

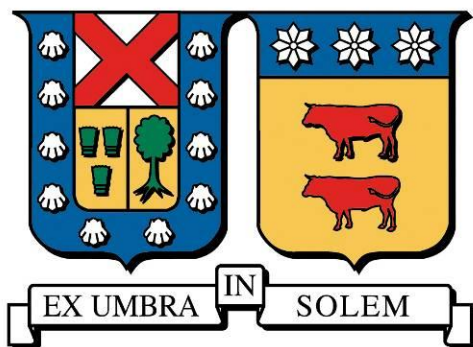
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

“EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE UNA ESTACIÓN DE CARGA PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS EN SANTIAGO DE CHILE”

Alfredo Javier Toledo Montoya

MAGISTER EN ECONOMIA ENERGETICA

2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

“EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE UNA ESTACIÓN DE CARGA PARA AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS EN SANTIAGO DE CHILE”

Tesis de Grado presentada por

Alfredo Javier Toledo Montoya

como requisito parcial para optar al grado de

Magister en Economía Energética

Profesor Guía

Sr. Mauricio Osses

Profesor Correferente

Sr. Gerardo Muñoz

Agosto 2017

TITULO DE LA TESIS:

EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA PARA UNA ESTACIÓN DE CARGA PARA
AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS EN SANTIAGO DE CHILE

AUTOR:

Alfredo Javier Toledo Montoya

TRABAJO DE TESIS, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para el
Grado de Magíster en Economía Energética del Departamento de Ingeniería
Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Sr. Mauricio Osses

.....

Sr. Gerardo Muñoz

.....

Santiago, Chile. Agosto de 2017

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor guía Mauricio Osses que me orientó en el momento preciso; a Gerardo Muñoz profesor correferente por sus necesarios comentarios; al Profesor Alejandro Saez por sus agudas observaciones; a Tamara Berrios (BYD) quien gentilmente aceptó la invitación a ser mi profesor correferente externo; a Gonzalo Hidalgo (ABB); Orlando Meneses (ENEL); Ramón Concha (COPEC) y Ricardo Ulloa (SALFAMONTAJES), por sus muy bien fundados y desinteresados comentarios que ayudaron a enriquecer este trabajo; a todos mis compañeros del magister que me apoyaron demostrando su entusiasmo con este tema; A mi madre Fresia Montoya, mi padre Oscar Toledo y a Patricia Perez quien me impulsó inicialmente a seguir el camino que culmina con este trabajo.

DEDICATORIA

A mis hijas preciosas Bárbara y Daniela

RESUMEN

En el mundo se calcula que existen dos millones de automóviles eléctricos en circulación, los países que tienen mayor desarrollo de mercado son aquellos que han planteado esquemas de incentivos a los automóviles eléctricos y a la infraestructura de carga.

La movilidad con electricidad en vehículos livianos particulares se encuentra recién en desarrollo en Chile, existe alguna infraestructura de carga y se calcula que hay alrededor de 150 automóviles en circulación.

Se plantea por estos motivos estudiar cual es la viabilidad técnica y económica de establecer un estación de carga bajo un modelo de negocio en que se instala el cargador en el estