Listado de Residuos Europeo (LER).

Así, al año 2018 se contabiliza una generación a nivel país de 19,6 millones de toneladas de residuos sólidos, donde un 97% corresponde a residuos no peligrosos y de estos un 53% es de origen industrial, 42% municipal y 2% corresponde a lodos de platas de tratamiento de aguas servidas.

La Figura 1 a continuación, indica las cantidades de residuos generados en toneladas para cada categoría indicada anteriormente, apreciándose las variaciones desde el año 2015 al 2018.

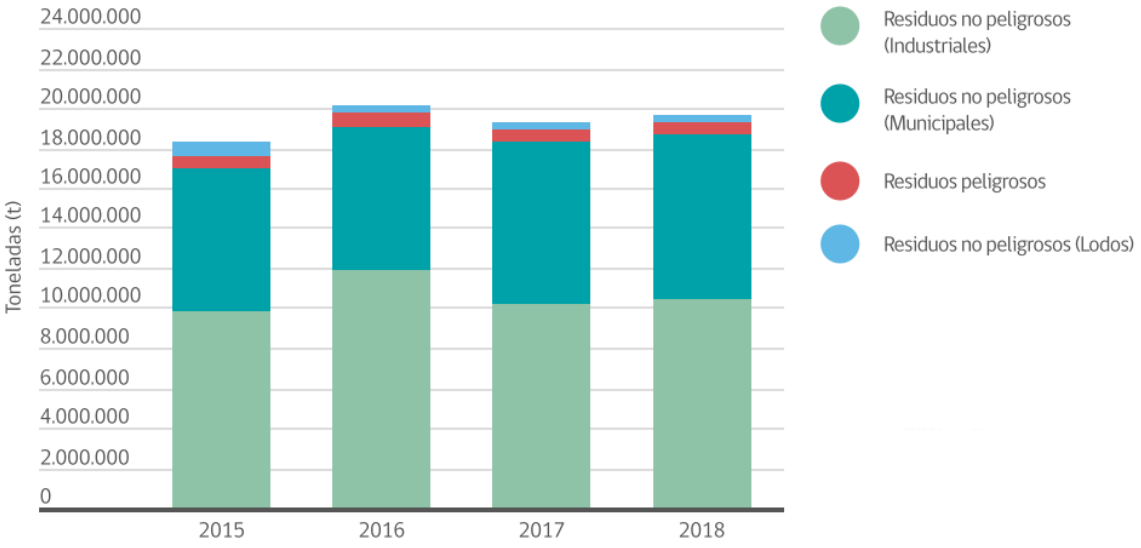

Figura 1:Generación de residuos sólidos a nivel nacional según origen

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, 2018)

Los residuos sólidos municipales generados a nivel domiciliario son responsabilidad de cada municipio, estos se hacen cargo de su gestión y manejo que incluye su recolección, transporte y disposición final.

La información entregada por la plataforma indica que el año 2018 se generó a nivel nacional 8.177.448 toneladas de residuos sólidos municipales, considerando una población proyectada de 18.751.405 habitantes, se estima que la tasa promedio de generación por habitante es de 1,19 kg al día. Acorde a la información proporcionada por los municipios, se determina que al año 2018 de los residuos municipales declarados solo un 1% son

valorizados, mientras que el otro 99% se destina a eliminación, de ese porcentaje un 79% va a disposición final en relleno sanitario, 13% a vertederos y en menor cantidad a basurales y sitios de escombros de la construcción.

La Figura 2 a continuación, representa de manera gráfica la distribución de sólidos municipales generados que se destinan a valorización, destacándose la participación del vidrio y papel y cartón que representa sobre el 50% de la valorización total.

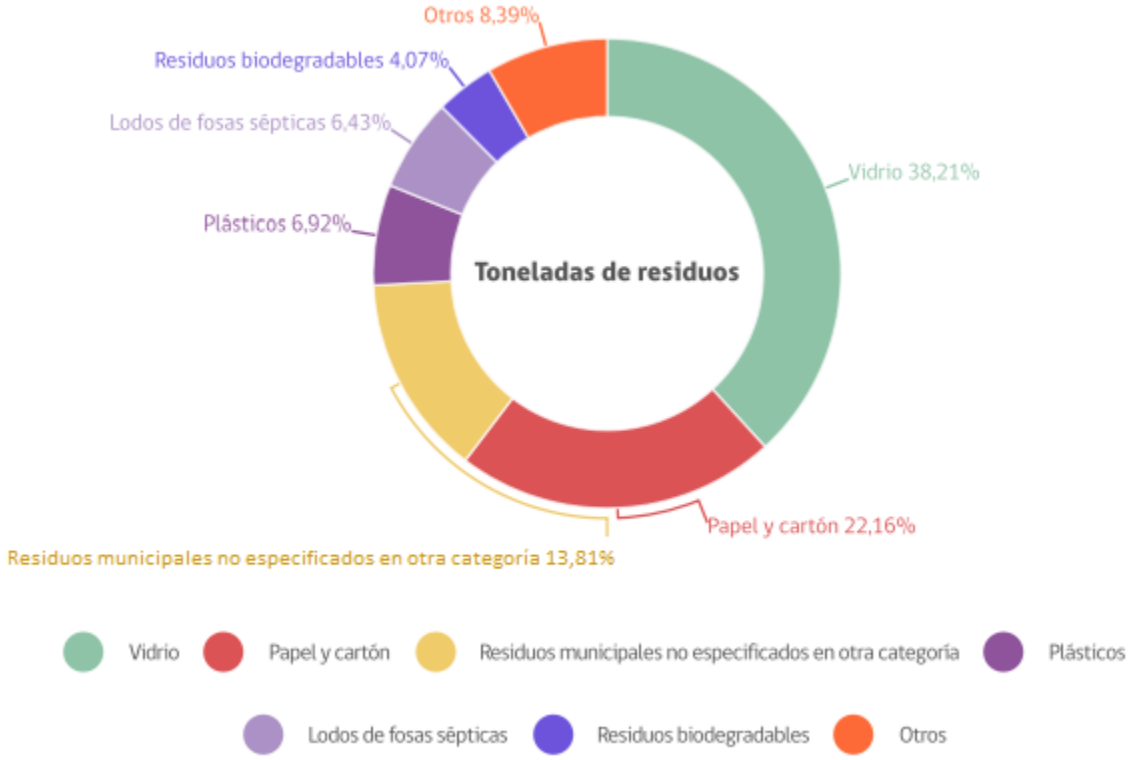

Figura 2: Composición de los Residuos Sólidos Municipales valorizados, 2018

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, 2018)

Además, la plataforma entrega información relevante que permite inferir que existe inequidad ambiental en materia de disposición de residuos, debido a que los lugares de disposición final se sitúan comúnmente en comunas de menores ingresos. Por otra parte, el correcto manejo de residuos en cuanto a su disposición final también presenta desigualdad a lo largo del territorio nacional, tal como se presenta en la Figura 3, donde se aprecia que las zonas más extremas poseen menos sitios adecuados para la disposición final y distancias

más largas para acceder a los servicios de recolección, esta situación ha permitido la generación de basurales o vertederos ilegales de gran magnitud.

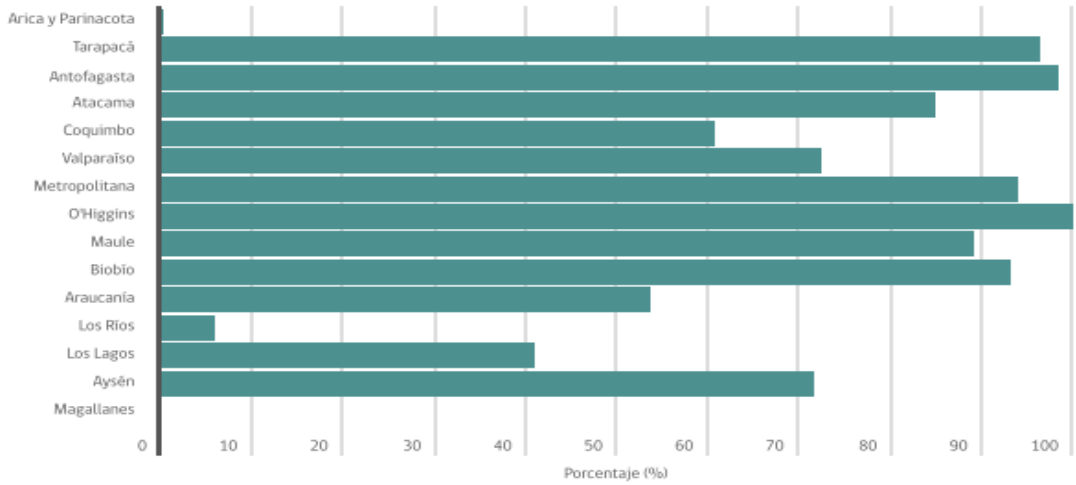

Figura 3: Proporción de residuos sólidos municipales recolectados regularmente y con disposición final adecuada, por región, 2018

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, 2018)

Finalmente, la disposición final de residuos a nivel nacional para los años 2015 al 2018 se distribuye de acuerdo con lo observado en la Figura 4:

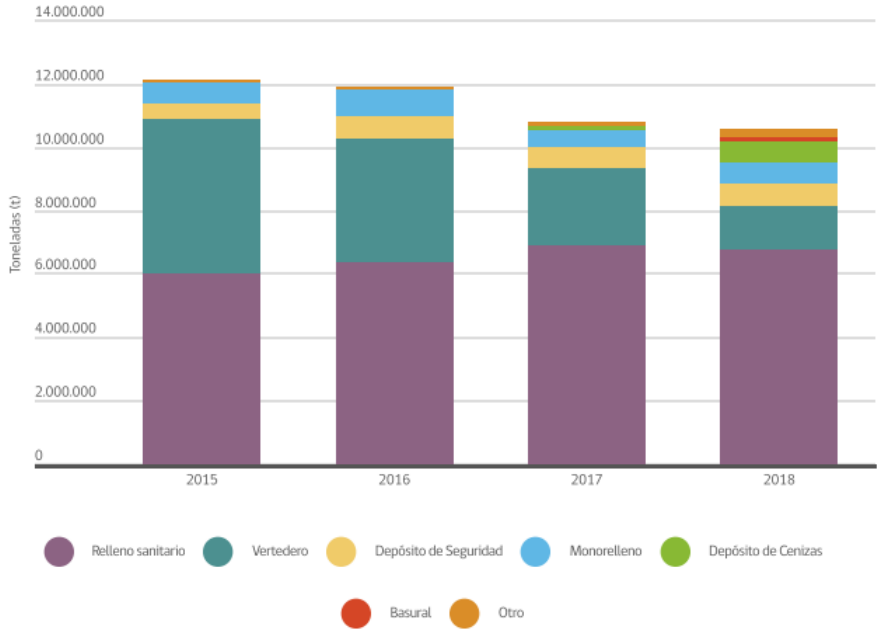

Figura 4: Disposición final de residuos (2015-2018)

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, 2018)

Como se aprecia en la Figura 4, entre los años 2015 al 2018 aumenta el porcentaje de residuos destinados a disposición final en rellenos sanitarios mientras que disminuye los residuos enviados a vertederos. Por otro lado, se observa que disminuyó la generación de residuos a nivel nacional; ambos constituyen cambios positivos en la situación de residuos a nivel país y han sido impulsados por políticas que promueven alternativas de menor impacto ambiental. Sin embargo, aún existen vertederos y otros sitios de disposición ilegal como basurales o microbasurales, que no tienen control de las emisiones generadas producto de la descomposición de la basura y provocan un mayor impacto al medio ambiente y un riesgo para la salud y seguridad de las personas.

3.3 Situación RSM en Valparaíso

3.3.1 Generación de RSD en la comuna de Valparaíso

3.3.1.1 Principales generadores

El Decreto Supremo N°1/2013 del Ministerio de Medio Ambiente (MMA) dicta que los establecimientos que generan anualmente más de 12 toneladas de residuos no sometidos a reglamentos específicos estarán obligados a declararlos a través del Sistema de Ventanilla Única del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), del mismo modo las municipalidades deberán declarar los residuos recolectados por estas o por terceros contratados por ella. La información proporcionada a este sistema por los municipios ha permitido el análisis de los componentes principales de generación de residuos a nivel nacional.

A partir de datos obtenidos de la plataforma RETC, se determina que de los declarantes por rubro en la generación de residuos sólidos domésticos y asimilables, un 61% corresponde a lo declarado por el municipio, un 25% al sector comercio, 1% corresponde a gestores de residuos, 1% a la industria de papel y celulosa, mientras que el resto lo componen los sectores construcción e inmobiliarias, industria agropecuaria y silvicultura, industria manufacturera, pesca, producción de alimentos, transporte y otras actividades.

El Municipio corresponde al declarante con mayor generación de residuos en la comuna de Valparaíso, este incluye la recolección domiciliaria directa y el aporte de

establecimientos que no están obligados a declarar debido al volumen de generación. En segundo lugar, se encuentra el comercio debido a que Valparaíso es una comuna de gran atractivo turístico, sede del poder legislativo, alberga al gobierno regional y la mayoría de las secretarías regionales del gobierno central, cuenta además con diversos establecimientos de educación superior y gran actividad portuaria.

La comuna de Valparaíso tiene una población de 296.655 habitantes declarados en el Censo 2017, distribuidos en 117.196 viviendas con una densidad poblacional de 953,3 [hab/km^2] y densidad por viviendas de 370 [viviendas/km^2], ambas densidades son significativamente superiores a los valores regionales de densidad, siendo estos 11,3 [hab/km^2] y 48,3 [viv/km^2] respectivamente. La tasa media anual de crecimiento poblacional es 0,5%, menor al promedio regional de 1,2% y de la media nacional de 1,06%. La comuna de Valparaíso se compone en un 99,8% de población en área urbana y 0,2% en área rural. Estos datos indican que en la comuna de Valparaíso existe un problema de densidad demográfica, muchas personas habitan en un espacio muy limitado, esto sumado a la compleja geografía condicionada por sus cerros y quebradas que generan un ambiente desafiante para la recolección de los residuos, los camiones deben trasladarse por espacios estrechos, con pendientes empinadas y de difícil acceso.

3.3.1.2 Patrones de consumo

Para el año 2018 la municipalidad reporta que la generación de RSDyA es de 69.599 [ton/año], mientras que el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) informa 132.981 [ton/año] (Subsecretaría de Desarrollo Regional, 2018), considerando este último valor, la Producción Per Cápita (PPC) corresponde a 1,45 [kg/hab*día], sin embargo debido a las características turísticas y centralistas de la ciudad, existe un aporte importante de la población flotante lo que entrega una PPC corregida de 1,05 [kg/hab*día], lo cual se traduce en un valor de 96.668 [ton/año] de RSDyA aportados directamente por los habitantes de la comuna.

De la información proporcionada por la Ilustre Municipalidad de Valparaíso al RETC resumida en la Figura 5, se sabe que para el año 2017 cerca de un 81% de los residuos declarados fueron destinados a eliminación, estos corresponden principalmente a materia orgánica y otros residuos generados en menores cantidades como madera, textiles,

gomas, cartón para bebidas, etc.; mientras que el 19% restante fue valorizado en las categorías: “Papel y cartón, Plásticos y Vidrio”.

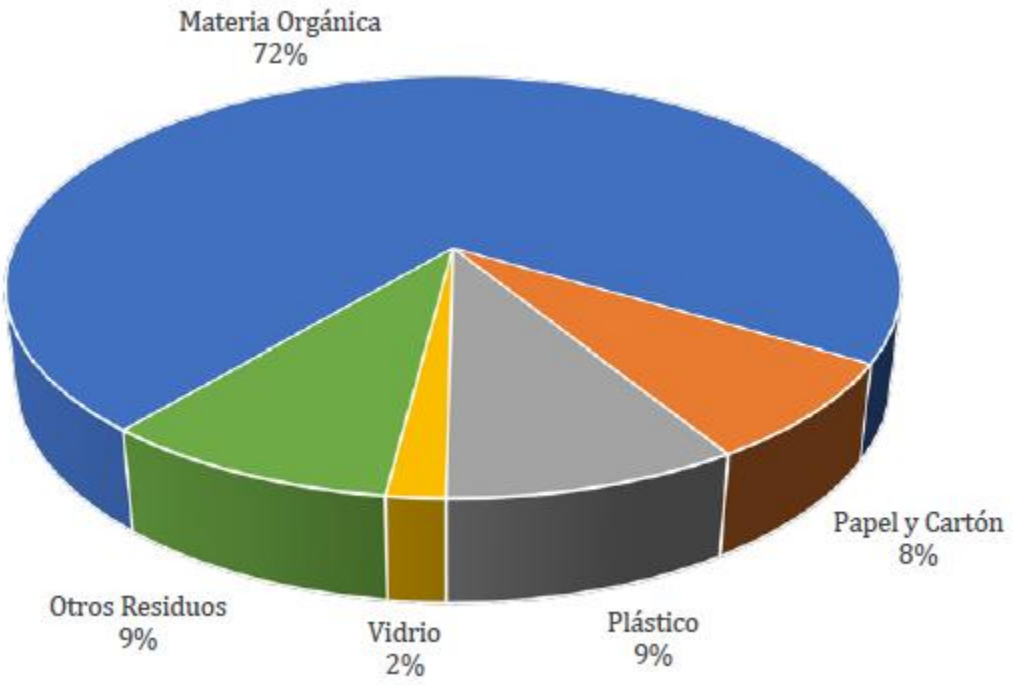

Figura 5: Composición porcentual de los RSDyA de Valparaíso

Fuente: (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2018)

Una de las características importantes de la comuna es su geografía, ya que la densidad demográfica en los cerros de Valparaíso condiciona los mecanismos de recolección, dificultando que esta se lleve a cabo de buena manera y propiciando la creación de microbasurales en las quebradas y sitios eriazos en los cerros. Esta condición se presenta principalmente por las pendientes muy elevadas de los cerros de la comuna, calles en un solo sentido o muy estrechas para maniobrar un vehículo de grandes dimensiones, gran cantidad de viviendas emplazadas en quebradas sin acceso vehicular y viviendas en sitios no regularizados (tomas).

Los microbasurales presentan un gran problema para la comunidad, tanto por el riesgo sanitario como por riesgo de incendio. En Valparaíso debido a su densidad demográfica es habitual presenciar incendios de gran magnitud que se propagan con gran facilidad a través de las quebradas que unen los cerros, por ello la labor del departamento de aseo es vital para mantener las quebradas limpias.

Por otra parte, la actividad comercial y turística principalmente en el plan porteño genera gran cantidad de residuos que deben recolectarse con mayor frecuencia que los domiciliarios.

El año 2019, en una estrategia por mejorar las condiciones de la comuna en temática residuos, la municipalidad lanza un nuevo plan de aseo para la comuna, donde se comprometen a eliminar 40 microbasurales y convertirlos en espacios públicos de recreación que cuenten con puntos limpios para promover el reciclaje.

3.3.1.3 Proyecciones de generación de residuos

A partir de las proyecciones generadas hasta el año 2035 por el INE con los datos del Censo 2017, se realiza la proyección de generación de residuos de la comuna utilizando el valor per cápita de 1,45 [kg/hab*día], se utiliza este valor para ser más realistas considerando que Valparaíso cuenta con un número significativo de población flotante. La Tabla 8 muestra los valores de proyección hasta el año 2029:

Tabla 1: Estimación de generación de residuos al año 2030

Año	Número de habitantes estimado	Generación de residuos [ton/año]
2020	315.732	167.101
2021	317.424	167.997
2022	318.638	168.639
2023	319.745	169.225
2024	320.816	169.792
2025	321.852	170.340
2026	322.865	170.876
2027	323.850	171.398
2028	324.819	171.910
2029	325.756	172.406

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del INE

De forma adicional, es importante considerar que debido a la implementación de la Ley REP y del incentivo al reciclaje y valorización, los volúmenes de residuos destinados a disposición final disminuirán a lo largo de los años.

3.3.2 Servicio de recolección de RSD en Valparaíso

Actualmente, el servicio de recolección de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables está a cargo de la Dirección de Operaciones de la Municipalidad de Valparaíso, se divide en 4 cuarteles, donde los 3 primeros corresponden a los cerros de Valparaíso y están bajo la dirección del Departamento de Aseo, mientras que el último se encuentra en manos de la empresa externa Cosemar. Los cuarteles de los cerros son: Barón (Esperanza a Rocuant), Cárcel (Ramaditas a Cordillera) y Lúcumos (Playa Ancha y Laguna Verde), el último cuartel corresponde al Cuartel Francia que abarca el Plan porteño y Placilla. La flota de camiones consta de 35 camiones recolectores activos, 33 de ellos en servicio normal y 2 en reserva, además se cuenta con 4 camiones para casos extremos de emergencia (camiones más antiguos).

La Municipalidad de Valparaíso el año 2019 lanzó un nuevo Plan de Aseo, adquiriendo nuevos vehículos a la flota municipal para suplir la recolección en los tres cuarteles de los cerros, esta iniciativa busca disminuir el gasto público del municipio por concepto de recolección de residuos, ya que en administraciones municipales anteriores se optó por delegar a una empresa externa la función de recolección de los residuos sólidos municipales de la comuna. La tercerización del servicio de aseo trajo como consecuencia no sólo el alto gasto público de la municipalidad, sino que además conflictos con los trabajadores que en varias ocasiones denunciaron condiciones indignas por parte de las empresas licitantes y paralizaron el servicio, generando problemas sanitarios en la comuna. Por estas razones, la actual administración busca prescindir de forma gradual de los servicios de terceros para las labores de aseo, en la actualidad gran parte de la operación está a cargo de la municipalidad a excepción del plan de Valparaíso y la localidad de Placilla.

Según indica el Informe de “Diagnóstico Nacional y Regional sobre Generación y Eliminación de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables” realizado por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (Subdere), el tipo de recolección empleada en la comuna de Valparaíso es mixta, es decir, recolección puerta a puerta y recolección en contenedores ubicados en puntos estratégicos, la frecuencia de recolección

es 6 días a la semana en zona urbana y 5 días al mes en zona rural, alcanzando una cobertura del 85% en zona urbana y un 60% en zona rural.

Un camión en promedio recorre 55 [km/día] y realiza un viaje diario al sitio de disposición. La comuna de Valparaíso no utiliza estaciones de transferencia (ET) ni estaciones de trasvase (ETV).

La disposición de los RSDyA de la comuna se realiza en el Relleno Sanitario El Molle, propiedad de la Municipalidad de Valparaíso, concesión a cargo de la Empresa Stericycle Urbano Spa. El Molle cuenta con una superficie de 35 hectáreas y atiende a cerca de un 64% de la población de la región de Valparaíso, las comunas que disponen allí son: Valparaíso, Casablanca, Concón, Viña del Mar, San Antonio, Algarrobo, Cartagena, El Quisco, El Tabo, Santo Domingo, Quilpué y Limache.

El departamento de Aseo de la Municipalidad de Valparaíso cuenta con dos labores operativas esenciales: i) el barrido de calles del plan (recolección concesionada a la empresa Cosemar) y ii) la recolección en los cerros de la ciudad.

Para las labores de barrido se trabaja normalmente de lunes a sábado en tres turnos que abarcan desde 07:00 a 15:00 el turno de mañana, de 15:00 a 23:00 el turno de tarde y de 23:00 a 07:00 el turno de noche. Los contratos de los trabajadores son de 44 horas donde 4 corresponden a horas extras de manera voluntaria y remunerada. El domingo existe barrido, pero con dotación disminuida de personal. El cuartel que centraliza esta labor se ubica en Av. Francia N°929.

Al año 2019 la Municipalidad contaba con 34 camiones propios y 12 arrendados, el año 2020 se adquirieron 10 camiones adicionales. La recolección en cerros cuenta con 33 camiones diarios con su ruta respectiva, los camiones se guardan en el Cuartel Cárcel ubicado en Osmán Pérez Freire s/n, Cerro Mariposas. Los camiones se distribuyen en la ciudad en 3 grandes polígonos, cada uno con su respectivo cuartel y jefatura al cual se le asigna un área de prestación de servicios. Todos los cuarteles cuentan con una pequeña bodega, servicios sanitarios, casilleros y control de asistencia, así como un jefe de cuartel.

El Cuartel Barón es el más grande, abarca desde el cerro Esperanza hasta Rocuant, está ubicado en Ureta N°423 equina Recreo, Cerro Polanco, cuenta con 15 servicios. El cuartel Cárcel abarca desde Ramaditas a Cordillera, cuenta con 9 servicios. El Cuartel

Lúcumo que abarca Playa Ancha y Laguna Verde, ubicado en Av. G. Hintaneda s/n (dependencias del Estadio de Playa Ancha) y cuenta con 9 servicios. La recolección se lleva a cabo de lunes a sábado de 07:00 a 15:00 horas. Durante las tardes de lunes a sábado de 15:00 a 23:00 horas se cuenta con dos camiones que se dedican al retiro en principales edificios y Laguna Verde. Adicionalmente los sábados por la noche sale un camión que recorre los lugares de mayor aglomeración como Cumming, San Juan de Dios, Ecuador, Yerbas Buenas, Tomás Ramos, etc. Finalmente, el domingo existe un turno de mañana con tres camiones que salen a "lastrear" (recoger bolsas que se encuentran en las calles principales).

El servicio de recolección se presta a residencias, locales comerciales e industrias a través de la operación de cuadrillas conformadas por vehículos recolectores, sus choferes, personal recolector de basura (poncheros) y el equipamiento respectivo para la tarea.

El Departamento de Aseo presta tres servicios de aseo domiciliario:

Servicio Ordinario: Aquel que incluye el retiro de residuos domiciliarios o comerciales, producidos por los habitantes de las viviendas o por retiro resultante del aseo de los locales comerciales que no exceden de 60 L diarios. Comprende el Servicio Ordinario en el plan y en los cerros de la ciudad.

Servicio Extraordinario: Es aquel que incluye los siguientes servicios: La extracción de desechos domiciliarios y comerciales que excedan el límite de 60 L diarios.

- La extracción de desechos domiciliarios y comerciales, que requiera de una o más frecuencias adicionales a las establecidas para el servicio ordinario de cada sector.
- La extracción de desechos domiciliarios y comerciales para el que se requiera de un tiempo adicional al previsto para cada sector o contribuyente, de acuerdo con el servicio ordinario.
- En general, toda prestación por parte del municipio que no corresponda al servicio ordinario de recolección.

Este servicio se orienta principalmente a empresas e instituciones, con las cuales se ha suscrito un convenio o que sobrepasan su vertido de residuos diario, del cual conlleva un cobro adicional por su retiro. Sin embargo, no existe una dotación especial de camiones

recolectores contemplados para tal efecto, sino que los mismos vehículos utilizados para la recolección normal de aseo, destinan horarios iniciales diarios de trabajo para ello, o bien, realizan el retiro sobre la misma ruta normal asignada diariamente.

Servicio Especial: Es aquel que constituye el retiro de residuos no establecidos en cantidad ni clasificación descrita en los anteriores tipos de servicios. En relación con la organización de este servicio se pueden producir dos situaciones:

- La existencia de Servicios Especiales dentro de una ruta preestablecida de Servicios Ordinarios de Aseo, por cuanto dichos servicios especiales son realizados por las mismas cuadrillas asignadas a los servicios ordinarios de aseo domiciliario.
- La existencia de Servicios Especiales que requieren una disposición exclusiva de recursos materiales y humanos para su prestación a un contribuyente en particular. Este tipo de servicios se prestan a través de cuadrillas especialmente asignadas para estos efectos.

El proceso de recolección diario comienza desde el Cuartel Cárcel donde se guardan los camiones, estos deben cargar combustible en caso de que lo requieran y posteriormente se dirigen a su respectivo cuartel asignado a buscar su cuadrilla de poncheros para comenzar la ruta asignada. Los poncheros realizan un barrido de calles de aproximadamente una hora para luego iniciar la recolección puerta a puerta de los residuos domiciliarios. Al finalizar el recorrido, el camión lleva a su cuadrilla de regreso al cuartel correspondiente, se dirige al sitio de disposición donde se registra la carga depositada, hora de llegada, número de camión, chofer y se emite un ticket y respaldo en una planilla; el camión realiza la descarga y vuelve al Cuartel Cárcel, lugar que se utiliza para guardar los camiones de recolección.

Los camiones recolectores tienen una vida útil bastante acotada debido a los esfuerzos que realizan, en el caso de Valparaíso la vida útil es aún menor producto de la complicada geografía de la comuna que somete a los camiones a transitar por pendientes muy empinadas, quebradas y lugares de difícil acceso. A continuación, se detallan los principales desperfectos técnicos que ocurren en la operación de camiones recolectores:

Sistema de suspensión del camión: se encarga de dar estabilidad de marcha al vehículo soportando la máxima carga indicada por el fabricante, se compone por los paquetes de resorte, amortiguadores y barra estabilizadora del tren delantero, paquetes principales y auxiliares en la parte trasera. La principal falla de este sistema ocurre debido a las distribuciones desiguales de carga sobre los distintos elementos de suspensión especialmente cuando el vehículo ingresa al sitio de disposición de superficie irregular, esto provoca el desalineamiento de las hojas de los muelles e incluso la rotura de estos, en consecuencia, se produce un rodaje desigual de los neumáticos e inestabilidad de marcha del vehículo.

Sistema Neumático: se encarga de comandar la toma de fuerza de los recolectores estándar utilizando una salida auxiliar del circuito neumático del camión mediante cañería, llave de corte, filtro y regulador con manómetros. Su principal falla corresponde a la falta de hermeticidad del circuito manifestándose como fugas de aire comprimido con pérdida de presión, esto dificulta la conexión del sistema de toma de fuerza además de mayor consumo de combustible debido a que se mantiene el motor acelerado por más tiempo para compensar la pérdida de presión de aire.

Sistema Motor: las condiciones geográficas de Valparaíso tales como pendientes, calles estrechas y malas condiciones de capa de rodadura influyen en la operación del motor Diesel, el cual opera normalmente a plena carga y altas revoluciones, lo que genera condiciones de alta temperatura de refrigerante con posibilidades de sobrecalentamiento y fugas.

Sistema de frenos neumáticos: se compone de un compresor de aire accionado por el motor a través de correas, actuadores neumáticos en cada rueda, líneas de presión y conjunto tambor zapata. Las fallas se producen por la intensidad de uso en condiciones de alta exigencia en la circulación por vías con mucha pendiente en descenso con camión parcialmente cargado, esto provoca la cristalización del material antifricción de las zapatas de freno reduciendo su capacidad de frenado. Otras fallas comunes son las fugas de aire comprimido y las fallas propias del compresor y del sistema de mando por correas.

Diferencial: roturas en el eje Pailer, especialmente en el ingreso del camión al sitio de disposición por las irregularidades de la superficie.

Camiones con sistema polibrazo: se producen por las sobrecargas en los contenedores de gran capacidad (bateas para 15 m^3), esto provoca rupturas en las líneas de alta presión con fugas de fluido hidráulico, rotura de cilindros, etc.

Ruedas: principalmente pinchazos de los neumáticos.

Sistema eléctrico y alumbrado: fallas de motor de partida, fallas en sistema de mando de luces, etc.

Sistema de embrague: las fallas ocurren al final de la vida útil del disco de embrague como consecuencia no se puede ejecutar de forma correcta el cambio de marcha.

Sistema hidráulico caja compactadora: lo conforman el depósito de aceite hidráulico, bomba de desplazamiento positivo, válvulas de comando de tipo direccional de vástago deslizante (se divide en dos paquetes, uno para el accionamiento de la tolva y otro para depósito), cilindros y líneas hidráulicos de alta y baja presión que interconectan los elementos del circuito. Las principales fallas en este circuito se deben a sobrecargas puntuales en el proceso de compactación de los residuos de alta densidad, esto genera picos de presión en el circuito que provoca la rotura de líneas hidráulicas de presión y como resultado la fuga del fluido hidráulico, la rotura de empaques y deformación del vástago de cilindros; esto disminuye la fuerza de compactación y aumentan el tiempo promedio de la misma, además la intensidad de compactación aumenta la temperatura del aceite hidráulico lo que reduce la eficiencia del sistema.

Caja de velocidades: falla inesperadamente a causa del desgaste de sus componentes internos, tales como los rodamientos y sincronizadores, la falla de estos impide el desplazamiento normal del camión.

Finalmente, en el "Diagnóstico nacional y regional sobre generación y eliminación de residuos sólidos domiciliarios y asimilables" del año 2018, realizado por la Subsecretaría de Desarrollo Regional, se evalúa la capacidad de gestión del Municipio respecto al manejo de los RSDyA mediante tres indicadores que abordan y cuantifican los aspectos económicos, técnicos y administrativos de la municipalidad. El indicador técnico (InT) evalúa la eficacia en la gestión en cuanto a recolección, transporte, valorización, reciclaje, disposición final y gestión ante la autoridad ambiental, el indicador económico (InE) evalúa el costo económico de la gestión utilizando como variable el gasto en servicio

de aseo por habitante respecto al resto de las comunas a nivel nacional, finalmente el indicador de gestión y eficiencia (InEG) cuantifica la relación entre el indicador de eficacia técnica y el indicador económico, es decir, da cuenta de la eficiencia para el logro de los resultados técnicos.

Los resultados que presenta la comuna de Valparaíso para los indicadores se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Indicadores de capacidad de gestión

Indicador	Valor	Escala	Categoría
InT	3	0-3	Excelente
InE	0,1	0-1	Gasto Alto
InEG	0,3	0-3	Deficiente

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la (Subsecretaría de Desarrollo Regional, 2018)

Como se indica en la Tabla 2, el indicador técnico es excelente, sin embargo, el costo de la gestión de los residuos en la comuna es muy alto en comparación con los resultados obtenidos, esto indica que la relación entre los resultados técnicos y el costo por habitante es deficiente.

3.4 Discusión de antecedentes

En base a los antecedentes presentados, se determina que el Servicio de Aseo de la Municipalidad de Valparaíso presenta carencias en cuanto a logística, recursos y capacidad del Departamento de Aseo de la Municipalidad para hacer frente a las necesidades actuales de la población en materia de residuos. Sin embargo, existe la voluntad y la iniciativa por mejorar las condiciones del servicio prestado, lo cual representa una oportunidad para el desarrollo de este proyecto.

Por su parte, el mercado de la electromovilidad se ha desarrollado a gran velocidad en la última década, lo que permite contar con diferentes alternativas tecnológicas que se adapten a las necesidades del servicio.

4 ESTADO DEL ARTE

4.1 Gestión de RSD

El sector residuos, representa cerca del 5,2% de las emisiones totales de GEI, estas emisiones son generadas como resultado de procesos microbiológicos que ocurren en el sitio de disposición final producto de la degradación anaeróbica de la materia orgánica. Solo por concepto de disposición de residuos, se genera aproximadamente al 74% de las emisiones del Sector Residuos.

En Chile, la ley N°18.695 Orgánica Constitucional de Municipalidades, del Ministerio del Interior, entrega a las municipalidades la atribución privativa para la gestión de los residuos generados en sus límites comunales, cuya obligación está regulada en el Código Sanitario (DFL N°725/1967 del Ministerio de Salud Pública). Los municipios de Chile pueden desarrollar esta atribución en forma directa con recursos propios o externalizando los servicios de recolección, transporte y disposición final, sin embargo, en su mayoría los municipios deciden externalizar el servicio.

Según los últimos datos entregados por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), Chile es el país de Sudamérica que genera la mayor cantidad de basura per cápita, alcanzando 1,26 kg de residuos al día por habitante. Si consideramos los habitantes en Chile, que según proyecciones de Instituto Nacional de Estadísticas (INE) son 19.828.563 personas, al año 2022 se tendrán anualmente 9,1 millones de toneladas de residuos. El aumento en la generación de residuos sólidos está directamente ligado a la urbanización, el crecimiento poblacional y los patrones de consumo, por lo que se espera que a medida pasen los años aumenten su valor.

Para hacerse cargo del problema anterior, el gobierno ha impulsado la Política Nacional de Residuos 2018-2030, la que considera la elaboración de los decretos para implementar gradualmente la Ley Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje (Ley REP) considerando seis productos prioritarios i) aparatos eléctricos y electrónicos, ii) envases y embalajes, iii) aceites lubricantes, iv) baterías, v) neumáticos y vi) pilas; y se está trabajando en una Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos, cuyo fin es fomentar el compostaje urbano. Con estas dos estrategias se busca avanzar en metas específicas de recolección y valorización de los

residuos sólidos en Chile, para así descongestionar los rellenos sanitarios y disminuir el impacto que tienen estos residuos al medio ambiente y su aporte al cambio climático.

La comuna de Valparaíso en particular cuenta con déficit en su gestión de residuos sólidos debido a tres factores principales:

- Mal manejo de la municipalidad en años anteriores, lo que ha llevado a la nueva administración a enfocar numerosos recursos para combatir este problema.
- Complejidad territorial debido a la existencia de los múltiples cerros y quebradas.
- Malas prácticas ciudadanas.

El alcalde de Valparaíso, Jorge Sharp en una entrevista para un artículo *llamado "Ruta de la basura Valparaíso" (Puig, 2017), indica que "el principal objetivo del Valparaíso limpio es normalizar el servicio de aseo de la municipalidad, que está muy deteriorado, sin capacidad de responder con eficacia y eficiencia a la demanda material de recolección de residuos. Nos encontramos con una municipalidad con una flota operativa sumamente reducida, por eso lo que hemos estado haciendo en esa línea es fortalecer el recurso logístico, adquiriendo nuevos camiones. Hay varios proyectos que ya están en curso de eso."* Además, menciona la importancia de mejorar las condiciones de trabajo de los recolectores de residuos, que en conjunto con el fortalecimiento del recurso logístico representan el piso para avanzar hacia el Valparaíso sustentable.

Como se ha mencionado, se está trabajando a nivel nacional en estrategias tanto para el fomento de la electromovilidad, para el uso de energías limpias en la matriz energética y para la valorización de residuos, por lo que se debería pensar en un manejo integral de los residuos sólidos, que abarque toda la cadena de valor.

4.2 Contexto de Electromovilidad

La electromovilidad hace referencia el uso de sistemas de impulso o tracción en distintos medios de transporte que utilizan energía eléctrica como fuente principal. Este sistema durante la última década ha comenzado a tomar relevancia y ha generado presencia en el mercado automotriz debido a los beneficios que conlleva, los cuales han potenciado la transformación digital necesaria para el desarrollo de tecnologías que permitan acercar la

electromovilidad a más usuarios y masificar su uso para transitar hacia un sistema de transporte más limpio, con múltiples beneficios ambientales y económicos,

Dentro de los aspectos positivos a considerar se encuentra:

Energético: la electromovilidad aporta en la diversificación energética, ya que permite que un sector del parque automotriz no dependa del uso de combustibles fósiles, el cual corresponde a un recurso no renovable, externo, crítico y de gran variabilidad de precios.

Económicos: los vehículos eléctricos tienen una eficiencia de combustión interna cercana al 90%, versus el 25% de eficiencia asociado a vehículos convencionales, esta diferencia se traduce en una disminución de los costos operacionales. Además, los vehículos eléctricos son capaces de recuperar energía gracias a su sistema de freno regenerativo, por lo que, para una misma distancia y condición de carga o pasajeros transportados un vehículo eléctrico es mucho más eficiente que uno convencional, la eficiencia energética del vehículo tiene relación directa con un ahorro en el gasto operacional.

Por otra parte, los materiales que conforman las baterías eléctricas tales como cobre y litio, entre otros metales, presentan una oportunidad de desarrollo económico para Chile debido a que poseen una de las fuentes más grandes de abastecimiento de estos materiales.

Ambientales: los vehículos 100% eléctricos no generan emisión de contaminantes atmosféricos debido a que su mecanismo de funcionamiento no contempla un proceso de combustión interna como es el caso de vehículos convencionales, sus emisiones son indirectas y están asociadas a las distintas fuentes que componen la matriz energética que suministra a los vehículos eléctricos. Sin embargo, la inexistencia de combustión interna permite la descontaminación local de las zonas de tránsito vehicular, mejorando así la calidad del aire, que tiene beneficios directos para la calidad de vida de las personas y la disminución de enfermedades respiratorias. Además, se estima que un vehículo eléctrico emite 3 veces menos Gases de Efecto Invernadero (GEI) que un vehículo a combustión, si a esto se suma que la obtención de la energía eléctrica proviene de fuentes renovables, las diferencias se acrecientan aún más, pudiendo en la teoría alcanzar límites de cero emisiones.

Por otra parte, la emisión de ruido generada por un vehículo eléctrico es considerablemente menor a la de un vehículo convencional, este punto se vuelve relevante al considerar la cantidad de vehículos que actualmente circulan por las zonas urbanas, generando niveles de ruido por sobre lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), alcanzando en algunos casos sobre el 64% del parámetro óptimo.

Finalmente, debido a su funcionamiento, un vehículo eléctrico no requiere el uso de lubricantes y filtros, por lo que disminuye la generación de residuos peligrosos en comparación con un vehículo convencional. Los componentes asociados al sistema de frenos sufren menos desgate que en un vehículo convencional debido a que las tecnologías de vehículos eléctricos incorporan sistemas de frenos regenerativos. Por último, las baterías poseen una vida útil recomendada entre 8 a 10 años, que permite un óptimo funcionamiento del vehículo eléctrico, sin embargo, una vez finalizada su vida útil, estas se encuentran en buenas condiciones para otros usos, pueden ser utilizadas para aplicaciones estacionarias entre 10 a 15 años adicionales o ser recicladas para la recuperación de sus materiales.

Tecnología: la electromovilidad aporta en el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten una mayor eficiencia energética. Además de la búsqueda constate por incorporar tecnologías que logren la competitividad de la electromovilidad frente a sistemas de transporte convencionales.

En este contexto, se identifican cuatro líneas principales de I+D+i (Investigación, Desarrollo e Innovación) en torno a la electromovilidad.

- Partes y piezas del vehículo: consiste en el desarrollo de mecanismos más eficientes para motores, frenos regenerativos, cajas de cambio, desarrollo de materiales más livianos, entre otros.
- Almacenamiento energético: considera mejorar las tecnologías para almacenamiento de las baterías, mayor densidad energética, mayor capacidad de carga/descarga en tiempos más reducidos, control de temperatura en ciclos de carga/descarga, entre otros. Contempla también el desarrollo de soluciones que permitan el uso de la batería (segunda vida) o el reciclaje de sus componentes principales.

- Control de flujos de energía e integración: desarrollo de electrónica para hacer más eficiente el uso de energía eléctrica disponible. Consiste en un sistema denominado “del vehículo a la red” o V2G (vehicle to grid), este considera al vehículo eléctrico como una batería móvil que, mediante una integración a la red eléctrica, permite inyectar electricidad a un sistema de distribución. Además, incluye el desarrollo de electrónica avanzada como controladores, sensores, entre otros.
- Manejo de datos: en búsqueda del desarrollo de ciudades inteligentes, se impulsa un sistema de conectividad que puede capturar datos de interés a medida que los vehículos eléctricos se desplazan por la ciudad. Esto permite el desarrollo de líneas de trabajo relacionadas a la industria telemática que contribuyan al desarrollo de ciudades inteligentes.

4.2.1 Tipos de vehículos eléctricos

En términos de electromovilidad existen diversas tecnologías que permiten el funcionamiento de un vehículo eléctrico, entregando una amplia gama de opciones al usuario según los requerimientos específicos de este, para efectos de este estudio no serán considerados los vehículos híbridos (combinan un sistema eléctrico con un sistema convencional de complemento), debido a que se busca evaluar la factibilidad de implementación de vehículos 100% eléctricos.

Para ello existen tres tipos importantes de vehículos eléctricos diferenciados según la tecnología principal que desarrollen.

- **Vehículos eléctricos de batería (BEV)**

Utilizan un tipo de batería denominado Battery Electric Vehicle (BEV), corresponde a un sistema de batería interno que almacena energía eléctrica, la cual es proporcionada al motor eléctrico para su funcionamiento mediante un controlador.

El componente clave de este tipo de vehículos es la batería, cuyas tecnologías principales corresponden a hidruro metálico (NiMH) e ion de litio (Li-ion).

La batería es cargada directamente desde la red eléctrica a través de un enchufe en un punto de carga habilitado. El controlador, corresponde a un controlador de dos cuadrantes, este controla la potencia suministrada al motor eléctrico que determina la velocidad del vehículo.

Una característica importante de este tipo de tecnología es la incorporación de un sistema de recuperación de energía denominado freno regenerativo, cuyo mecanismo de acción permite recuperar energía al accionar el freno (frenadas y desaceleraciones), debido a que la electrónica de potencia del motor puede convertirse en un generador de corriente capaz de introducir energía en la batería. Por otra parte, su principal desventaja recae en la autonomía limitada del vehículo y el alto tiempo de carga de las baterías, lo cual no es relevante para la aplicación de este estudio, puesto que los vehículos funcionan en rangos de tiempo bajos y tienen suficiente tiempo para recarga de la batería, además al contar con frenos regenerativos, se recupera un porcentaje importante de la batería.

Actualmente, la tecnología BEV se encuentra principalmente en el mercado de vehículos menores tales como bicicletas, sillas de rueda, vehículos de pasajeros como taxis o carritos de golf; y para vehículos mayores se presenta principalmente en buses de pasajeros, vehículos utilitarios de carga y camiones. Sin embargo, este tipo de vehículos es el que posee mayor presencia en el mercado de transporte urbano, tanto de pasajeros como de carga.

La Figura 6 a continuación, esquematiza el funcionamiento de este tipo de vehículos.

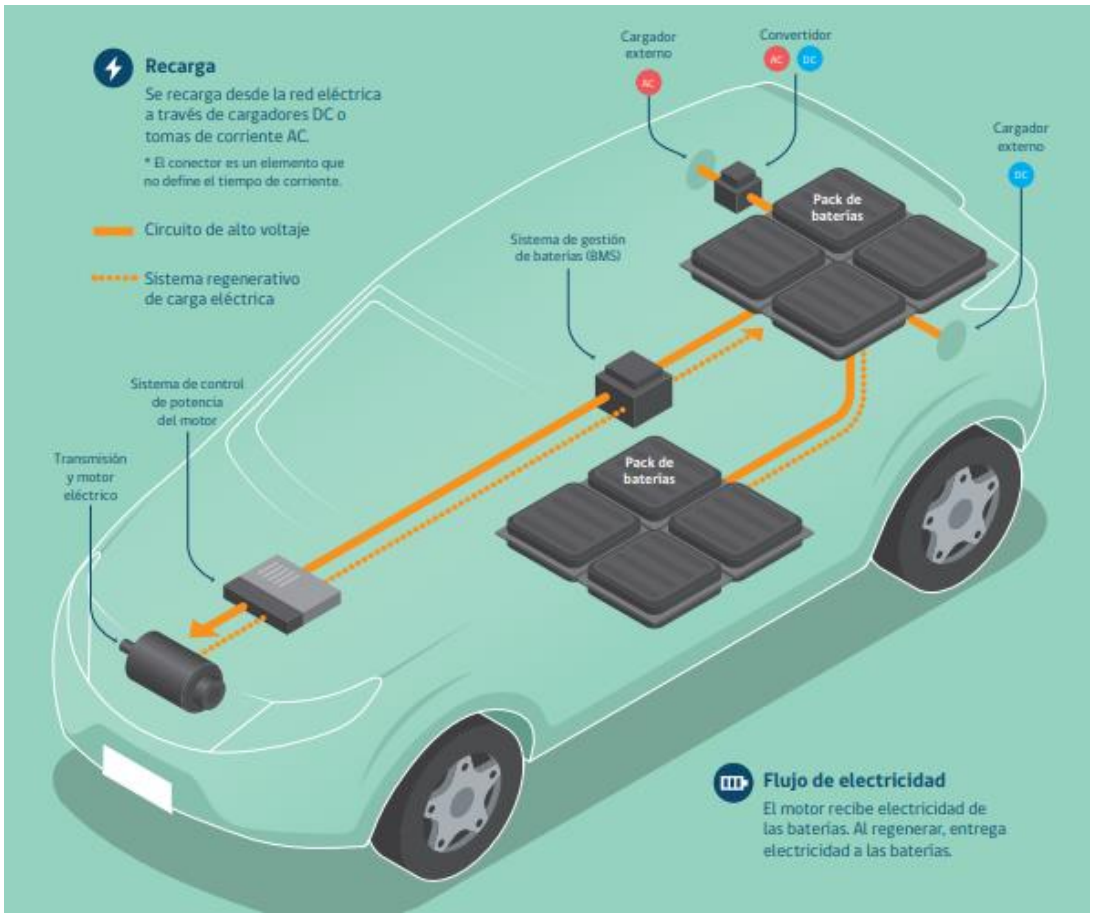

Figura 6: Mecanismo Vehículos Eléctricos de Batería (BEV)

Fuente: (Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2019)

- **Vehículos eléctricos con pila combustible (FCEV)**

También conocidos como Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV), este vehículo presenta una diferencia significativa frente a otras tecnologías de vehículos eléctricos o híbridos, puesto a que utiliza hidrógeno como fuente de energía, lo cual genera cero emisiones locales al medio ambiente.

El sistema se compone de una pila combustible que por un lado se alimenta de hidrógeno y por el otro recibe aire, ambos lados se encuentran separados mediante una membrana que permite el paso de los iones de hidrogeno e impide el paso de electrones, forzando a que estos atraviesen un circuito eléctrico, formando de esta manera una corriente eléctrica que, sumada a las demás celdas, genera energía eléctrica que alimenta al motor eléctrico para impulsar el vehículo. En el proceso, el núcleo de hidrógeno se une a su electrón y al oxígeno del aire en el otro

lado de la celda para formar agua, siendo este último, el único componente que emana desde el escape del vehículo.

Este tipo de tecnología tiene mayor autonomía que los BEV, incluso comparable a vehículos convencionales. Sin embargo, su principal desventaja es la complejidad del sistema de transporte de hidrógeno comprimido.

La Figura 7, resume el funcionamiento de este tipo de tecnología.

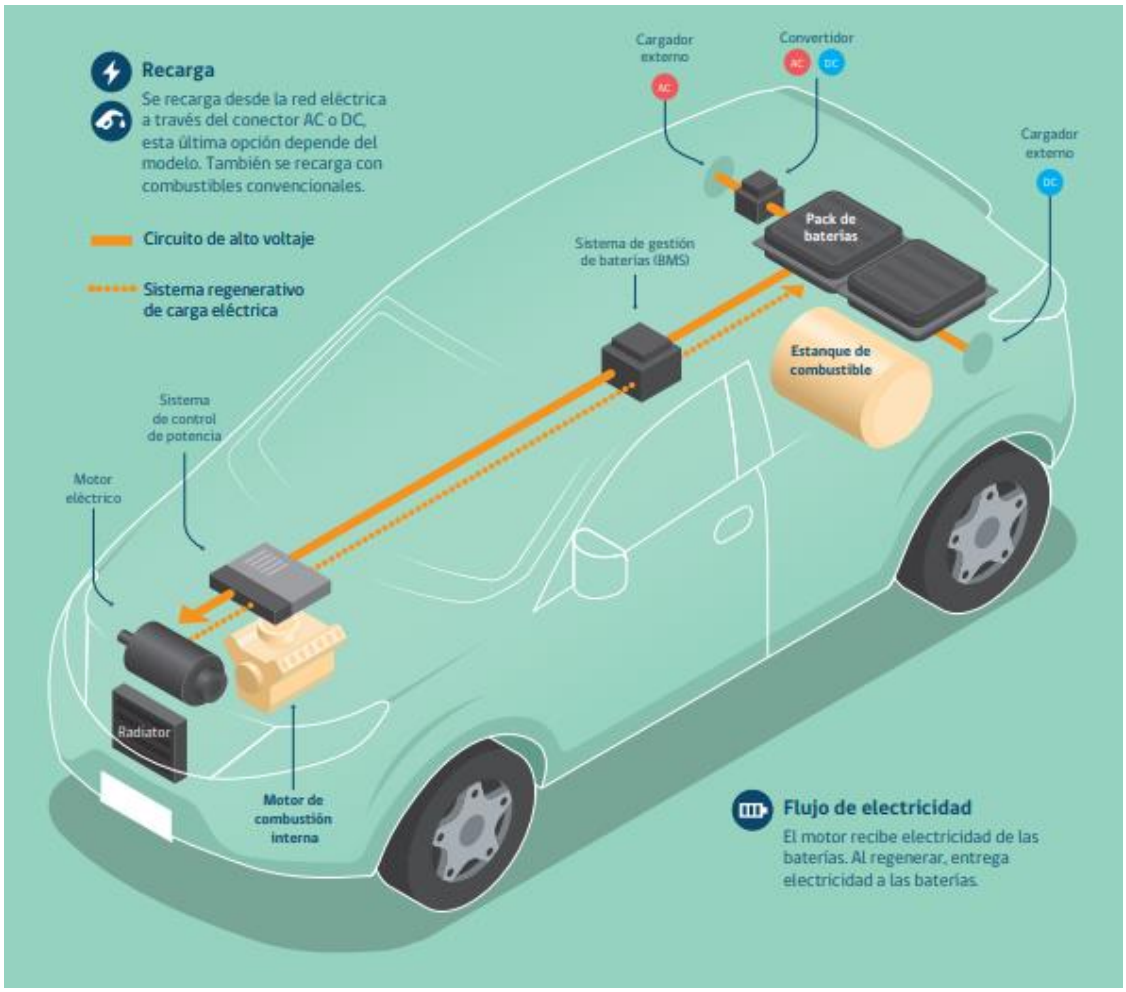

Figura 7: Mecanismo Vehículos eléctricos con pila combustible (FCEV)

Fuente: (Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2019)

Por otro lado, Chile cuenta con gran potencial para el desarrollo de esta tecnología, con el impulso de estrategias de desarrollo de hidrogeno verde y la amplia presencia de materias primas en el territorio nacional.

- **Vehículos eléctricos alimentados por líneas de transmisión**

Este tipo de vehículos son alimentados directamente por una línea área de transmisión continúa denominada catenaria, con la ayuda de dos astas y una pequeña batería que otorga un rango limitado de autonomía al vehículo, como es el caso de los trolebús y tranvía.

La corriente eléctrica al atravesar una de las astas, pasa por un convertidor con el que acciona el motor eléctrico y mecanismos de menor voltaje, luego de accionar las ruedas y otros mecanismos, la corriente sale por la otra línea asta y reingresa a la catenaria.

Este tipo de tecnología se utiliza comúnmente para vehículos de transporte urbano, puestos que estos poseen un recorrido fijo, en lugares de alto tráfico vehicular. Sin embargo, su implementación para recorridos múltiples como se plantea en este estudio no resulta factible debido a la infraestructura involucrada para habilitar un sistema de tales características en los diferentes recorridos del servicio de recolección en la comuna. Además, considerando las características geográficas de Valparaíso, resulta aún más complejo su implementación (cerros con pendientes empinadas, lugares estrechos y de difíciles acceso, sectores no urbanizados y sitios eriazos).

De las tecnologías mencionadas, se presenta a continuación un cuadro comparativo que permite identificar la tecnología que mejor se adapta a las necesidades del servicio propuesto en contraste con una tecnología convencional:

Tabla 3: Análisis comparativo de las alternativas propuestas

Tipo de vehículo	Motor	Ventajas	Desventajas
Convencional de gasolina (ICE)	Motor de combustión interna	-Rápida recarga de combustible -Rápida aceleración y potencia -Mejor autonomía -Menor costo de adquisición	-Motor de baja eficiencia -Emisiones locales de contaminantes atmosféricos
Vehículos eléctricos de batería (BEV)	Motor eléctrico	-Menor peso del motor versus uno convencional -Frenos regenerativos -Se puede recargar en el domicilio o punto de carga fijo -Cero emisiones locales de contaminantes atmosféricos	-Baja autonomía -Sin respaldo en caso de quedar si energía -Tiempos de carga relativos al potencial energético del punto de carga
Vehículos eléctricos con pila de combustible (FCEV)	Motor eléctrico	-Mayor autonomía que otros vehículos eléctricos -No genera emisiones	-Requiere estaciones de carga especiales -Vehículo de alto costo y poco masificado
Vehículos eléctricos alimentados por líneas de transmisión	Motor eléctrico	-Permite devolver la energía a la red -Bajos costos -Cero emisiones de contaminantes locales	-Altos requerimientos de mantención -Impacto visual y paisajístico por el uso de cables aéreos -Requiere de gran inversión en infraestructura para su implementación -Infactible generar un sistema para todos los recorridos del sistema de recolección de residuos de la comuna

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Baterías para vehículos eléctricos

El componente clave para el funcionamiento de un vehículo eléctrico es la batería, esta determina la autonomía que posee el vehículo. Las baterías almacenan energía mediante elementos electroquímicos. Estas se componen de un conjunto de celdas, que cuentan con electrodos denominados ánodo y cátodo.

El funcionamiento de una batería se compone de dos procesos principales: carga de la batería y descarga de la misma. La electricidad en el proceso de carga produce una reacción química en la batería, esta reacción se invierte cuando el vehículo se encuentra en funcionamiento (descarga de la batería). La corriente eléctrica tiene sentido opuesto al flujo de electrones, en el proceso de carga de la batería los iones van desde el cátodo (polo positivo) al ánodo, mientras que en el proceso de descarga el proceso es inverso y los iones fluyen desde el ánodo al cátodo.

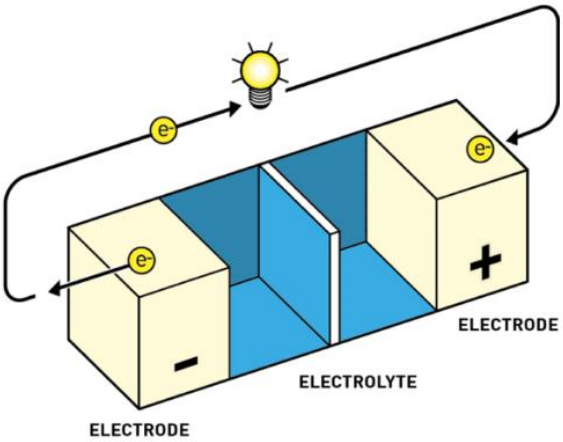

Figura 8: Esquema de funcionamiento de una batería

Fuente: (García Bello, 2020)

De acuerdo al tipo de batería y material que la compone, se determinan diferentes características, tales como:

<u>Densidad energética:</u> Corresponde a la energía que puede almacenar una batería para una masa determinada, su unidad de medida es Wh/kg, su interpretación mientras más alta es la densidad energética, mayor será la autonomía del vehículo y menor será el peso del mismo.

Potencia: Se refiere a la capacidad que posee la batería de proporcionar potencia en el proceso de descarga, medida en W/kg. A mayor potencia, mejores prestaciones para el vehículo.

Eficiencia: Corresponde al rendimiento de la batería, medido de manera porcentual (%) esto es la energía real que es capaz de aprovechar el vehículo.

Coste: El precio de adquisición de un vehículo suele ser la mayor barrera al optar por un vehículo eléctrico, principalmente asociado al desarrollo tecnológico del vehículo eléctrico, el cual se traduce en un aumento de su coste de adquisición.

Ciclo de vida: Hace referencia a ciclos completos de carga y descarga que es capaz de soportar la batería del vehículo eléctrico antes de finalizar su vida útil.

Actualmente existen diversos tipos de baterías eléctricas presentes en el mercado, estas se diferencian en sus componentes y las cualidades que conforman el vehículo y que permiten una mayor autonomía de este. Las baterías más comunes son:

- **Baterías de Plomo-Ácido:**

Es el tipo de batería más utilizado en electromovilidad y el más antiguo, se usa con frecuencia en vehículos de menor tamaño. Sus principales desventajas son el excesivo peso, lenta recarga y la toxicidad de sus componentes.

- **Baterías de Niquel-Cadmio:**

Ampliamente utilizadas en vehículos tipo aviones, helicópteros o vehículos militares, dado su gran rendimiento a bajas temperaturas. Su principal desventaja es que su capacidad de almacenamiento se ve reducida con cada recarga, también denominado “Efecto memoria”.

- **Baterías de Ion-Litio:**

Es una de las baterías más nuevas en el mercado, conformadas por un electrolito de sal de litio que consigue los iones necesarios para la reacción electroquímica. Al ser una batería más reciente, ha mejorado ciertos aspectos de las baterías anteriores, como la eficiencia de estas, la eliminación del efecto memoria, menor requerimiento de mantenciones y facilidad de reciclar los desechos de Ion-Litio, además de presentar una alta densidad energética. Como desventajas se encuentra su alto costo de mantención,

posibilidad de que exploten al sobrecalentarse y los requerimientos y cuidados de almacenamiento. Sin embargo, presenta alto potencial al no ser una tecnología totalmente madura, la explotación del litio ha potenciado un nuevo mercado en desarrollo tecnológico y se espera disminuir estas desventajas con las nuevas implementaciones tecnológicas.

- **Baterías Litio-Fosfato de hierro:**

Es el tipo de batería más utilizada y en estudio en la actualidad, presentando resultados favorables en cuanto a su uso. Este tipo de batería Ion-litio es similar a la anterior, con la diferencia de que no usa cobalto, por lo que tiene una mayor estabilidad y seguridad de uso, otras ventajas son un ciclo de vida más largo y una mayor potencia. Como desventaja a considerar está su menor densidad energética y su alto costo.

- **Baterías Polímero de Litio:**

Corresponde a otra variación de las baterías Ion-Litio, tiene mayor densidad energética y una potencia más elevada. Sin embargo, su alto costo y bajo ciclo de vida hacen de esta una opción no muy utilizada actualmente en el mercado.

- **Baterías de Sal fundida:**

Trabajan a 250°C y tiene como electrolito cloroaluminato de sodio triturado, el que en desuso se solidifica necesitando así un tiempo de fundición para que alcance la temperatura óptima. Tiene el mejor ciclo de vida entre las baterías, pero ocupa mucho espacio, requiere trabajar a altas temperaturas y su potencia es baja.

- **Baterías Zinc-Aire:**

Actualmente solo en fase experimental, estas baterías necesitan obtener el oxígeno de la atmosfera para generar una corriente. Tiene gran potencial de desarrollo puesto que se considera al zinc como el combustible eléctrico del futuro junto con el litio.

4.3 Contexto Energético

4.3.1 Matriz energética

Casi un tercio del consumo energético final en Chile corresponde al sector transporte y, de esta fracción, el 98,9% corresponde a derivados del petróleo (Energía Abierta, CNE, 2020) siendo responsable de cerca del 31,3 % del total de emisiones de

Gases de Efecto Invernadero (GEI) del país. Esta situación refleja la necesidad de fomentar el desarrollo de tecnologías con mayor eficiencia energética en el mercado vehicular e implementar políticas públicas que conlleven un uso energético más eficiente en el sector transporte para así reducir los efectos negativos en el medio ambiente.

La Electromovilidad es una tecnología que busca enfrentar este desafío, para ello el Gobierno de Chile dio conocer en 2017 la "Estrategia Nacional de Electromovilidad", que establece ejes y acciones prioritarias para el fomento de la electromovilidad en un trabajo en conjunto de los Ministerios de Energía, Transporte y Medio Ambiente con el fin de lograr su masificación en el país. Esta estrategia define las acciones que Chile debe ejecutar en el corto y mediano plazo para lograr un 40% de vehículos particulares y 100% de vehículos de transporte sean eléctricos al 2050. Esta estrategia busca aportar a la eficiencia energética y la mitigación de GEI, para contribuir a la movilidad y a la calidad de vida de la población.

Por otra parte, se está impulsando un programa de descarbonización que implica la detención, antes del año 2040, de las centrales termoeléctricas que usan carbón como combustible, estas son las que presentan el mayor nivel de emisiones de GEI. Poco después de anunciar esta medida, el Gobierno se comprometió a que el país será carbono neutral al año 2050, fomentando la participación de fuentes renovables de energías para la generación de electricidad.

Sin embargo, la Estrategia de Electromovilidad se enfoca principalmente en vehículos particulares y vehículos de transporte público. No obstante, se hace necesario considerar medidas para mejorar el transporte en servicios que actualmente no están considerados en estas políticas de transición, pero que de igual forma contribuyen a la contaminación local y presentan poca eficiencia energética. En estos tipos de transportes es posible que la transición de combustible convencional a electricidad se vea aplazado, no solo porque las políticas públicas están enfocadas en sustituir el transporte público e incentivar la compra de autos eléctricos, sino también por la resistencia al cambio existente debido a la seguridad y confiabilidad que han entregado los vehículos convencionales de combustibles a diversos servicios.

La transición de combustibles fósiles hacia la electricidad implicará un aumento en el consumo eléctrico, por lo que a medida que se vaya incrementando la incorporación de vehículos eléctricos en el país, es necesario ir reforzando en paralelo las redes de distribución de energía eléctrica y aportar por una diversificación en la matriz de generación de la electricidad.

Según el reporte mensual elaborado por la Comisión Nacional de Energía (CNE, 2022), existen 185 proyectos de generación eléctrica en el SEN en etapa de construcción, cuya fecha estimada de operación es entre diciembre de 2020 y octubre de 2024, entre ellos en conjunto alcanzan una capacidad eléctrica de 5.602 MW, distribuidos como se presenta en la Figura 9 a continuación:

Categoría	Tecnología	Capac. [MW]	Cantidad [uds]
ERNC	Biomasa	166	1
	Eólica	696	8
	Mini Hidráulica de Pasada	38	6
	Solar Fotovoltaica	3.572	151
Hidroeléctrica Convencional	Hidráulica de Pasada	1.036	6
Termoeléctrica	**Petróleo Diésel**	93,8	13

Figura 9: Proyectos de generación eléctrica en construcción, enero 2022

Fuente: (CNE, 2022)

Del total de proyectos en construcción, un 80% corresponde a Energía Renovable No Convencional (ERNC), un 18% a Hidroeléctrica convencional y el 2% restante a Termoeléctrica, esta información permite inferir que la proyección del desarrollo de la matriz energética está fuertemente enfocada en el desarrollo de energías más limpias y eficientes y en la descontinuación de energías no renovables en base a combustibles fósiles.

La capacidad instalada neta en Chile según el reporte mensual del sector energético del mes de enero 2022 (información registrada en diciembre 2021) fue de 27.486 MW, de los cuales 27.304 MW corresponden al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y el restante 0,6% se reparte entre el Sistema Eléctrico de Aysén (SEA) y el Sistema Eléctrico de Magallanes (SEM). La Figura 10, muestra la capacidad instalada neta por tecnología, donde

el 45,8% corresponde a termoelectricidad, 22,5% hidroelectricidad convencional y un 31,6% en Energías Renovables No Convencionales (ERNC).

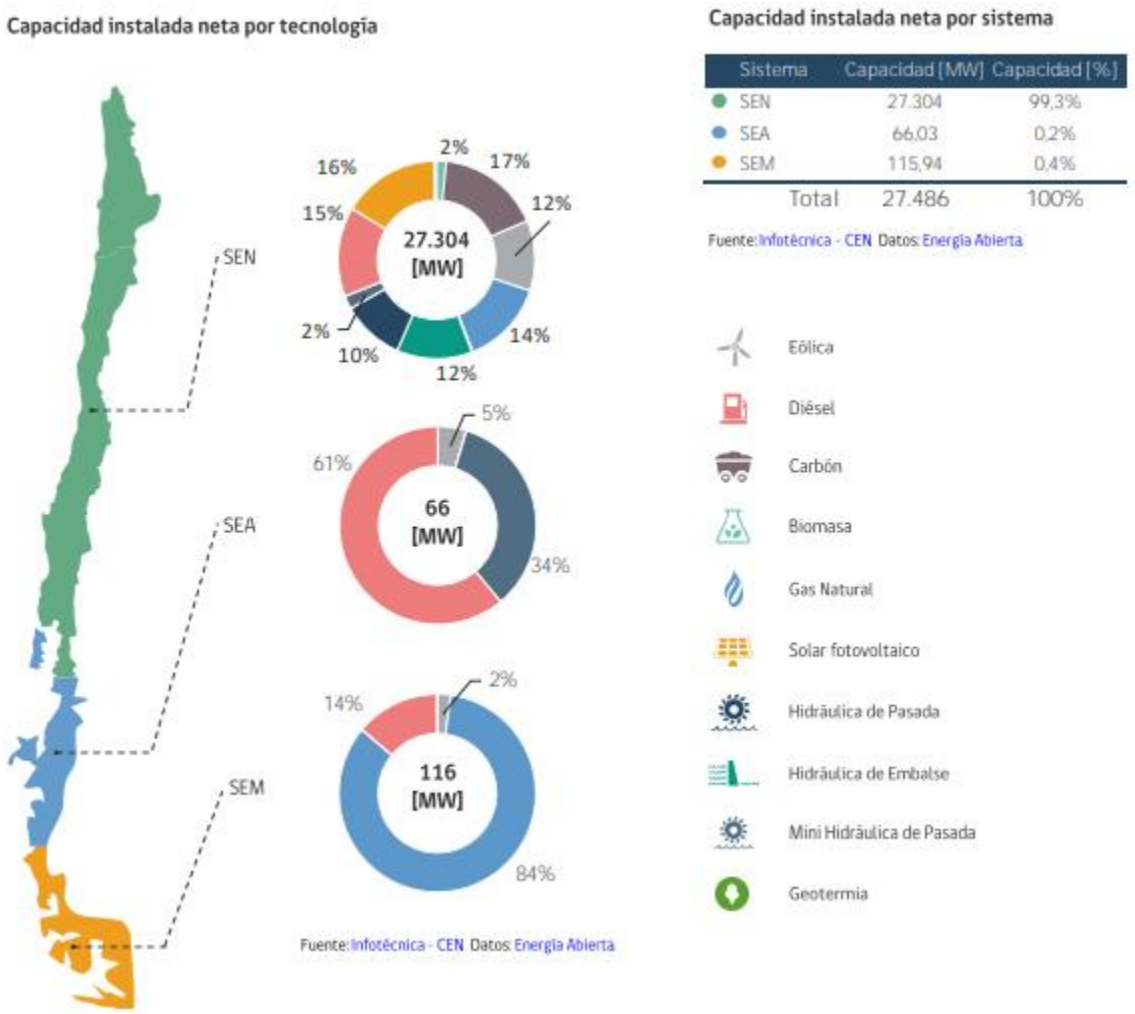

Figura 10: Capacidad instalada, enero 2022

Fuente: (Ministerio de Energía, 2021)

La generación de electricidad para el mes de diciembre 2021 en el SEN alcanzó un valor de 7.133 GWh, de los cuales un 45% corresponde a termoeléctricas, un 33% a ERNC y un 21% a hidroeléctricas convencionales.

La evolución de la generación bruta de energía eléctrica del SEN corresponde a un 3,9% para el periodo 2021, tal como se presenta en la Figura 11.

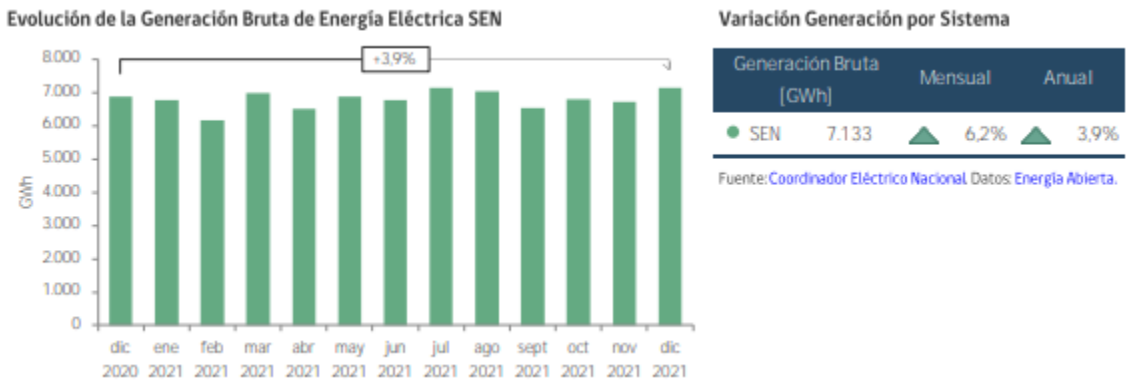

Figura 11: Generación bruta de energía eléctrica, 2021

Fuente: (CNE, 2022)

Particularmente, la región de Valparaíso posee una capacidad instalada de 3.323 MW, de la cual un 93,5% corresponde a energías convencionales y un 6,5% a ERNC. La capacidad instalada de la región de Valparaíso representa el 12% del total de la capacidad total instalada del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

4.3.2 Distribución de la energía eléctrica

En cuanto a la distribución y venta de energía eléctrica en la comuna de Valparaíso existe una única empresa que cumple esta función: Chilquinta.

La compañía Chilquinta Energía S.A cuenta con una red de oficinas y sucursales distribuidas en la región de Valparaíso en las comunas de Valparaíso, Viña del mar, Concón, Quintero, Quilpué, Villa Alemanda, Limache, Quillota, La Calera, San Felipe, Los Andes, Llay Llay y San Antonio. (Chilquinta, 2020)

Además, Chilquinta Energía S.A cuenta con una serie de electrolineras distribuidas en la región, que poseen una entrada tipo cable universal. Quienes ocupen el servicio deben contar con una tarjeta inteligente que activa y desactiva el proceso de carga, además de enviar previamente información de usuario, de contacto y de identificación del vehículo.

4.4 Casos de aplicación del sistema propuesto

4.4.1 Referencias mundiales

El uso de vehículos eléctricos para el servicio de recolección de residuos domiciliarios es una realidad desde hace varios años en diferentes países a nivel mundial.

- En 2009 la empresa Volvo puso a prueba camiones híbridos para la recolección de residuos en Suecia y posteriormente en Londres, teniendo una reducción en el consumo de combustible del 35%.
- "El año 2012 en España se utilizaron camiones híbridos de la marca Renault para el servicio de recolección, lo que significó un ahorro del 25% en consumo de combustible.
- En 2019 la empresa Volvo fabricó un camión recolector 100% eléctrico que actualmente tiene presencia en los servicios de Hamburgo, Alemania y que ya tiene en venta para el resto de los países europeos. En Holanda, el fabricante DAF Trucks NV cuenta con su primer camión eléctrico de recogida de residuos.
- En Nueva York, Estados Unidos el año 2020 se pone a prueba un camión recolector de la marca Mack Trucks (propiedad de Volvo).
- Brasil, por su parte, realizó el mayor pedido de camiones 100% eléctricos para recolección en América Latina a la empresa china BYD, con la que firmó un acuerdo para 200 camiones que se entregarán paulatinamente hasta el 2023.

Los distintos modelos de camiones de recolección de residuos existentes en la actualidad son:

Tabla 4: Disponibilidad de vehículos de recolección eléctricos en el mercado mundial

Modelo	Marca
CF Electric	DAF Trucks N.V.
Mack Electrici LR	Volvo
D Wide Z.E	Renault
BYD T8A	BYD
eEconic	Mercedes-Benz

Fuente: (Galán, 2020)

4.4.2 Referencias nacionales

En Chile, el mercado automotriz es totalmente de importación, el país se caracteriza por su extensa cartera de Tratados de Libre Comercio (TLC), asociación o complementación económica, con todos los principales países de fabricación automotriz, contando con una cantidad de 15 tratados en esta materia, existiendo una amplia oferta

local de automóviles, vehículos deportivos utilitarios (SUV por sus siglas en ingles) y vehículos utilitarios livianos, esta oferta se amplía si se consideran los segmentos motos, camiones comerciales pesados y autobuses. En contraste con la amplia oferta de mercado de marcas y modelos de vehículos de combustión interna que se tiene disponible en Chile, la oferta y diversidad de vehículos eléctricos e híbridos es escasa aún.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística (INE), el parque automotriz en Chile alcanza aproximadamente los cinco millones de vehículos, el que se concentra en un 90% de vehículos de transporte vehicular, un 6% de transporte de carga y un 4% para transporte colectivo.

Para facilitar la importación de vehículos eléctricos, en el proyecto de Ley de eficiencia energética (BCN Chile, 2019) se incluyó la facultad para establecer estándares al parque de vehículos motorizados y de componentes que favorezcan un desarrollo seguro, sostenible y eficiente para vehículos nuevos, livianos, medianos y pesados, lo que significa un incentivo a los importadores. El mercado específico para el vehículo eléctrico que se propone en este estudio es inexistente en el país, sin embargo, existe información suficiente respecto al comportamiento del mercado para vehículos convencionales de carga, que corresponde al segmento del mercado que se desea reemplazar.

Debido a que Chile no existen empresas que se dediquen a la fabricación vehículos motorizados de combustión interna o eléctricos, se ve en la necesidad de importar este tipo de maquinaria cada vez que requiera incorporar a nuevas actividades productivas del país, ampliación y/o mejoramiento de servicios públicos o por término de la vida útil o deterioro de los vehículos existentes en el parque automotriz que obligan a su recambio.

Según Aduanas, entre el año 2014 y mayo de 2021, en chile los vehículos para usos especiales como grúas, excavadoras, camiones de bombero, camiones recolectores de residuos, ambulancias, entre otros (código de partida en la página correspondiente a P8705) alcanza la suma de 848,6 millones de dólares. Este valor presentaba incremento cada año desde el 2014 al 2019, donde en 2019 se registra un valor de 153,27 millones de dólares CIF (Cost Insurance and Freight), sin embargo, para el año 2020 este valor disminuye a 132,5 millones de dólares producto de la crisis económica mundial que se vive a raíz de la situación sanitaria.

En la Figura 12 se visualiza que en el periodo 2014- mayo 2021, los principales países de origen de estos vehículos son Estados Unidos, México y países europeos como Alemania, España y Portugal. Además, se indica como información que el puerto de desembarque principal para estos vehículos es el de San Antonio, por ende, la vía de transporte corresponde netamente por vía marítima.

Figura 12: Importaciones de vehículos de carga durante el período 2014 y mayo de 2021

Fuente: (Aduanas Chile, 2020)

5 MARCO LEGAL APLICABLE

5.1 Marco Legal Residuos

5.1.1 Aspectos Legales del Ámbito Nacional

- **Decreto con Fuerza de Ley N°725/1968, Ministerio de Salud "Código Sanitario"**

Este decreto establece el origen del marco normativo chileno asociado a residuos sólidos, indica la obligatoriedad a los municipios respecto al manejo de residuos (recolección, transporte y eliminación por métodos adecuados) de la basura, residuos y desperdicios que se depositen o produzcan en la vía urbana y establece las autorizaciones sanitarias de distintas instalaciones de manejo de residuos.

- **Política Nacional de Residuos 2018-2030**

El Ministerio de Medio Ambiente establece las directrices para la gestión integral de residuos, para ello determina obligaciones para los generadores, gestores, importadores y exportadores de residuos. Esta política regula la gestión de los residuos municipales, las responsabilidades asociadas y el otorgamiento de subsidios para el servicio de aseo.

Además, incorpora la responsabilidad extendida del productor donde se identifican 6 productos prioritarios. Establece, un plan de acción que será actualizado cada 5 años, cuyo objetivo es ordenar y orientar las acciones que el Estado deberá tomar para aumentar la tasa de valorización de residuos hasta un 30% entre los años 2018 y 2030, basándose en un enfoque de economía circular y en el manejo ambientalmente racional de los residuos, para lo cual busca implementar la jerarquía en el manejo de residuos.

Esta política hace frente a compromisos internacionales adoptados por Chile OCDE, y contempla 12 líneas de acción y un total de 60 acciones. Dicho Plan de Acción incluye aspectos estratégicos respecto a la prevención, valorización y eliminación, teniendo como objetivos:

1. Desarrollar e implementar instrumentos que fomenten la aplicación de la jerarquía en el manejo de residuos.

2. Asegurar el acceso a infraestructura para el manejo ambientalmente racional de residuos en todo el territorio nacional.
3. Concientizar a la sociedad sobre los beneficios de la prevención y valorización de residuos.
4. Disponer de información de calidad sobre gestión de residuos.
5. Crear una nueva institucionalidad

- **Decreto Supremo N°148/2003, Ministerio de Salud "Reglamento Sanitario sobre el Manejo de Residuos Peligrosos"**

Reglamento Sanitario sobre manejo de Residuos Peligrosos, establece las condiciones sanitarias y de seguridad mínima para la generación, tenencia, almacenamiento, transporte, tratamiento, reúso, reciclaje, disposición final y otras formas de eliminación de residuos peligrosos.

- **Ley 20.920/2016, Ministerio de Medio Ambiente "Ley REP"**

Corresponde al marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje, más conocida como Ley REP.

Esta ley establece seis productos prioritarios, para los cuáles se fijarán metas de recolección. Indica responsabilidad para los productores e importadores de dichos productos quienes deberán generar alianzas para cumplir las metas específicas de recolección de cada producto, integrando intermediarios (recicladores bases) y fomento al reciclaje en el consumidor individual.

Los productos prioritarios se establecen en base a la cantidad circulante en el mercado y a la factibilidad de su reciclaje, reutilización o recuperación de materiales. Las categorías de productos prioritarios corresponden a:

a) Aceites lubricantes
b) Aparatos eléctricos y electrónicos
c) Baterías
d) Envases y embalajes
e) Neumáticos
f) Pilas

La ley se implementará de manera gradual, para lo cual se elaborarán reglamentos específicos que regulen las metas de valorización para cada producto y los plazos establecidos para ello.

- **Decreto Supremo N°8/2019, Ministerio de Medio Ambiente**

Establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas al producto prioritario Neumáticos, según lo dispuesto en la Ley N°20.920.

- **Decreto Supremo N°12/2020, Ministerio de Medio Ambiente**

Establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas al producto prioritario Envases y Embalajes, según lo dispuesto en la Ley N°20.920.

- **Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos Chile 2040, Ministerio de Medio Ambiente**

Esta estrategia se propone como meta transitar de un 1% a un 66% de valorización de los residuos orgánicos a nivel municipal al 2040, buscando incentivar la disminución de generación de estos en el origen y el reciclaje de los mismos.

- **Decreto Supremo N°7, Ministerio de Medio Ambiente**

Corresponde al reglamento del Fondo para el Reciclaje, según lo dispuesto en el artículo 31 de la ley N°20.920.

Este reglamento está destinado a financiar proyectos, programas y acciones para prevenir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, dirigido a ser ejecutado por municipalidad o asociaciones de estás.

- **Resolución N°2.444/1980, Ministerio de Salud "Normas Sanitarias Mínimas para la Operación de Basurales"**

Establece las normas sanitarias mínimas para la operación de basurales, definiendo las características del lugar, dotación necesaria para la operación, personal necesario, condiciones para la operación y la fiscalización por parte de autoridades.

- **Decreto Supremo N°189/2005, Ministerio de Salud "Condiciones Sanitarias y de Seguridad Básicas en los Rellenos Sanitarios"**

Este decreto regula el manejo de Rellenos Sanitarios en el país, ya sean operados por personas de derecho público o privado, con el fin de asegurar la prestación de un servicio de calidad, constancia y seguridad adecuada para la disposición final de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables con una calidad y el normal desarrollo de actividades de las localidades, comunas o regiones que disponen tales residuos en dichos establecimientos.

- **Decreto Supremo N°594/1979, Ministerio de Salud "Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo"**

Establece los lineamientos para la Disposición de Residuos Industriales Líquidos y Sólidos generados por las instituciones u organizaciones.

- **Decreto Ley N°3.063/1979, Ministerio del Interior "Ley de Rentas Municipales"**

Este decreto fue modificado en 2005 por la Ley N°20.033. Establece que la responsabilidad del manejo de residuos sólidos recae sobre cada municipio, el cual deberá regular la recolección, establecer tarifas y exenciones explicitas bajo un dictamen general establecido por ley.

Las tarifas del servicio las establece de manera anual cada municipio en base al costo real del servicio, diferenciadas acorde a la frecuencia de recolección, rebaja de tarifas o las exenciones de pago a usuarios según las condiciones socioeconómicas. No obstante, la ley establece exenciones de pago para usuarios cuya vivienda o unidad habitacional tenga un avalúo fiscal igual o inferior a 225 UTM.

- **Fija el Texto Refundido, Coordinado y Sistematizado de la Ley N°18.695, Orgánica Constitucional de Municipalidades Ministerio del Interior, SUBDERE**

La Ley Orgánica de Municipalidades en su artículo N°3, letra f establece como función privativa de los municipios el aseo y ornato de la comuna, y atribuye a la unidad de medio ambiente, aseo y ornato, la responsabilidad de velar por la limpieza de las vías

públicas, parques, plazas, jardines y, en general, de los bienes nacionales de uso público existentes en la comuna respectiva, y el servicio de extracción de basura.

5.1.2 Aspectos Legales del Ámbito Municipal

- **Decreto 546/2010 Ordenanza Local de Aseo y Ornato municipalidad de Valparaíso**

Entrega disposiciones generales para el mantenimiento del aseo de la municipalidad de Valparaíso. Particularmente el Articulo 27 menciona los servicios municipales de recolección de aseo, donde se diferencian los tipos de servicios de recolección y sus relativos horarios de funcionamiento y frecuencias. El Artículo 31 detalla los tipos desechos que la municipalidad no se hace cargo, entre ellos los que dañen los equipos compactadores de los vehículos recolectores.

5.2 Marco Legal Ámbito Vehicular

- **Decreto Supremo N°75/1987, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Subsecretaría de transportes "Establece condiciones para el transporte de cargas"**

Indica las disposiciones de seguridad que deberán cumplir los vehículos de carga para el transporte de estas, acorde al tipo de carga en su interior, así como las velocidades máximas para zonas urbanas.

- **Ley N°21.088/2018 de Convivencia de Modos**

Esta ley modifica el decreto con fuerza de ley N°1/2007, que fija el texto refundido de la ley N°18.290 de Tránsito. Incorpora disposiciones respecto a la convivencia de los distintos medios de transporte para armonizar el uso del espacio vial.

Busca fomentar un cambio cultural para mejorar la relación entre todas las personas que utilizan los espacios viales, promoviendo el respeto y generando ciudades más amables para todos.

- **Resolución Exenta N°1.555/2020, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones**

Indica que los vehículos eléctricos e híbridos quedan exentos de restricción vehicular.

- **Resolución Exenta N°56/2020, Servicio de Impuestos Internos**

Modifica la tabla de vida útil normal y depreciación acelerada para vehículos eléctricos, híbridos con recarga exterior y otros calificados como cero emisiones, estableciendo que la vida útil cambia de 7 a 3 años, y la depreciación acelerada de 2 a 1 año.

5.3 Marco Legal Ámbito Energético

- **Ley N°20.936/2016, Ministerio de Energía "Ley general de servicios eléctricos"**

Establece un nuevo sistema de transmisión eléctrica y crea un organismo coordinador independiente del sistema eléctrico nacional.

Este documento entrega la base para el desarrollo de la red eléctrica, el mercado y los cuerpos normativos respecto a seguridad, fiscalización, operación, mantenimiento y desarrollo del sistema eléctrico.

Esta ley rige la producción, el transporte, la distribución, el régimen de concesiones y tarifas de la energía eléctrica y las funciones del Estado relacionadas con estas materias, con el fin de contar con energía confiable, sustentable, inclusiva y a precios razonables.

- **Ley N°21.305/2021, Ministerio de Energía "Ley de Eficiencia Energética"**

Este documento define estándares vehiculares de eficiencia energética para el nuevo parque automotriz, que se traduce en metas de rendimiento energético promedio.

Esta ley busca fomentar la incorporación de vehículos eléctricos debido a sus altos valores de eficiencia.

- **Norma Chilena 4/2003 Electricidad instalaciones eléctricas de consumo en baja tensión**

Establece las condiciones mínimas de seguridad que deberán cumplir las instalaciones eléctricas de consumo en baja tensión para salvaguardar a las personas que hacen uso de dichas instalaciones, y preservar el medioambiente en que fueron construidas.

- **Norma de seguridad 20/1978 Subestaciones eléctricas para instalaciones de consumo**

Establece las condiciones mínimas de seguridad que se han de cumplir durante la construcción, montaje, operación y mantenimiento de subestaciones de transformación que operen con tensiones hasta 25 kV, que se utilicen para suministrar energía eléctrica a las instalaciones interiores.

- **Norma técnica de calidad de servicio para sistemas de distribución 2019**

Regula los aspectos técnicos, de seguridad, coordinación, calidad, información y económicos del sector eléctrico. Establece estándares de calidad de servicio para los Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica, que deberán cumplir las empresas distribuidoras de energía eléctrica.

5.4 Marco legal Ámbito Electromovilidad

- **Decreto Supremo N°107/2016, Ministerio de Energía "Etiquetado Vehicular"**

Estandariza el etiquetado de eficiencia energética para vehículos livianos y medianos de pasajeros y comerciales.

- **Decreto Supremo N°145/2017, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Subsecretaría de Transportes**

Establece requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para vehículos eléctricos al momento de ser homologados por el 3CV, con estándares que disminuyan los riesgos de accidentes por electrocución.

Además, indica estándares que permitan unificar el mercado de electromovilidad en el país, basados en normas internacionales.

- **Trámite eléctrico TE-6 de instalación de cargadores de vehículos eléctricos**

Corresponde a un manual para el instalador de cargadores de vehículos eléctricos en Chile, que indica las exigencias a cumplir para el trámite eléctrico TE-E

5.5 Marco Legal Ámbito Medioambiental

- **Constitución Política de la República de Chile**

La constitución política chilena en su capítulo III de los derechos y deberes constitucionales, en su artículo N°8 establece como deber del estado, garantizar a todas las personas el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación. El estado tiene el deber de velar por el cumplimiento de este derecho y tutelar la preservación de la naturaleza, estableciendo restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades con el fin de proteger el medio ambiente.

- **Ley 19.300/1993, Ministerio Secretaría General de la Presidencia "Ley de Bases Generales de Medio Ambiente"**

Esta ley es la base para el desarrollo jurídico que garantiza el derecho constitucional de todas las personas a vivir en un medio ambiente libre de contaminación.

Establece principios que se deberán cumplir por las diferentes entidades para dar garantía del derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental.

- **Ley 20.417/2010, Ministerio Secretaría General de la Presidencia**

Corresponde a una modificación de la ley 19.300, que, entre otros aspectos, crea el Ministerio del Medio Ambiente, El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

Indica, además, aquellos proyectos o actividades que generan o son susceptibles a generar un impacto ambiental, y entrega la base para el desarrollo del reglamente que regulará el proceso de evaluación ambiental.

- **Decreto Supremo N°40/2012, Ministerio del Medio Ambiente**

Corresponde al reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Establece las condiciones bajo las cuales un proyecto o actividad debe someterse a evaluación ambiental en él SEA, e instruye el proceso de evaluación que deberá llevarse a cabo si corresponde.

- **Decreto Supremo N°1/2013, Ministerio de Medio Ambiente**

Establece el reglamento del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC). Indica que, mediante una plataforma de ventanilla única, los generadores de residuos sobre 12 toneladas anuales deberán registrar la trazabilidad de sus residuos, indicando para ello el lugar de disposición final de estos que debe contar con registro en la plataforma y autorización sanitaria.

Para el caso de residuos domiciliarios, el generador individual no realiza el seguimiento de estos, sino que es realizado por el responsable del servicio de recolección domiciliara, en este caso, corresponde al municipio de Valparaíso.

- **Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040, Ministerio del Medio Ambiente**

Busca impulsar el desarrollo sostenible, justo y participativo teniendo como eje central el bienestar de las personas, a través del cuidado de la naturaleza y los seres que coexisten en ella, la gestión responsable y eficiente de los recursos naturales, consumo sostenible y consciente, fomentando la creación de empleos verdes.

- **Municipios en el SCAM, Ministerio del Medio Ambiente**

El Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM), un sistema integral de carácter voluntario, que busca instalar un modelo de gestión ambiental en los municipios, acorde a los estándares internacionales como ISO 14.001 y el Reglamento Comunitario de Ecogestión y Ecoauditoría (EMAS).

Los municipios que participan en el programa desarrollan una estrategia ambiental comunal, cuyo objetivo es abordar de manera sistemática los principales conflictos o situaciones ambientales que se evidencian en la comuna.

5.6 Normativa Internacional

- **Norma IEC-61851: Sistema de carga de vehículos eléctricos**

Es un estándar internacional para sistemas conductivos de vehículos eléctricos livianos y camiones eléctricos industriales. Se encuentra en etapa de desarrollo puesto que corresponde a un segmento relativamente nuevo de mercado.

Forma parte de los grupos de estándares de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC por sus siglas en inglés). El IEC-61851 consta de las siguientes partes:

- **IEC 61851-1**: Requisitos generales
- **IEC 61851-21-1:** Vehículo eléctrico, cargador a bordo, requisitos de Compatibilidad Electromagnética (EMC por sus siglas en inglés) para conexión AC/DC
- **IEC 61851-21-2:** Requisitos EMC de sistemas de carga del vehículo eléctrico embarcados
- **IEC 61851-22**: Estación de carga AC de vehículo eléctrico
- **IEC 61851-23:** Estación de carga para vehículo eléctrico
- **IEC 61851-24:** Comunicación digital entre una estación de carga DC y un vehículo eléctrico para el control de la carga DC

La Corporación Chilena de Normalización Electrotécnica es la encargada de promover y adaptar el uso de las normas IEC en la legislación nacional.

6 DESARROLLO

6.1 Análisis de la alternativa propuesta

6.1.1 Descripción general del servicio propuesto

Se propone una mejora tecnológica al actual sistema de recolección de residuos de la comuna de Valparaíso, incorporando a la flota ya existente de camiones recolectores convencionales, camiones eléctricos que complementen el servicio. El uso de camiones eléctricos conlleva aspectos beneficiosos mencionados en el punto 4.2 de este documento, pero además reducirá el gasto público del municipio en concepto de mantenciones y costos operacionales de los camiones de recolección, y permitirá contar con nuevos equipos de propiedad municipal en línea con las proyecciones de la actual administración de contar con una flota propia para el servicio de recolección de residuos.

Debido al alto costo de adquisición de un camión eléctrico y a que es una nueva tecnología en desarrollo, se propone la implementación de un plan piloto que consiste en la adquisición de dos camiones operando en un periodo de prueba en los cerros de Valparaíso. El plan piloto será implementando en los cerros que corresponde a un punto crítico en la recolección de residuos debido a su geografía; con el fin de evaluar el escenario más desfavorable en términos operativos para el vehículo.

En este plan se propone que el servicio ordinario opere en dos de rutas en que sean representativas de las características más desafiantes de la recolección de residuos en la comuna, es decir, pendientes elevadas, acceso a quebradas, subidas y bajadas constantes e irregularidades en el terreno.

El Cuartel Cárcel alberga el centro donde se estaciona la flota de camiones completa de los 4 cuarteles, por lo que será este el sector donde se realizará la instalación del punto de carga para el camión eléctrico, por motivos operativos y de cercanía con el punto de carga, las rutas seleccionadas para el plan piloto corresponden a dicho cuartel, que abarca los cerros desde Ramaditas a Cordillera, de esta forma frente a cualquier problema que presente el camión eléctrico se estaría cerca del punto de carga, existiendo además, la disponibilidad de camiones de reemplazo. En la Figura 13 se aprecia gráficamente el sector abarcado por el cuartel Cárcel.

Figura 13: Sectores geográficos del Cuartel Cárcel

Fuente: (Hernández Vargas, 2010)

Acorde a los datos proporcionados en el informe (Centro de Economía y Administración de Residuos Sólidos, 2012) elaborado por la Municipalidad de Valparaíso en conjunto a la UTFSM, el cuartel cárcel consta de 9 servicios, divididos en tres recorridos o rutas.

Se ha corroborado con personal del Departamento de Aseo de la Municipalidad de Valparaíso que esta información no ha sido modificada, por lo cual se utilizará el detalle de los recorridos que se indican en dicho informe.

Los servicios de los cerros Concepción y Alegre, por su atractivo turístico, son atendidos diariamente de lunes a sábado. Cuenta con 8 servicios, de los cuales dos tienen frecuencia de recolección de tres veces por semana y los seis restantes dos veces por semana. La Figura 14 muestra los recorridos según día de recolección para el Cuartel Cárcel.

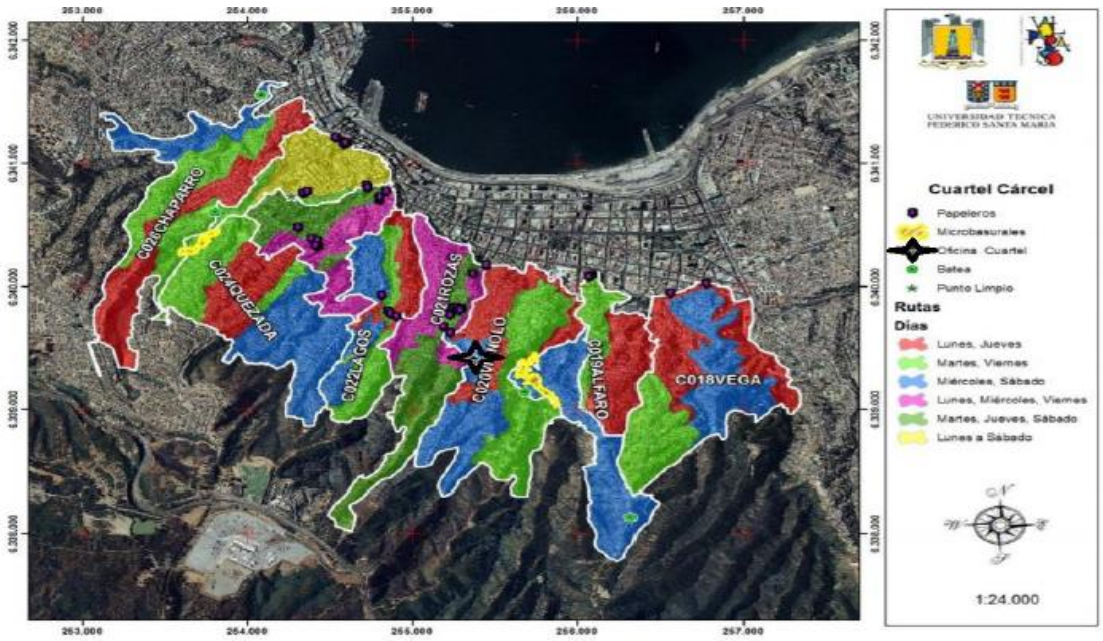

Figura 14: Detalle de recorridos Cuarte Cárcel

En la Tabla 5 se presentan las rutas y su nomenclatura según indicaciones del informe (Centro de Economía y Administración de Residuos Sólidos, 2012), se detalla además la frecuencia de recolección y cantidad promedio de RSD trasladados al Relleno Sanitario para disposición final por el respectivo camión recolector en el año 2012. La jornada de trabajo inicia en el cuartel respectivo a las 7 am y finaliza en el cuartel cárcel a las 3 pm, donde el chofer estaciona el vehículo en el aparcadero.

Tabla 5: Detalle de recorridos del servicio Cuartel Cárcel

Recorrido	Código de servicio	Rutas	Días de ruta	Carga diaria promedio [kg]
71	C018	1	lunes y jueves	4.604
72	C018	2	martes y viernes	4.668
73	C018	3	miércoles y sábado	5.039
74	C019	1	lunes y jueves	4.731
75	C019	2	martes y viernes	5.069
76	C019	3	miércoles y sábado	4.628
77	C020	1	lunes y jueves	5.655
78	C020	2	martes y viernes	5.021
79	C020	3	miércoles y sábado	5.125
80	C021	1	lunes, miércoles y viernes	4.131
81	C021	2	martes, jueves y sábado	4.741
82	C022	1	lunes y jueves	4.736
83	C022	2	martes y viernes	4.884
84	C022	3	miércoles y sábado	5.540
85	C023	1	lunes, miércoles y viernes	4.880
86	C023	2	martes, jueves y sábado	4.550
87	C024	1	lunes y jueves	6.099
88	C024	2	martes y viernes	5.166
89	C024	3	miércoles y sábado	4.948
90	C025	1	lunes, miércoles y viernes	5.050
91	C025	2	martes, jueves y sábado	4.429
92	C026	1	lunes y jueves	5.524
93	C026	2	martes y viernes	6.003
94	C026	3	miércoles y sábado	4211

Fuente: (Centro de Economía y Administración de Residuos Sólidos, 2012)

Se escogen dos rutas representativas del sector, ambas con diferente frecuencia de recolección, distinto tonelaje de residuos recolectados y distintas localizaciones geográficas. La ruta C021 para realizar el funcionamiento piloto del camión recolector

debido a que corresponde a la ruta más cercana a la zona de estacionamientos que, además, abarca varios cerros de la comuna, presentando en sus recorridos pendientes y rutas que permitirán poner a prueba la capacidad del camión eléctrico en el servicio de recolección para la topografía de Valparaíso. Por otra parte, se selecciona la ruta C024, esta es la ruta que recolecta mayor cantidad de residuos dentro del Cuartel Cárcel y abarca sectores altos de la ciudad de Valparaíso de varios cerros, lo que permitirá estudiar el rendimiento del camión en condiciones más extremas.

Para la implementación del servicio utilizando camiones eléctricos, será necesaria, la instalación de un punto de carga en el lugar de acopio de los camiones recolectores actuales (Cuartel Cárcel), con el objetivo de realizar la carga de los camiones eléctricos al momento en que estos estén fuera de servicio. En este sector se estaciona la flota de camiones completa utilizada en los 4 cuarteles, cuenta con un patio de acopio que almacena el mobiliario de aseo en desuso y posee un galpón que funciona como taller mecánico para realizar reparaciones menores a los vehículos municipales. Además, cuenta con instalaciones para albergar a todos los choferes y los poncheros que trabajan en el respectivo cuartel. El lugar corresponde a un sitio eriazo irregular, rodeado por una ladera de quebrada muy alta que aísla naturalmente el entorno. Este recinto se ubica en Calle Osman Pérez Freire S/N, Cerro Mariposa, su acceso se realiza desde Av. Alemania, como se observa en la Figura 15.

Figura 15: Ubicación y acceso Cuartel Cárcel

El recinto cuenta con una superficie total aproximada de 1,1 ha, como se observa en la figura anterior. Además, está a 300 metros de una Subestación eléctrica de Valparaíso, ubicada en Avenida Alemania 7022, Cerro Mariposas, lo cual beneficia la instalación del punto de carga necesario para la operación de los camiones eléctricos.

Figura 16: Distancia Cuartel Cárcel - Subestación eléctrica

Como se observa en la Figura 16, el cuartel cárcel y la subestación ubicada en av. Alemania se encuentran ubicadas a poca distancia, razón por la cual no se debería considerar la instalación del transformador para la energía suministrada a la estación de carga.

Las unidades de potencia, de control y de carga ocupan una superficie aproximada de 1 m^2 cada una. El camión recolector eléctrico BYD 0 T8A ocupa una superficie de 18 m^2, lo que equivale a una superficie total de 19 m^2 para la instalación de la infraestructura necesaria para cargar 1 camión eléctrico, considerando un punto de carga para cada vehículo del plan piloto y una superficie suficiente para la infraestructura y el desplazamiento de los vehículos, se considerará una superficie máxima de 100 m^2 para la instalación del punto de carga y estacionamiento del camión.

Mediante una visita a terreno efectuada en el lugar con personal de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso, se constata que el terreno no posee espacio suficiente para la habilitación de más puntos de carga, por lo que, si se decide ampliar la flota de vehículos eléctricos, deberán habilitarse puntos de carga adicionales en otra inmediación.

La Figura 17 a continuación, representa la instalación del punto de carga en las inmediaciones del cuartel cárcel, considerando el plan piloto con dos puntos de carga.

Figura 17: Ubicación estación de carga de vehículos eléctricos

La ubicación del punto de carga que se presenta en la Figura 17, actualmente se encuentra con escombros y partes en desuso de vehículos antiguos, por lo que deberá realizarse un trabajo de limpieza del sector previo a la instalación del punto de carga. Se define este sector para la estación de carga, debido a que en dicho lugar no entorpece con el espacio para guardar el resto de la flota de camiones municipales, no obstruye el paso hacia el taller ubicado en el lugar y no se interpone con el camino interno para el tránsito de vehículos del cuartel.

6.1.2 Proceso de recolección

El proceso de aseo ordinario que realizará el camión eléctrico comenzará a las 6:30 AM con la llegada del encargado de camiones, quien constatará que la carga del camión se encuentre óptima para efectuar el servicio. Además, el encargado consigna en formato papel el destino del chofer asignado. Se realizará una inspección visual al camión para corroborar que está todo en orden para empezar el servicio acorde a un checklist que contenga aspectos básicos del estado del vehículo que permita en caso de falla, servir como guía al especialista encargado de su mantención.

Desde la estación de servicio, el camión se dirige a buscar a la cuadrilla de poncheros asignados, para luego desplazarse al recorrido asignado. Una vez en el lugar, los poncheros realizan un barrido de calles, de aproximadamente una hora, para luego iniciar la recolección puerta a puerta de los residuos domiciliarios en las rutas seleccionadas.

Al finalizar el recorrido, el camión lleva a su cuadrilla de poncheros de regreso al cuartel y posteriormente se dirige al Relleno Sanitario El Molle, donde se registra la carga depositada, hora de llegada, registro del camión y chofer a cargo. Estos datos se emiten mediante un ticket y se respaldan en planilla Excel, se realiza la descarga de los residuos recolectados y se regresa al Cuartel Cárcel para aparcar el vehículo. Finalmente, el camión se estaciona en la estación de carga.

El encargado de camiones es el responsable directo de velar por el estado de carga del camión, por lo que deberá contar con una capacitación respectiva sobre el funcionamiento del cargador, funcionamiento de la unidad de control y los tiempos de carga necesarios para el correcto funcionamiento del vehículo. El encargado de camiones

lleva un registro sobre las principales observaciones y desempeño que presentó el camión eléctrico durante la jornada.

El encargado de bodega llevará un registro diario en una planilla Excel del kilometraje del camión y de la carga eléctrica consumida, con estos datos se realizarán informes mensuales del consumo promedio del vehículo/km recorrido al director del Departamento de Aseo, que servirán como base para el análisis de factibilidad del servicio propuesto.

Por último, todos los responsables directos de la operación del vehículo deberán ser profesionales idóneos para el cargo, teniendo manejo sobre el uso del vehículo eléctrico y sus componentes principales, con el fin de prestar apoyo inmediato frente a situaciones de emergencias menores y operar de manera correcta el vehículo.

6.1.3 Especificaciones de servicios requeridos

6.1.3.1 Agua de lavado

Uno de los servicios principales que se requieren para la mantención de camiones recolectores es el lavado de estos. Debido al contenido que transportan, los camiones recolectores deben ser aseados frecuentemente para evitar la generación de malos olores, vectores infecciosos y para permitir el correcto funcionamiento del camión y sus partes que puede verse afectado por la adherencia de material de residuo en su superficie. La información respecto al manejo actual del lavado de camiones no fue proporcionada por lo que no hay certeza de como procede el servicio de aseo de Valparaíso en este ítem, sin embargo, se hace una recomendación acorde a las características del volumen y frecuencia de recolección de ciudades en un escenario similar.

El lavado de camiones recolectores debiese realizarse cada 3 días una vez finalizado el turno (luego del traslado al sitio de disposición), mediante un sistema que proporciona agua a alta presión y sin cepillos con el fin de alcanzar todos los huecos, ranuras y recovecos del camión cuya fisionomía es muy irregular.

Para necesidades de lavado rápidas y frecuentes como es el caso de las ciudades grandes que cuentan con muchos camiones en servicio, se utiliza un sistema de lavado de paso, se instalan plataformas por la cual circula el camión donde se lavan los bajos, se rocía

un producto químico espumoso que lo cubre completamente dejando un manto blanco en la superficie, posteriormente se aplica agua rotante a alta presión y finalmente se realiza un aclarado, el tiempo aproximado es de 1 minuto y medio.

A continuación, se presenta la Figura 18 de referencia de un sistema como el descrito en el párrafo anterior:

Figura 18: Sistema de lavado de camiones referencial

Fuente: (br.istobal.com, 2018)

El agua residual del proceso de lavado no constituye un residuo peligroso, no obstante, por las características del material transportado, es probable que contenga un alto contenido orgánico o de componentes ácidos que deterioren la calidad del agua, por lo que el sistema de lavado deberá contemplar un análisis del Residuo Industrial Líquido (RIL) generado para su desecho acorde a la normativa aplicable.

6.1.3.2 Mantención Mecánica

Los requerimientos de mantención mecánica para un vehículo eléctrico son distintos a los de un vehículo convencional, por lo que se requiere un servicio de mantención mecánica diferenciada al mantenimiento de los camiones recolectores convencionales. Se deberá contar con capital humano capacitado para el mantenimiento integral de los vehículos eléctricos, junto con los requerimientos necesarios para ello.

En Chile la formación y disponibilidad de capital humano en materia de electromovilidad contempla las siguientes profesiones y competencias:

- **Técnico Nivel Superior:** Consiste en la actualización de malla de la carrera Técnico en Mecánica Automotriz, incorporando temas referidos al mantenimiento, diagnóstico, fallas, reparaciones, entre otros asociados a vehículos eléctricos. Los Centros de Formación Técnica (CFT) que ofrecen esta malla son INACAP y DUOC UC, además de la Universidad Técnica Federico Santa María que imparte la carrera Técnico Universitario en Mecánica Automotriz.
- **Profesional**: Se refiere a las carreras de Ingeniería impartiendo ramos de electromovilidad que van desde la mecánica a desarrollos de electrónica de potencia, telemática, entre otros. El objetivo es entregar herramientas técnicas que permitan modelar, dimensionar, diseñar y analizar sistemas electrónicos, motores y equipos mecánicos en general asociados a la electromovilidad. Las universidades que imparten Ingeniería Civil Mecánica adaptada a la electromovilidad son: Universidad de Chile, Universidad Técnica Federico Santa María, Pontificia Universidad Católica, Universidad Tecnológica Metropolitana, Universidad de Santiago de Chile, Universidad Austral de Chile y Universidad San Sebastián.
- **Formación Continua**: Hace referencia a actividades como diplomados, cursos de especialización, congresos, seminarios de actualización y charlas, cuya finalidad es complementar los conocimientos en materia de electromovilidad. La oferta desarrollada por la academia de Chile se resume en la tabla a continuación:

Tabla 6: Oferta académica de formación continua de electromovilidad en Chile

Oferta académica	Institución
Diplomado de Movilidad Eléctrica	DUOC UC
Diplomado en Electromovilidad y Biocombustibles	Universidad Católica
Diplomado en Electromovilidad	Universidad Técnica Federico Santa María
Cursos de Especialización: Introducción a la Electromovilidad Tecnologías de la Electromovilidad Planificación de la ciudad y sistemas de transporte desde la Electromovilidad	Universidad de Chile
Curso de Electromovilidad	Universidad de Santiago de Chile
Talleres de especialización para la llegada de los 200 buses eléctricos de Metbus	Centro de Energía de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile
Taller de Sistemas Eléctricos	Universidad San Sebastián
Congreso E-movilidad	INACAP
Seminario internacional de Prospección Tecnológica en Electromovilidad	Universidad Técnica Federico Santa Marías
Seminario de Electromovilidad	Universidad San Sebastián

Fuente: Elaboración propia con datos de (Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2019)

Finalmente, instituciones como INACAP y la Universidad Técnica Federico Santa María han realizado certificaciones internacionales para los docentes que imparten materias de electromovilidad y modifican las mallas de las carreras asociadas para hacer frente a este nuevo desafío.

6.1.4 Tecnología del servicio

6.1.4.1 Especificaciones del vehículo eléctrico

El vehículo eléctrico seleccionado para el servicio piloto propuesto en este estudio es el Camión recolector eléctrico modelo BYD T8A.

Este vehículo se utilizó en Brasil, país que se ha comprometido a promover la recolección de basura usando un transporte 100% eléctrico, para así reducir la contaminación que este servicio genera y promover políticas de transporte más amigables con el medio ambiente. Para ello, Brasil firmó un acuerdo con la empresa China tecnológica BYD por la compra de 200 camiones recolectores totalmente eléctricos. La colaboración con la agencia brasileña de recolección de basura Corpus Saneamento e Obras Ltd, recibió los primeros 20 camiones modelo BYD T8A para operar en la ciudad de Indaiatuba, São Paulo en septiembre del año 2018. La etapa inicial del plan considera la implementación de 36 camiones recolectores de basura eléctrico en 3 ciudades: Indaiatuba, Salto y Rio de Janeiro, los cuales se incrementarán de manera paulatina en etapas hasta el 2023 alcanzar los 200 camiones eléctricos en servicio de recolección de basura.

BYD construyó dos fábricas en la ciudad brasileña Campinas desde que ingresó al mercado en 2010, desde donde fabrican baterías, autobuses, paneles solares, taxis eléctricos entre otros vehículos, contribuyendo al mercado de vehículos eléctricos y a la incorporación de empleos en la zona. Chile también se ha visto impactado por los servicios de la marca BYD, ya que el transporte público eléctrico Red bus que circula en la región Metropolitana corresponde a esta marca con una flota de 200 buses eléctricos.

El camión recolector eléctrico BYD modelo T8A se puede operar a más de cien kilómetros con una sola carga de tres horas, tiene un peso de hasta 21 toneladas cuando está completamente cargado y una potencia máxima de salida de 180 kW. Cuenta con 4 baterías ion-litio LFP (Fosfato de hierro y litio) que permite una autonomía máxima de 204 km. La marca declara que esta batería no presenta emisiones, ya que no contienen metales pesados y el electrolito no es tóxico, por lo que no emiten contaminantes desde la producción hasta su uso final. Este modelo cuenta con freno regenerativo y transmisión automática de 4 velocidades. Además, se indica que cada uno de estos camiones ahorra aproximadamente 14 toneladas de CO_2 por mes versus un vehículo convencional para el mismo uso.

Se detallan a continuación las especificaciones del camión recolector BYD T8A (BYD Brasil, 2016) (BYD Singapore, 2017). En la Figura 19 se presenta una imagen referencial del vehículo eléctrico seleccionado.

Figura 19: Vehículo eléctrico modelo BYD T8A

Fuente: (BYD Brasil, 2016)

- **Dimensiones y pesos:**
  - Longitud: 6.950 mm
  - Ancho: 2.500 mm
  - Altura: 3.000 mm
  - Peso vacío (4x2): 7.850 kg
  - Distancia entre ejes: 4.500 mm
  - Peso bruto total: 21.000 kg
  - Capacidad de carga útil + carrocería: 13.850 kg
  - Gradiente de rampa > 30°
- **Motor Eléctrico:**
  - Motor síncrono de imán permanente, AC.
  - Potencia máxima de salida de 180 kW

- 1.500 Nm de torque disponible desde 0 RPM
- Velocidad máxima de 85 km/h
- Rango de viaje: 165 km
- Radio de giro: 10.000 mm

- **Chasis:**
  - Suspensión tipo leaf spring
  - Frenos de disco neumático, con freno regenerativo
  - Llantas 10.000 R20
- **Batería y sistema de carga:**
  - 4 baterías BYD de ion de litio LFP, capacidad de carga rápida
  - Capacidad de baterías: 175 kWh
  - Vida útil de 10 años, considerando los 4.000 ciclos de carga al 80 % de batería.
- **Sistema de carga**
  - Conector tipo estándar de la empresa
  - Potencia de recarga AC 100 kW
  - Capacidad de carga: 40 kW
  - Tiempo de carga entre 2-4.5 horas, con 380V AC
- **Transmisión**
  - Automática de 4 velocidades
- **Carrocería**
  - Carga de recolección trasera de 12 m^3
  - Compactación de hasta 16 toneladas por turno (medición empírica), dando un aproximado de 1.300 kg/ m^3

Un camión de recolección de basura en base a combustible diésel tiene un rendimiento aproximado de 1,28 km/L (Martí, 2016), el rendimiento promedio de un camión diésel regular es en promedio de 2,9 km/L (Hansen, 2022), es decir el rendimiento de un camión de recolección equivale a un 44% de un camión de carga para otros usos.

De este modo, si asumimos un rendimiento de un 44% para el vehículo eléctrico seleccionado, su autonomía corregida corresponde a 73 km. Teniendo en cuenta que un

camión recolector en la comuna de Valparaíso recorre en promedio 55 km/día, y que los frenos regenerativos aumentan la autonomía del vehículo, el servicio puede realizarse completo sin complicaciones.

6.1.4.2 Especificaciones de estación o punto de carga

Para la aplicación del plan piloto se requiere implementar una infraestructura de recarga que permita enchufar a la red eléctrica el camión de recolección. Se establece necesario entonces, desarrollar un punto de recarga en el interior del cuartel cárcel, lugar que alberga los camiones recolectores luego de su labor de recolección.

Actualmente en Chile está en desarrollo el Pliego Técnico Electromovilidad "Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos" donde se establecerán las características, exigencias de seguridad y protecciones que debe tener la instalación de cargadores, como también las características y exigencias mecánicas, eléctricas y de diseño que deben tener los mismos. Sin embargo, el Ministerio de Energía elaboró una Guía de Buenas Prácticas en Movilidad Eléctrica (Ministerio de Energía, 2020), relacionada a la instalación de cargadores de modo de disminuir la asimetría de información que se presenta durante el proceso de elaboración de normativas de electromovilidad.

Esta Guía establece que las baterías de un vehículo eléctrico se cargan a través de corriente continua (DC). Las fuentes de energía que habitualmente se dispone en la red de distribución eléctrica del país está en corriente alterna (AC), por lo que se vuelve necesario hacer la transformación de corriente de AC a DC, lo que puede lograrse a través de un cargador interno del vehículo o de un cargador externo que contenga el conversor AC/DC. La Figura 20 esquematiza de mejor forma la carga de un vehículo eléctrico:

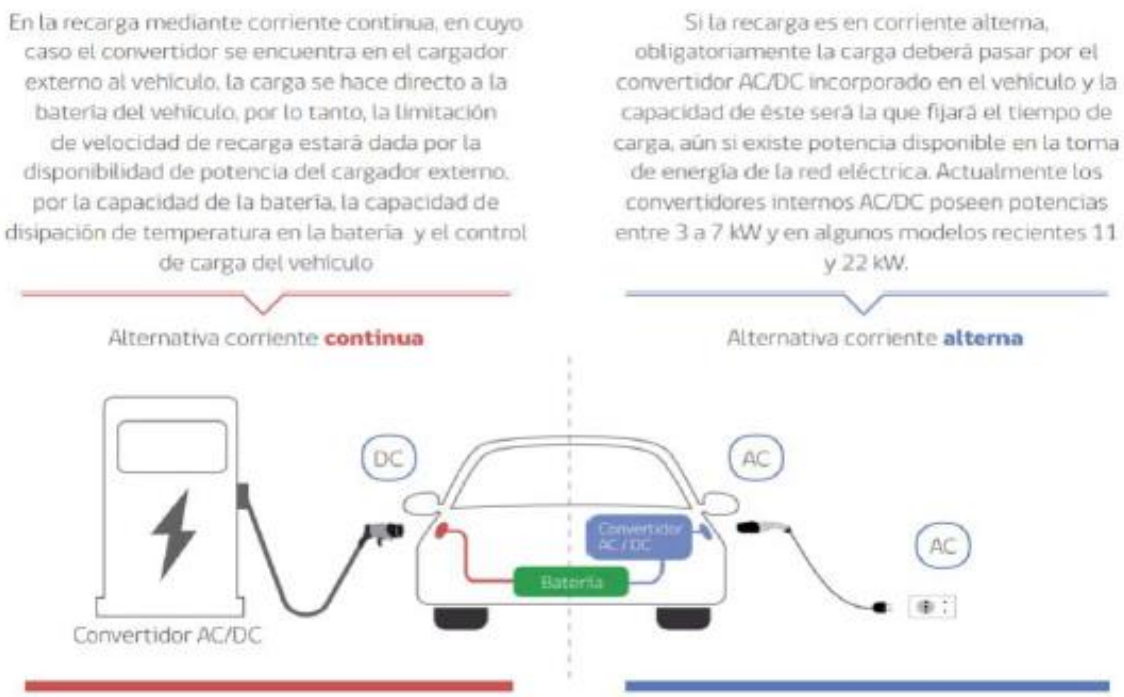

Figura 20: Alternativas de carga de vehículos eléctricos

Fuente: (Ministerio de Energía, 2020)

La carga del vehículo puede ser de cuatro modos según la norma española IEC-6185-1, y se resumen a continuación:

- **Modo de carga 1: enchufe no dedicado**

La conexión es a una toma de corriente alterna estándar de una instalación eléctrica existente, sin protecciones adicionales ni control dedicado a la carga del vehículo.

La batería del vehículo toma la energía eléctrica desde el convertidor AC/DC incorporado en el vehículo. Tiene potencias entre 3,7 kW hasta 11 kW.

- **Modo de carga 2: enchufe no dedicado con protección y control incorporado en el cable**

La conexión al vehículo se realiza desde un cable que tiene incorporado un control de carga del vehículo, el que cuenta con un sistema de seguridad, de comprobación de la toma de tierra, protecciones y selector de velocidad de carga.

La conexión es AC, por lo que se utiliza un enchufe estándar, y entre el enchufe y el vehículo se incorpora un piloto control de carga. La batería del vehículo toma la energía eléctrica desde el convertidor AC/DC incorporado en el mismo. Tiene potencias entre 3.7 kW y 22 kW.

- **Modo de carga 3: enchufe dedicado**

Este modo de recarga es una conexión del vehículo a la red, utilizando un circuito y equipamiento de control incorporado en el cargador. Este modo incorpora la protección de sobrecarga, cortocircuito, diferencial, puesta a tierra y un piloto control de carga entre el cargador y el vehículo eléctrico.

En este tipo de recarga, el vehículo eléctrico se conecta al cargador (caja de pared o tipo poste) mediante un cable especial, con conectores como los que se presentan en la Figura 21.

El cargador incorpora un control inteligente que se encarga de gestionar la seguridad y proceso de carga en conjunto con el control del vehículo. Tiene un potencial entre 3,5 hasta 43.5 kW.

El modo 3, junto al modo de carga 2, son los de uso más extendido, ya que presentan mayores condiciones de seguridad y control. La conexión es en AC y la batería del vehículo toma la energía eléctrica desde el convertidor AC/DC incorporado en el vehículo.

Figura 21: Sistemas de carga AC

Fuente: (Ministerio de Energía, 2020)

- **Modo de carga 4: cargador externo**

Se realiza en corriente continua, por lo que el convertidor AC/DC se encuentra en el cargador y es de mayor potencia que el convertidor interno del vehículo, lo que se traduce en menor tiempo de carga de la batería. La infraestructura del cargador es mayor y más costosa. Su uso suele ser en lugares públicos o abiertos a terceros. Las potencias son mayores a 50 kW y se tiene un alto nivel de control de carga.

El tiempo de carga dependerá de diversos factores, los principales son la potencia disponible en el cargador y la capacidad de almacenamiento de energía de la batería que posea el vehículo, pero también influyen otros como la potencia de carga máxima permitida o el control de la temperatura de la batería.

Debido a las especificaciones mencionadas en el punto anterior del camión eléctrico BYD T8A y de la posibilidad de realizar una recarga de baterías en horario nocturno, la Guía de buenas prácticas sugiere el modo de carga 3 (lenta) o 4 (rápida) para puntos de recarga en estacionamientos, que representan una carga lenta o rápida respectivamente y con cargador de corriente alterna.

Las operaciones realizadas con el camión recolector eléctrico BYD T8A han demostrado que, si se utiliza un cargador lento, su recarga se llevará a cabo en 6,5 horas, mientras que, si se utiliza un cargador rápido, se cargará en 3,3 horas. Es por lo anterior, que se deberá elegir un modo 3 o 4 según las horas requeridas para la carga y la potencia que se desee administrar para el punto de carga, lo que impactará en las horas que le lleva al camión recargarse. La marca BYD, se encarga de realizar las instalaciones de puntos de carga para facilitar la integración de esta infraestructura.

El cargador a utilizar corresponde al EVA080K tal como se indica en la Figura 22, y en las tablas posteriores se detallan las características físicas y eléctricas del cargador marca BYD antes mencionado.

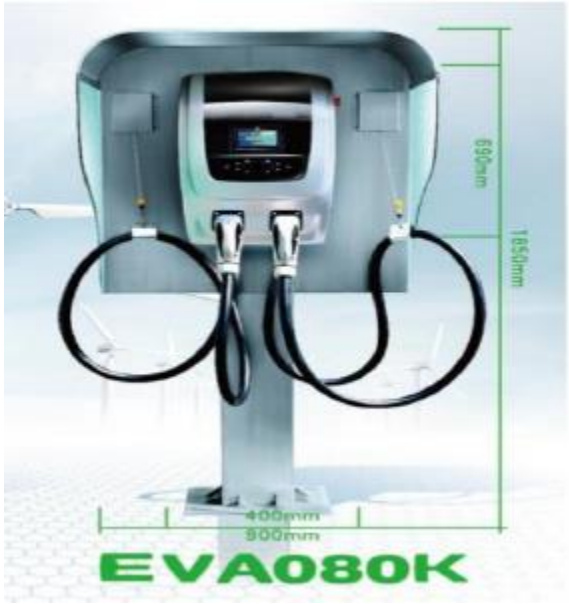

Figura 22: Cargador EVA080k

Fuente: (BYD)

Tabla 7: Características eléctricas del cargador BYD modelo EVA080k

Detalle	Características eléctricas
Voltaje de entrada nominal	380 VAC 3-phase
Corriente de entrada	< 126 A
Potencia de entrada	≤ 80 kW
Frecuencia	50 Hz
Voltaje de salida	380 VAC 3-phase
Corriente de salida	≤ 126 A
Potencia de salida	≤ 80 kW
Tipo de conector	GB/T

Fuente: (BYD)

Tabla 8: Características físicas del cargador BYD modelo EVA080k

Detalle	Características físicas
Longitud	690 mm
Ancho	400 mm
Altura	200 mm
Peso	35 kg
Cantidad de conectores de carga	2
Largo de cable de carga	3 m
Modo de fijación	Montado en la pared

Fuente: (BYD)

Tabla 9: Características de seguridad del cargador BYD modelo EVA080k

Detalle	Características de seguridad
Protección a cortos circuitos	Si
Protección a excesos de temperatura	Si
Protección de iluminación	Si

Fuente: (BYD)

Tabla 10: Otras características del cargador BYD modelo EVA080k

Detalle	Otras características
Enfriamiento	No
Temperatura de operación	25.50 °C
Display	Pantalla touch, luces LED

Fuente: (BYD)

A continuación, se presenta un esquema general de los elementos que componen una estación de carga:

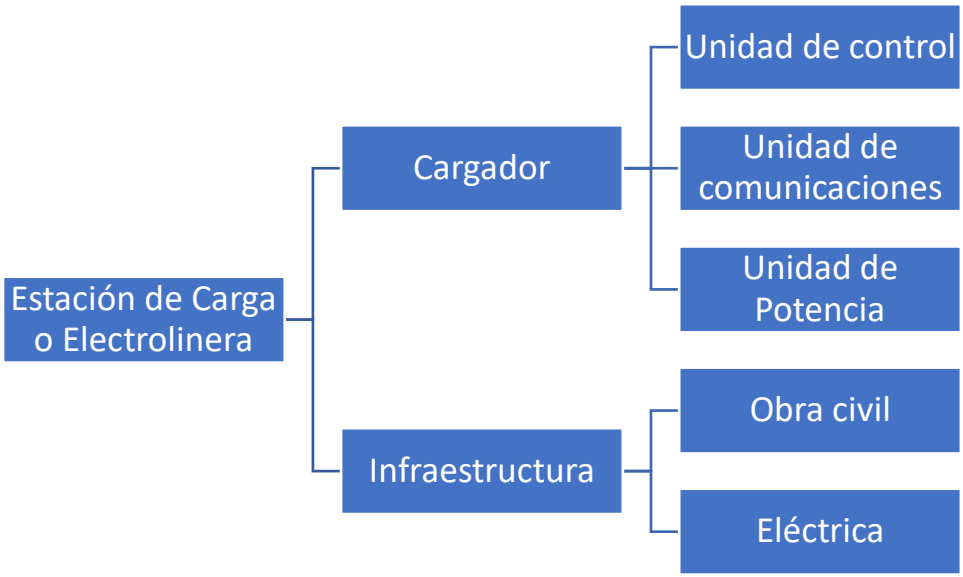

Figura 23: Esquema general de los componentes de una estación de carga

Fuente: Elaboración propia

Unidad de control es el sistema central para la administración de carga y energía. Contiene la unidad de comunicación que se conecta con el backend del proveedor elegido a través de la nube con el fin de proporcionar gestión en línea para supervisar la operación. Cada unidad de potencia alimenta a una o dos unidades de usuarios dependiendo de la configuración deseada.

Respecto a la infraestructura se debe considerar la ejecución de obras civiles tales para la habilitación física de la estación de carga, además de la infraestructura eléctrica correspondiente a aquellas obras requeridas para la ubicación de circuitos, transformadores y de subestaciones eléctricas.

6.1.5 Aspectos Ambientales

6.1.5.1 Emisiones y Contaminación

Los vehículos 100% eléctricos no emiten gases de forma directa, por ende, la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) depende únicamente de la matriz energética de generación eléctrica del país o sector, así, si la matriz eléctrica se compone de energías renovables, la emisión de GEI asociada a la electromovilidad es cero. En Chile, debido a la composición de la matriz eléctrica se estima que un vehículo eléctrico emite alrededor de 3 veces menos GEI que un vehículo convencional. Además, el uso de vehículos eléctricos

ayuda a disminuir la contaminación local de las zonas urbanas, por lo cual están exentos a restricción vehicular.

Por otra parte, los vehículos eléctricos emiten menos ruido en comparación a un vehículo a combustión interna, este punto resulta relevante para camiones recolectores de gran tamaño, puesto a que transitan por zonas pobladas y generan ruidos molestos durante su operación.

6.1.5.2 Generación de Residuos

Una de las principales ventajas del uso de vehículos eléctricos en comparación con vehículos convencionales es la reducción de residuos peligrosos generados al no utilizar lubricantes en el motor. Sin embargo, se generan otros residuos importantes que deben considerarse.

- **Residuos Industriales Líquidos**

Un residuo líquido importante a considerar de la operación de camiones recolectores es el agua de lavado de los camioDnes.

Respecto al efluente resultante del lavado existen dos opciones, un mecanismo de recuperación para la reutilización de agua dentro del mismo proceso de lavado, o la disposición del efluente cumpliendo con lo determinado en el Decreto Supremo 609/1998 del Ministerio de Obras Pública, que establece la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a sistemas de alcantarillado.

- **Residuos Sólidos**

Debido al uso de camiones eléctricos no se generan residuos de filtros contaminados (filtros en el sistema de escape de un vehículo a combustión), ni se generar residuos peligrosos asociados al sistema de lubricación del motor a combustión. Además, el sistema de frenos regenerativos prolonga la vida útil de estos disminuyendo el desgaste de los frenos que es una de las fallas más comunes en camiones de recolección. Sin embargo, el uso de baterías genera una problemática que debe ser resuelta. Actualmente debido a la composición fisicoquímica de estas no es posible someterlas a un proceso de reciclaje o revalorización para la totalidad de sus componentes, es por eso que el manejo de las baterías consiste únicamente en la disposición final en rellenos de seguridad que inertiza los

residuos peligrosos con el fin de evitar daños en la salud de las personas, animal, vegetal y del medio ambiente Los componentes de las baterías son considerados residuos peligrosos debido a que presenta un riesgo tanto para la salud humana como para el medio ambiente, pero a la vez presentan una oportunidad ya que sus componentes esenciales son valorizables y factibles de recuperar.

Por otra parte, las baterías están consideradas como producto prioritario en el marco de la Ley REP. Esta ley es relativamente nueva y ha comenzado a operar de forma gradual, implementando a la fecha la aplicación de esta para dos de los seis productos prioritarios definidos, en efecto los estándares que regularán la recolección y tratamiento de pilas y baterías aún no han sido definidos, es por ello que a la fecha no existe una obligación legal de hacerse cargo del reciclaje, tratamiento o gestión de los residuos generados por la baterías de vehículos eléctricos que incluye principalmente Litio pero en ocasiones otros metales pesados como Níquel, Cobalto, Manganeso y sales. Los componentes recuperados de las baterías pueden convertirse en materia prima para la fabricación de nuevas baterías si se les aplica el tratamiento adecuado. No obstante, a pesar de que se desconoce la fecha de aplicación de la ley a baterías, es una realidad que ocurrirá dentro del corto plazo es por esto que se hace necesario contar con alternativas para su gestión. Actualmente en Chile no existen empresas que se dediquen al reciclaje de baterías de litio de vehículos, si las hay para baterías de litio de otros aparatos electrónicos cuyo proceso de separación de los componentes es más sencillo y presenta menos riesgos.

La Ley REP considera también dentro de sus productos prioritarios los neumáticos, estos sufren un severo desgaste debido a los arranques y frenadas constantes de los camiones recolectores, la vida útil de los neumáticos es menor al promedio de vehículos y por ende es necesario adoptar medidas para la gestión de estos.

Se desconoce el actual sistema de gestión de neumáticos en desuso que lleva a cabo el servicio de aseo de la, sin embargo, se propone generar alianzas con empresas proveedoras de neumáticos que tengan lineamientos de trabajo acorde a la pronta implementación de la Ley REP para este producto prioritario, debido a que la meta para el año 2021 es del 50% de los Neumáticos Fuera de Uso (NFU) a partir del año inmediatamente anterior, llegando al 90% de recuperación a partir del año 2028.

6.2 Análisis económico

6.2.1 Antecedentes del Mercado

El mercado nacional no tiene presencia del servicio que se propone en este estudio, sin embargo, el uso de vehículos eléctricos se ha implementado de manera paulatina en flotas de transporte de pasajeros y de carga, algunos ejemplos de ello:

- Buses eléctricos RED: este es el principal caso de implementación de buses en Latinoamérica, una flota de buses eléctricos del fabricante BYD en reemplazo de los convencionales buses diésel, ingresados a RED (Red Metropolitana de Movilidad) por el operador Metbus con la colaboración de ENEL. Al año 2020 cuentan con una flota de 285 buses eléctricos.
- Camiones eléctricos de Reparto: CCU comenzó con cuatro camiones eléctricos pequeños modelo CitEcar 1,5 ton para el reparto en el centro de Santiago y un camión pesado modelo BYD T8A con capacidad de 13 ton. La meta de la compañía es llegar al 2030 con una flota de al menos 50% de vehículos eléctricos.
- Furgones en flota operativa de empresa de Agua Potable: este es uno de los primeros casos de uso de vehículos eléctricos en Chile como parte de una flota operativa. Los furgones de la flota Aguas Andinas están trabajando desde 2016. Para lo anterior cuentan con tres furgones modelo Kangoo Z.E, tres cargadores Circutor de carga lenta.
- Bus interurbano Eléctrico: turbus implementará este bus eléctrico en modo piloto en Rancagua, piloto que tiene por objetivo impulsar la electromovilidad a todas las regiones del país a través de los viajes interurbanos en un futuro. Además, cuenta con una flota de buses eléctricos para el traslado desde el centro de Santiago hacia el Aeropuerto de la ciudad.
- Vehículos eléctricos en arriendo: la empresa Europcar Tattersall puso a disposición de su clientela una flota de autos eléctricos para generar una mayor cercanía a este tipo de tecnología, cuentan con una flota superior a 50 vehículos, cuyos modelos son Hyundai Ioniq Eléctrico, Nissan Leaf, Renault Zoe y Kangoo Z.E, Citroen Berlingo, Peugeot Partner y Pette.

- Taxis ejecutivos eléctricos en Santiago: existen en operación 30 taxies ejecutivos gracias a la alianza estratégica entre Engie como proveedor y E-mov y Transvip como operadores. Los taxies son modelo Hyundai Ioniq Eléctrico y se instalaron cargadores en cada operador.

La compañía BYD en Latinoamérica para el año 2019 alcanza una cobertura del 71% del mercado de buses 100% eléctricos, siendo Chile el país que lidera el ranking de la marca con la mayor flota de buses del continente. Por otra parte, la empresa BYD cuenta con sede en Brasil, y ha generado alianzas con el Ministerio de Energía que permiten la introducción de sus vehículos al mercado nacional.

6.2.2 Criterios de Selección Económica

Para analizar la rentabilidad de un proyecto, es necesario utilizar ciertos indicadores económicos para la evaluación de inversiones, estos pueden asegurar, bajo cierto criterio de riesgo, la viabilidad económica del proyecto. Los criterios a utilizar para juzgar la rentabilidad de la inversión deben cumplir con las siguientes condiciones:

1. Resumir en pocos indicadores cuantitativos, la información para la toma de decisiones
2. Deben ser aplicables a proyectos comparables entre sí, a modo de estandarizar el análisis
3. El cálculo de los indicadores no debe depender de otros posibles proyectos

Estos índices requieren de ciertas variables como el flujo de caja del proyecto (FC), la tasa de descuento o costo de oportunidad (d) del capital, y el horizonte de evaluación del proyecto (n). Su objetivo es consolidar la información acerca del proyecto, y determinar finalmente cuál será su rentabilidad y el valor que agrega a la inversión inicial.

Primero se debe decidir la duración de vida del proyecto y en cuántos períodos se va a dividir, luego se determina la tasa de costo de oportunidad que indica la mejor tasa que se podría obtener, invirtiendo el mismo dinero en otro proyecto con un riesgo similar; calcular el monto de la inversión inicial y flujos de fondos netos para cada período.

Los indicadores más usados por los expertos financieros en la evaluación de proyectos de inversión son el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recuperación de Capital (PRC) o más conocido como Payback.

Valor Actual Neto (VAN): corresponde a la actualización de los flujos de caja futuros que generará el proyecto, a cierta tasa de interés, y su comparación con la inversión inicial. Se basa en el concepto del valor del dinero en el tiempo, esto significa que incluso con una inflación mínima, un peso de hoy puede comprar menos que un peso de hace un año. El VAN permite conocer en términos de pesos actuales el valor total de un proyecto que se extenderá por un prolongado período de tiempo, y que puede combinar flujos positivos (ingresos) y negativos (costos). Para ello emplea una tasa de descuento que suele considerar la inflación o el costo de un préstamo. Usualmente, la tasa que se aplica es el coste medio ponderado del capital de la empresa. Este indicador mide la repercusión económica del proyecto, en términos de coste de capital y como beneficiará en términos de ganancia económica. Su fórmula es:

$$VAN = \sum_{i=0}^{n} \frac{FC_i}{(1+d)^n}$$

Para interpretar este índice hay que evaluar 3 casos:

VAN > 0, quiere decir que el proyecto es rentable respecto a la tasa que se ha tomado como referencia.

VAN = 0, indica que es indistinto, pues el proyecto rinde lo mismo que la tasa de costo de oportunidad.

VAN < 0, el proyecto no es rentable respecto a la tasa de referencia.

Tasa Interna de Retorno (TIR): este indicador se relaciona con el VAN, ya que determina cuál es la tasa de descuento que hace que el VAN de un proyecto sea igual a cero, entonces se expresa como porcentaje. En otras palabras, es el interés mínimo a partir del cual la inversión es rentable. Este indicador mide la repercusión económica del proyecto en términos de rentabilidad.

El cálculo de TIR nace de la ecuación del VAN, haciendo este término cero y despejando “TIR”:

$$0 = \sum_{i=0}^{n} \frac{FC_i}{(1 + TIR)^n}$$

Este índice se interpreta de la siguiente manera:

TIR > d, conviene invertir, ya que el proyecto entrega un retorno mayor a la tasa de costo de oportunidades.

TIR = d, neutral. En este caso la inversión se recomienda solo si mejora la posición de la empresa en el mercado.

TIR < d, conviene rechazar, pues entrega un retorno menor a la tasa de costo de oportunidad.

Ambos indicadores simplifican el análisis de flujo de fondos, permitiendo comparar los resultados proyectados.

Payback: también conocido como período de recuperación de capital (PRC). Corresponde al periodo que tarda en recuperarse la inversión inicial a través de los flujos de caja generados a lo largo del proyecto. La inversión se considera recuperada una vez que los flujos de caja acumulados de la operación del proyecto superan la inversión inicial, en moneda actual. Este indicador mide la liquidez del proyecto.

El período de recuperación de capital puede variar dependiendo del tipo y magnitud del proyecto. Su fórmula es:

$$\sum_{i=0} \boldsymbol{FN_i} \geq \mathbf{0}$$

Payback cercano 1, podría entenderse como un proyecto de gran liquidez.

Payback de 3 años, puede entenderse como liquidez media.

Payback de 6 años o más, se considera más bien de pequeña liquidez.

6.2.3 Alternativas de financiamiento

Los municipios a nivel nacional cuentan con distintas fuentes de ingreso para financiar el gasto municipal, estos ingresos se diferencias entre los recursos propios de cada municipio y recursos externos.

Los recursos propios suelen ser la mayor fuente de financiamiento para cada municipio, entre ellos se incluye el Fondo Común Municipal (FCM) que corresponde a un sistema de reparto solidario, que se genera cuando cada municipalidad del país entrega parte de sus Ingresos Propios Permanentes (IPP), de modo que el FCM se reparte entre aquellas comunas con altos índices de pobreza. Los IPP a su vez, son generados por cada municipio debido a la gestión de la comuna, se compone del impuesto territorial (contribuciones), permisos de circulación de beneficio municipal, patentes de beneficio municipal, derechos de aseo, otros derechos, renta de la propiedad, licencias de conducir y similares, multas e intereses, concesiones, patentes acuícolas, patentes mineras y casinos.

Los ingresos percibidos por la comuna de Valparaíso para el año 2019 se detallan en la tabla a continuación:

Tabla 11: Descripción Recursos Propios comuna de Valparaíso, 2019

Descripción	Monto [UF]
Fondo común municipal	681.115
Ingresos propios permanentes	898.170
Ingresos por patentes municipales de beneficios municipal	278.444
Ingresos por permisos de circulación de beneficio municipal	77.626
Impuesto territorial de beneficio municipal	211.946
Patentes mineras	188
Casinos de juegos	0
Otros	621.768
Total de ingreso municipal percibido	**2.769.257**

Fuente: (Subsecretaría de Desarrollo Regional, 2019)

Respecto a los recursos externos, corresponde a fondos entregados por la Subsecretaría de Desarrollo Regional (SUBDERE), a los municipios que ejecutan proyectos o programas sociales, tales como el Programa de Mejoramiento Urbano, Programa de Mejoramiento de Barrios, Programa de Recuperación de Ciudades, entre otros. La Tabla 12 a continuación refleja los recursos externos percibidos para el periodo 2019.

Tabla 12: Descripción Recursos Externos de SUBDERE a comuna de Valparaíso, 2019

Descripción	Monto [UF]
Programa de Mejoramiento Urbano y Equipamiento Comunal	3.993
Programa de Mejoramiento de Barrios	0
Compensación de Predios Exentos de Pagos de Impuesto Territorial	26.620
Fondo de Incentivo al Mejoramiento de la Gestión Municipal	0
Fondo Nacional de Desarrollo Municipal	83.454
Fondo Nacional de Desarrollo Regional a Educación	116.210
Programa de Tenencia Responsable de Animales de Compañía	265
Programa de Recuperación de Ciudades	0
Programa Prevención y Mitigación de Riesgos	0
Programa Revitalización de Barrios e Infraestructura Patrimonial y Emblemática	0
Sistema Financiero Municipal	0
Compensación Censo	0
Total de ingreso desde la SUBDERE	**230.543**

Fuente: (Subsecretaría de Desarrollo Regional, 2019)

Así el total de ingresos para el municipio de Valparaíso corresponde a 2.999.800 UF, este monto se utiliza para cubrir todos los gastos del municipio, al año 2019, la comuna de Valparaíso incurre en los siguientes gastos.

Tabla 13: Gasto municipal Valparaíso, 2019

Descripción	Monto [UF]
Consumo de agua	1.500
Consumo de electricidad	106.032
Servicios de Aseo, Recolección de Basura y Vertederos	267.491
Servicios de Mantención e alumbrado público	33.429
Gasto en personal municipal	1.334.904
Gasto en bienes y servicios de consumo	623.416
Otros	463.702
Total gasto municipal	**2.830.475**

Fuente: (Subsecretaría de Desarrollo Regional, 2019)

Considerando los ingresos y egresos del fondo municipal, se cuenta con un saldo a favor de 169.325 UF, este fondo se destina para el financiamiento de los distintos proyectos sociales que ejecuta el municipio, adquisición de nuevos activos, mejoramiento de espacios municipales, entre otros. Este fondo permitiría solventar la inversión inicial del proyecto propuesto.

6.2.4 Costos

6.2.4.1 Costos de Capital

La inversión del proyecto corresponde a la adquisición del vehículo eléctrico (2 unidades), y la instalación y habilitación del punto de carga.

El año 2018, la empresa BYD realiza la venta de 200 camiones eléctricos modelo T8A al gobierno de Brasil por R$1,5 millones (Reales brasileños) cada uno, al 31 de diciembre de 2018 1 real brasileño equivalía a 178, 5 pesos chilenos, por lo que cada camión eléctrico se adquirió a un precio de $267.750.000 pesos chilenos

El valor actual (junio 2022) del precio del vehículo se actualiza mediante variación de IPC (Índice de Precios al Consumidor), con una variación del 21,7% para el periodo, el valor ajustado corresponde a $325.863.039 pesos chilenos ((INE), 2022).

Por concepto de importación, el vehículo está afecto al pago del derecho ad valorem de un 6% sobre su valor CIF (Costo mercancía + prima del seguro + valor de flete de traslado) y el pago del IVA (19%). El valor CIF lo define los costos que impone la empresa, para los ítems mencionados se estimará como un 10% del valor de adquisición del vehículo.

La Plataforma de Electromovilidad (Ministerio de Energía, Chile, 2020) en su módulo interactivo de evaluador de proyectos, indica que la instalación de un cargador eléctrico para un modo 3 de carga rápida, tiene un costo aproximado de $10.000.000.

Las obras civiles necesarias para la habilitación del punto de carga incluyen techumbre y loza de hormigón de 100 m^2. Se utilizará el valor referencial que brinda el evaluador de la empresa Sodimac para estos servicios, de $19.990/$m^2$ y $29.990/$m^2$ respectivamente.

Tabla 14: Detalle de costo de capital

Descripción	Valor unitario [CLP]	Cantidad	Valor total [CLP]	Valor total [UF]
Adquisición vehículo eléctrico	$325.851.750	2	$651.703.500	19.697
Impuestos	$93.695.412	2	$187.390.824	5.664
Instalación cargador	$10.000.000	2	$20.000.000	604
Obras civiles	$49.980	100 m^2	$4.998.000	151

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, un camión recolector convencional de características similares (dimensiones y capacidad) como los adquiridos en 2020 por el municipio de Valparaíso, tiene un costo aproximado de $122.984.554, considerando la adquisición de dos vehículos y sus respectivos impuestos, se tiene un monto total de inversión de $316.695.065, versus el costo de capital de $864.092.234 que implica el sistema propuesto, se traduce en una diferencia de inversión de $522.399.259 (15.789 UF).

Para efectos del flujo de caja, el costo de capital se considerará como el delta de inversión entre la alternativa de vehículo eléctrico y convencional. Además, se distingue entre activos depreciables (bienes físicos) y no depreciables.

6.2.4.2 Costos de Operación

El detalle de costos se diferenciará entre costos fijos y variables.

Costos fijos: Se entenderá como costos fijos aquellos que deben realizarse independiente del tipo de vehículo a utilizar, tales como mantenimiento rutinario del vehículo y sus partes, revisión de frenos, cambio de neumáticos, mantención de la unidad compresora de basura, entre otros.

Para determinar los costos fijos, se utiliza la información que proporciona el informe "Diagnóstico del Servicio de Aseo y Propuesta de Modelo de Gestión para la Ilustre Municipalidad de Valparaíso, 2012", se tiene el detalle de costos para los períodos 2009, 2010 y 2011. Se promedian dichos costos y se actualiza con la variación de UF del período, los costos del informe mencionado corresponden a una flota de 48 camiones, por lo que se determinará un costo unitario por camión y se trabajará en base a esos valores.

Respecto al costo de mantención de vehículos, se aplica un factor de 0,9 para cuantificar la disminución de costos asociados al sistema de combustión (lubricantes y componentes del motor convencional).

Tabla 15: Detalle de costos fijos

Descripción	Costo [CLP]	Costo [UF]
Mantención de camiones	$31.646.319	956
Disposición final	$12.188.813	368
Seguros Obligatorios	$746.056	23
Materiales trabajadores	$342.042	10
Indumentaria trabajadores	$219.903	7
Remuneraciones trabajadores	$49.803.597	1.505
Gastos generales de aseo	$915.444	28
Permiso de circulación camiones	$162.333	5
Seguro obligatorio	$29.458	1
Total	**$96.053.965**	**2.903**

Fuente: Elaboración propia

Costos variables: Los costos variables serán aquellos relativos al tipo de vehículo a utilizar para el servicio, ya sea vehículo a combustión (convencional) o vehículo eléctrico.

Respecto al servicio convencional, los costos variables corresponden al arriendo de vehículos y combustible.

Por el concepto de arriendo de vehículos para la flota de camiones recolectores, el municipio incurre en un gasto de 150 UF por vehículo (El Martutino, 2020), respecto al consumo de combustible, un camión recolector convencional tiene un consumo de 1,28 km/L de combustible (Martí, 2016), considerando un recorrido promedio de 55 km/día, el precio de combustible diésel 93 a $1.081 y un periodo de un año, se estima el consumo de combustible por vehículo.

Tabla 16: Detalle costos variables servicio convencional

Descripción	Valor unitario [CLP]	Valor unitario [UF]	Valor total [UF]
Arriendo vehículos	$4.963.025	150	300
Combustible	$16.953.965	512	1.025
Total	**$21.916.989**	**662**	**1.325**

Fuente: Elaboración propia

El principal costo operacional del servicio propuesto radica en el consumo energético para la carga de la batería del vehículo eléctrico. Las tarifas para el consumo energético diferencia entre cliente libre y regulado. Los clientes libres son aquellos que, producto de su alto nivel de consumo (sobre 5.000 kW de potencia), la ley reconoce la capacidad de negociar sus tarifas directamente con la generadora o distribuidora de electricidad, mientras que los regulados corresponden al segmento de clientes que no tienen tal capacidad y por tanto deben regirse por tarifas fijadas por las autoridades en base a directrices establecidas por ley.

La potencia que requiere el punto de carga corresponde a 80 kW, por lo que corresponde a un cliente regulado. Las opciones de tarifa para clientes regulados se describen en el Decreto N°11T/2016, diferenciados en clientes conectados en baja tensión (BT), conectados a líneas cuya tensión es menor o igual a 400 V, y clientes de alta tensión (AT), conectados a líneas de tensión superior a 400 V. Las especificaciones técnicas del vehículo indican un requerimiento de potencia nominal de 380 V en AC. Lo que corresponde a BT. Las tarifas para este segmento se detallan a continuación:

Tarifa BT1: opción de tarifa simple en baja tensión para clientes que cuenten con potencia conectada igual o menos a 10 kW. Esta opción es únicamente para clientes residenciales.

Tarifa BT2: opción de tarifa en baja tensión con potencia contratada, los clientes pueden contratar libremente una potencia máxima con la respectiva distribuidora, la que regirá por un plazo de 12 meses. Durante este periodo los clientes no pueden aumentar ni disminuir su potencia contratada sin el acuerdo de la distribuidora. Los consumidores podrán utilizar la potencia contratada sin restricción en cualquier momento durante el

periodo de vigencia, pero se le aplican cargos si se llegara a usar en hora punta. (de abril a septiembre entre 6 PM y 11 PM)

Tarifa BT3: opción de tarifa de baja tensión con demanda máxima de potencia leída. Se entiende por demanda máxima de potencia leída al mes, el valor más alto de las demandas integradas en periodos sucesivos de 15 minutos.

Tarifa BT4: opción de tarifa en baja tensión con demanda máxima de potencia contratada o leída, y demanda máxima de potencia contratada o leída en horas de punta. En esta opción existirán las siguientes modalidades de medición:

- BT4.1: medición de la energía mensual total consumida y contratación de la demanda máxima de potencia en horas de punta y de la demanda máxima de potencia
- BT4.2: medición de la energía mensual total consumida y de la demanda máxima de potencia leída en horas punta, y contratación de la demanda máxima de potencia.
- BT4.3: medición de la energía mensual total consumida, de la demanda máxima de potencia leída en horas de punta y de la demanda máxima de potencia suministrada.

Tarifa BT5: opción tarifaria en baja tensión para suministros no residenciales con demanda máxima de potencia leída en horas punta y demanda máxima de potencia suministrada con resolución cada 15 minutos y memoria de masa para su registro.

Se determina que la tarifa más conveniente a aplicar es la BT2, debido a que se puede contratar la potencia de acuerdo a las necesidades requeridas para la recarga de los camiones eléctricos. La tarifa está compuesta por:

- Cargo Fijo mensual: se factura todos los meses del año, independiente del consumo del cliente.
- Cargo por uso del sistema de transmisión y cargo por servicio público: se factura todos los meses a los clientes.
- Cargo por energía: se calcula multiplicando la potencia contratada por el precio unitario de energía ($/kWh)

- Carga por potencia contratada: se calcula multiplicando la potencia contratada por el precio de kW en baja tensión, es un pago mensual.

Del distribuidor Chilquinta, es posible obtener la tarifa para un cliente BT2 para la comuna de Valparaíso. La Tabla 17 detalla estos costos:

Tabla 17: Tarifa cliente BT2, Valparaíso

Tipo de cargo	Costo	Unidad
Cargo fijo mensual	1.324,39	$CLP/mes
Cargo por uso del sistema de transmisión	19,154	$CLP/KWh
Cargo por servicio público	0,508	$CLP/KWh
Cargo por energía	89,752	$CLP/KWh

Fuente: (Chilquinta, 2022)

Considerando una capacidad de carga de 40 [kW] por vehículo, la potencia nominal en AC de 380 [V], 3 horas de carga para cada camión, y un consumo eléctrico de carga de 96 [kWh] al considerar cargar el 80% de la batería, que es lo recomendado para proteger la vida útil de estas, y frecuencia de carga de lunes a sábado.

Tabla 18: Costos variables servicio propuesto

Descripción	Valor unitario [CLP]	Valor unitario [UF]	Valor total [UF]
Cargo fijo	$15.893	0,48	0,48
Cargo por uso del sistema de transmisión	$529.570	16,01	16,01
Cargo por servicio público	$14.045	0,42	0,42
Cargo por energía	$2.481.463	75	150
Total	**$3.040.971**	**92**	**167**

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se observa que el costo operacional del servicio convencional actual corresponde a 1.325 UF según lo descrito, mientras que para el servicio propuesto equivale a 167 UF, de este modo, se obtiene un ahorro en gasto operacional de 1.158 UF anualmente por el uso de vehículos eléctricos.

6.2.5 Ingresos

Los ingresos que percibe el municipio por concepto de aseo se conforman de los derechos de aseo por servicio ordinario, derecho de aseo por patente comercial, servicio de aseo extraordinario y Programa de Generación de Empleo (PGE).

La Ley de Rentas Municipales indica que el derecho de aseo municipal se pagará acorde al avalúo de las viviendas según el detalle de la Tabla 19.

Tabla 19: Modalidad de pago por derecho de aseo ordinario

Avalúo fiscal de la vivienda	Modalidad de pago
< 225 UTM	Exenta de pago
≥ 225 UTM y <469 UTM	Pago directo en Tesorería Municipal (anual)
> 469 UTM	Pago conjunto con el impuesto territorial (4 veces al año)

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación de los ingresos, se utiliza la información del informe (Centro de Economía y Administración de Residuos Sólidos, 2012), el documento detalla los ingresos percibidos por el municipio de Valparaíso únicamente por concepto de aseo para los años 2009, 2010 y 2011.

Para proyectar el ingreso en el periodo de evaluación, se determina un promedio entre los tres periodos reportados, y se actualiza su valor según la variación que entrega el INE, este valor corresponde al ingreso en el año 0, en adelante los valores de ingresos serán actualizados mediante inflación con la siguiente relación:

$$VF_n = VP * (1 + f)^n$$

Donde: VF_n corresponde al Ingreso en el periodo n, VP Ingreso en el año 0 y f a la tasa de inflación.

Tabla 20: Detalle de Ingresos del servicio de aseo en UF

Año	2009	2010	2011	Promedio	Ingreso
Derecho de aseo por contribuciones	41.344	40.953	38.069	40.122	836
Derecho de aseo por patente comercial	36.666	37.107	29.808	34.527	719
Derecho de aseo por cobro directo	10.372	9.136	17.676	12.395	258
Aseo Extraordinario	160	234	438	277	6
Remuneraciones trabajadores PGE	21.774	21.253	20.454	21.160	441
Total	**110.316**	**108.683**	**106.445**	**108.481**	**2.260**

Fuente: Elaboración propia

Otro ingreso que se considerará para la evaluación es la diferencia de costos que se genera entre los costos variables del servicio convencional (1.325 UF) y el servicio propuesto (167 UF), lo que corresponde a 1.158 UF, así el total de ingresos corresponde a 5.678 UF

6.2.6 Flujo de Caja

Acorde a la tabla de vida útil de bienes físicos del activo inmovilizado del Servicio de Impuestos Internos, vigente con Resolución N°43/2022, la vida útil de un camión de uso genérico se define en 7 años, por este motivo, el horizonte de evaluación para el proyecto se define en 7 años.

Debido a que los bienes se devalúan en el tiempo, se determina la depreciación de los activos fijos. La depreciación es la reducción del valor de un bien o propiedad asociado al desgaste por uso, paso del tiempo y obsolescencia. Se traduce en una herramienta tributaria que reajusta la renta líquida imponible, es decir, permite reducir la base imponible y, por ende, reducir el pago de impuesto por activos, esto se materializa con una disminución del valor del activo en los libros de la empresa.

Existen tres métodos válidos de depreciación en Chile, estos son:

Depreciación Normal: se aplican los plazos de depreciación establecidos por el SII según la tabla de vida útil fijada por este. Se aplica tanto para activos nuevos como para activos usados cuya vida útil aún no ha culminado.

Depreciación Acelerada: este mecanismo se aplica solo a bienes nuevos, ya sea adquiridos o importados cuya vida útil sea igual o superior a tres años. El activo debe depreciarse al igual que el caso anterior en los plazos que establece el SII para depreciación acelerada.

Depreciación Instantánea: consiste en un caso de depreciación que considera la vida útil del activo en 1 año. Este método es menos utilizado y se aplica generalmente a empresas cuyas ventas anuales son inferiores a 25.000 UF.

Debido a que la mayoría de los activos fijos excede su vida útil en el horizonte de evaluación, se utilizará el método de depreciación acelerada cuya fórmula está definida por:

$$D_t = \frac{VA - VS}{ent(\frac{n}{3})}$$

Donde:

D_t: Depreciación del activo en el periodo t

VA: Valor inicial del activo

VS: Valor de salvamento o valor residual del activo al final de su vida útil

$ent(n/3)$: Número entero del tercio de vida útil del activo (definido por el SII)

Así, el valor del activo en cada periodo t queda definido por:

$$V_t = V_{t-1} - D_t$$

A continuación, se presenta el listado de activos depreciables, su vida útil definida por el SII y el valor de salvamento (10% del costo de adquisición), en el caso del valor de salvamento para el vehículo se considera el valor de mercado para la batería del mismo.

Tabla 21: Depreciación de activos

Activo Depreciables	Valor Activo	Vida Útil	Valor de Salvamento	Depreciación
Vehículo eléctrico (2 unidades)	19.697	10	313	6.461
Estación de carga	604	20	60	91
Pavimento	91	20		14
Techumbre	60	20		9
Total	**20.452**	**-**		**6.575**

Fuente: Elaboración propia

El ingreso para la evaluación económica será definido como la diferencia monetaria entre el costo del servicio convencional versus el servicio propuesto más los ingresos operacionales que se mantienen mencionados en el punto 6.2.5, con esto se busca determinar la rentabilidad del cambio de tecnología del servicio en el horizonte de evaluación de 7 años

Los indicadores financieros utilizados corresponden a una tasa de inflación de 7,1%, tasa imponible de 27%, tasa de descuento para proyectos sociales de 6% y UF al 30 de junio de 2022 de $33.086,83.

Tabla 22: Resumen Flujo de Caja del Proyecto

Año	0	1	2	3	4	5	6	7
Ingresos Operacionales (+)		$5.678	$6.081	$6.513	$6.975	$7.471	$8.001	$8.569
Egresos Operacionales (-)		$5.806	$6.218	$6.660	$7.133	$7.639	$8.182	$8.762
Utilidad Operacional	**$0**	**$128**	**$137**	**$147**	**$158**	**$169**	**$181**	**$193**
Depreciación (-)		$6.575	$6.575	$6.575				
Interés Crédito CP								
Interés Crédito LP (-)								
Pérdida Ejercicio Anterior		$0	$6.703	$13.415	$20.136	$20.294	$20.463	$20.643
Venta de Activo								$469
Utilidad Antes de Impuestos	**$0**	**$6.703**	**$13.415**	**$20.136**	**$20.294**	**$20.463**	**$20.643**	**$20.367**
Impuestos	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
Utilidad Después de Impuestos	**$0**	**$6.703**	**$13.415**	**$20.136**	**$20.294**	**$20.463**	**$20.643**	**$20.367**
Depreciación (+)		$6.575	$6.575	$6.575				
Pérdida Ejercicio Anterior (+)		$0	$6.703	$13.415	$20.136	$20.294	$20.463	$20.643
Valor Libro								$388
Amortización Crédito CP (-)								
Amortización Crédito LP (-)								
Recuperación Capital de Trabajo (+)								
Flujo de Caja Antes de Inversión	**$0**	**$128**	**$137**	**$147**	**$158**	**$169**	**$181**	**$664**
Inversión Activos Depreciables	$13.018							
Inversión Activos No Depreciables	$3.526							
Inversión Capital de Trabajo								
Flujo Antes de Financiamiento	**$16.544**	**$128**	**$137**	**$147**	**$158**	**$169**	**$181**	**$664**
Crédito CP								
Crédito LP								
Flujo de Caja Neto	**$16.544**	**$128**	**$137**	**$147**	**$158**	**$169**	**$181**	**$664**
Valor Presente	**$16.544**	**$121**	**$122**	**$123**	**$125**	**$126**	**$127**	**$442**
Valor Acumulado	**$16.544**	**$16.665**	**$16.787**	**$16.911**	**$17.036**	**$17.162**	**$17.289**	**$16.847**

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla resumen, la evaluación económica no es favorable debido a que los costos del servicio de aseo exceden los ingresos del mismo, el VAN obtenido para el proyecto es negativo, es decir hay un déficit de 17.162 UF equivalente a $567.827.590, a causa de esta condición no es posible obtener el TIR ni el paybcak. Sin embargo, es importante destacar que, si bien los indicadores económicos son desfavorables para la inversión, se trata de un proyecto social cuyo beneficio es superior a lo económico. Por otra parte, con el servicio propuesto versus el servicio convencional se genera un ahorro por unidad de camión de 1.158 UF anual solo por concepto de mantenciones, equivalente a $38.311.544.

7 CONCLUSIONES

Como se ve reflejado en los indicadores de gestión del Servicio de Aseo de la comuna de Valparaíso, existen problemas de gestión de sus residuos, situación que se ha arrastrado de administraciones anteriores debido a la tercerización del servicio de recolección de residuos y las complejidades propias de la comuna debido a su geografía.

Frente a esta problemática, la actual administración busca mejorar el servicio de recolección implementando nuevas tecnologías al servicio e invirtiendo en conseguir una flota de camiones recolectores propia del municipio.

En este contexto se propone la implementación de un plan piloto consistente en la adquisición de dos vehículos eléctricos para la recolección de residuos.

La electromovilidad se ha posicionado paulatinamente en el mercado automotriz nacional debido a las múltiples ventajas que presenta, tales como la disminución del ruido, generación de residuos y de GEI producto de la combustión interna de los vehículos, el reemplazo de combustibles fósiles, entre otros. Su principal desventaja corresponde al costo de adquisición de estos vehículos en comparación con un vehículo convencional y a la poca autonomía del vehículo. Sin embargo, el desarrollo tecnológico ha acortado la brecha, permitiendo el acceso a vehículos del tipo eléctrico para diferentes usos.

Como se expone en el estudio, los camiones recolectores de residuos en la comuna de Valparaíso recorren en promedio 55 km/día, los tramos de traslado son acotados, los vehículos se desplazan a baja velocidad y realizan constantes frenadas y desaceleraciones, estas condiciones son positivas para enfrentar la poca autonomía que posee el vehículo eléctrico, el modelo escogido posee una autonomía promedio es de 165 km, utilizando un factor de corrección en base a las condiciones de un camión recolector de basura, se obtiene una autonomía corregida de 72 km, por lo que el recorrido se puede realizar sin inconvenientes.

No obstante, al realizar el estudio económico del proyecto, los indicadores económicos son desfavorables para la inversión con un VAN negativo de $567.827.590, debido a que los costos del servicio de aseo superan considerablemente los ingresos que percibe el municipio en este ítem. Sin embargo, al comprar los costos operativos de un

sistema convencional versus el servicio propuesto, se observa una disminución de costos de $38.311.544 por vehículo, lo cual indica que el servicio propuesto se traduce en una reducción de costos para la operación del servicio de aseo. Por otra parte, el costo de capital de un sistema eléctrico versus un sistema convencional tiene una diferencia de inversión de $522.399.259 considerando el ahorro que se genera por costos operativos en un plazo de 7 años de evaluación, se tiene un ahorro de $536.361.622, esto sumado a los aspectos ambientales positivos de la electromovilidad permite recomendar la implementación del servicio de recolección mediante vehículos eléctricos, generando una gran oportunidad para el municipio de Valparaíso de reducir sus costos operacionales, emisiones locales y posicionarse como la primera ciudad en Chile que implemente electromovilidad en sus servicios de recolección de residuos para transitar hacia una comuna sustentable, consiente con el medio ambiente y entregando un servicio de calidad a sus habitantes.

8 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

(INE), I. N. (2022). Obtenido de https://calculadoraipc.ine.cl/

Aduanas Chile. (2020). *Gráfica Importaciones años 2014 - 2020*. Obtenido de Aduanas Chile: shorturl.at/abcv5

Aduanas Chile. (2020). *Todas las preguntas frecuentes para Importaciones*. Obtenido de Aduanas Chile: shorturl.at/egNR1

Asociación Nacional Automotriz de Chile. (marzo de 2020). *Informe del Mercado Automotor.* Obtenido de ANAC: shorturl.at/cdI04

Bernal, N. G. (enero de 2019). *Políticas para la Eficiencia Enérgetica.* Recuperado el 2020, de BCN Chile: shorturl.at/txCEF

Biblioteca Nacional. (05 de Enero de 2008). *Decreto 189*. Obtenido de BCN: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=268137

Biblioteca Nacional, Ley Chile. (2010). Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1012617

br.istobal.com. (11 de Enero de 2018). Obtenido de https://br.istobal.com/blog/se-lava-camion-basura/

BYD Brasil. (2016). *CAMINHÃO COLETOR ECOMPACTADOR DE LIXO DA BYD.* Obtenido de shorturl.at/cjoqs

BYD. (s.f.). *BYD Electric Vehicles.* Obtenido de BYD: https://theicct.org/sites/default/files/BYD%20EV%20SEDEMA.pdf

BYD Singapore. (2017). *MOST RELIABLE T8.* Recuperado el 2020, de Battery Electric Truck: https://sg.byd.com/wp-content/uploads/2017/11/T8AbSA.pdf

Centro de Economía y Administración de Residuos Sólidos. (2012). *Diagnóstico del Servicio de Aseo y Propuesta de Modelo de Gestión para la Ilustre Municipalidad de Valparaíso.* Valparaíso.

Chilquinta . (2020). *Guía Chile Energía* . Obtenido de https://www.guiachileenergia.cl/chilquinta-energia-s-a/

Chilquinta. (2020). *¿Cómo usar las electrolineras?* Obtenido de Súmate a la Electromovilidad: https://www.chilquinta.cl/electrolineras

Chilquinta. (abril de 2020). *Tarifas de Suministro de CHILQUINTA ENERGÍA S.A*. Obtenido de https://www.chilquinta.cl/storage/pdf/809286b550f74017cc95771dea875acb.pdf

Chilquinta. (2022). *Tarifas Chilquinta*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://a.storyblok.com/f/82872/x/bb05bf7860/suministro_chilquinta_202202.pdf

CNE. (Enero de 2022). *Reporte Mensual Sector Enérgetico Chile*. Obtenido de https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2022/01/RMensual_v202201.pdf

Cultura Cientifica. (s.f.). *Baterías de litio*. Recuperado el 2020, de Esquema fundamental baterías.: https://culturacientifica.com/2020/02/20/asi-funcionan-las-baterias-de-litio/

El Martutino. (4 de junio de 2020). *Valparaíso suma 10 nuevos camiones recolectores de aseo*. Obtenido de shorturl.at/BNQ04

ElectroMov. (17 de Marzo de 2020). *Baterías de litio: sus desafíos para 2020*. Obtenido de http://www.electromov.cl/2020/03/17/baterias-de-litio-sus-desafios-para-2020/

Electromovilidad. (2020). *Tipos de batería para coche eléctrico*. Recuperado el 2020, de http://electromovilidad.net/tipos-de-bateria-para-coche-electrico/

Energía Abierta. (2018). *Energía Región*. Recuperado el 2020, de Ministerio de Energía: https://energiaregion.cl/region/VALPO

Energía Abierta, CNE. (2020). *Balance nacional de energía*. Obtenido de Comisión Nacional de Energía: http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balance-de-energia/

Energía, M. d. (s.f.). *www.energia.gob.cl*. Obtenido de https://energia.gob.cl/electromovilidad/formacion-de-capital-humano-en-electromovilidad

Estadísticas, I. N. (Agosto de 2020). *www.ine.cl*. Obtenido de https://calculadora.ine.cl/

ExChange-Rates. (31 de diciembre de 2018). *Tasa de cambio entre el Real Brasileño (BRL) y el Peso Chileno (CLP)* . Obtenido de https://es.exchange-rates.org/Rate/BRL/CLP/31-12-2018

Galán, D. (2020). *Este camión eléctrico ya recoge la basura en Holanda sin hacer ruido alimentado por una batería de 170 kWh*. Obtenido de Motorpasión: shorturl.at/JPY25

García Bello, D. (20 de febrero de 2020). *Así funcionan las baterías de litio*. Obtenido de Cultura cinetífica: https://culturacientifica.com/2020/02/20/asi-funcionan-las-baterias-de-litio/

Hachim Campos, M. (2018). *Evaluación Económica de la Segunda Vida Útil de Baterías de Ion Litio Provenientes de la Electromovilidad para la Agroindustria.* Obtenido de Repositorio Universidad de Chile: shorturl.at/cqs56

Hansen, P. (25 de febrero de 2022). *¿Cuánto diésel consume un camión en Chile? y ¿Cuánto puede ahorrar?* Obtenido de Webfleet: https://www.webfleet.com/es_cl/webfleet/blog/cuanto-diesel-consume-un-camion-en-chile-y-cuanto-puede-ahorrar/

Hernández Vargas, C. (2010). *Evaluación de la gestión patrimonial de Valparaíso: Reflexiones y Propuestas hacia un modelo participacionista.* Valparaíso.

INE. (2020). *Calculadora IPC*. Obtenido de https://calculadora.ine.cl/

INE, Gobierno de Chile. (2019). *Población total*. Recuperado el 2020, de Proyección al 30 de junio de 2019: https://ine.cl/

Martí, A. (4 de agosto de 2016). *¿Serán todos los camiones de la basura elécricos en cinco años?* Obtenido de Xataka: https://www.xataka.com/vehiculos/seran-todos-los-camiones-de-la-basura-electricos-en-cinco-anos

Medium. (23 de Junio de 2017). *Ruta de la Basura Valparaíso*. Obtenido de Medium: shorturl.at/cpxz2

Ministerio de Energía. (2020). *Buenas Prácticas en Movilidad Eléctrica*. Recuperado el 2020, de http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/2018/electromovilidad/Guia_Electromovilidad.pdf

Ministerio de Energía. (2020). *Evaluador de Proyectos de Electricidad*. Obtenido de Ministerio de Energía: https://energia.gob.cl/electromovilidad/evaluador

Ministerio de Energía, Chile. (2017). *Estrategia Nacional de Electromovilidad*. Obtenido de Un camino para los vehículos eléctricos: https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_electromovilidad-8dic-web.pdf

Ministerio de Energía, Chile. (2020). *Buses Eléctricos RED*. Obtenido de https://energia.gob.cl/electromovilidad/electromovilidad-en-chile/buses-electricos-red

Ministerio de Energía, G. d. (Noviembre de 2021). *Capacidad instalada*. Obtenido de Energía Abierta: http://energiaabierta.cl/visualizaciones/capacidad-instalada/

Ministerio de Medio Ambiente. (2018). *Informe del estado del Medio Ambiente.* Obtenido de Sistema Nacional de Información Ambiental: https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/10-residuos.pdf

Ministerio de Medio Ambiente. (2018). *Tercer informe bienal de actualización de chile sobre cambio climatico.* Recuperado el 2020, de Ministerio de Medio Ambiente: https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/3rd-BUR-Chile-SPanish.pdf

Ministerio de Medio Ambiente. (2020). *Generación industrial de residuos no peligrosos*. Obtenido de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes: https://datosretc.mma.gob.cl/dataset/residuos

Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. (2017). *Comienza histórica operación de los primeros buses eléctricos de Transantiago*. Recuperado el 2020, de http://mtt.gov.cl/archivos/17441

Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. (2019). *Certificación Características Funcionales y Dimensionales Buses Transporte Público Urbano Santiago*. Recuperado el 2020, de Resultados Buses Motor Eléctrico: https://mtt.gob.cl/archivos/5597

Molina, M. (2018). *CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE BUSES ELÉCTRICOS BYD MODELO K9FE*. Recuperado el 2020, de Repositorio USM: shorturl.at/dKV04

Mujica Carvajal, J. (2014). *Recomendaciones para la Introducción Progresiva de la Tecnología de Propulsión Eléctrica en el Transporte Público de Santiago de Chile*. Obtenido de Repositorio Universidad de Chile: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/115973/cf-mujica_jc.pdf?sequence=1

PUCV. (2011). *Historia trolebus*. Recuperado el 2020, de PUCV: https://wiki.ead.pucv.cl/Trolebus#Mecanismo_de_la_v.C3.ADa_a.C3.A9rea

Revista Nuevas Energías. (14 de Mayo de 2019). *Presentan el primer camión recolector de basura 100% eléctrico*. Obtenido de shorturl.at/hoR56

Revista Nuevas Energías. (2020). *Electromovilidad en Chile 2019.* Obtenido de Informe del Estado Actual de la Industria: https://www.revistaei.cl/wp-content/uploads/2020/04/Electromovilidad-en-Chile-2019.pdf

Satrústegui, L. (2019). *¿Por qué hidrógeno?* Recuperado el 2020, de ¿Qué es un FCEV?: shorturl.at/ejN59

Servicio de Impuestos Internos. (23 de noviembre de 2002). *Resolución Exenta N°43/2002*. Obtenido de Diario Oficial: http://www.sii.cl/documentos/resoluciones/2002/reso43.htm

Servicio de Impuestos Internos. (2022). *Valores y fechas UF*. Obtenido de https://www.sii.cl/valores_y_fechas/uf/uf2022.htm

Sodimac. (2022). *Construcción pavimentos*. Obtenido de shorturl.at/dLS01

Sodimac. (2022). *Instalación Techumbre*. Obtenido de https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/content/a70204/Instalacion-de-Techumbre

Subsecretaría de Desarrollo Regional. (mayo de 2018). *Diagnóstico de la Situacicón por Comuna y por Región en Materia de RSD y Asimilables.* Obtenido de http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/2_marco_legal_agosto_2018.pdf

Subsecretaría de Desarrollo Regional. (2019). *Valparaíso, Datos municipales*. Obtenido de shorturl.at/eopU3

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. (Agosto de 2018). *Diagnóstico Nacional y Regional sobre Generación y Eliminación de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables.* Obtenido de http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/4.7_region_de_valparaiso_agosto_2018.pdf

Transporte Moderno. (16 de agosto de 2018). *Corpus adquire 200 caminhões 100% elétricos da BYD*. Obtenido de shorturl.at/jmQ17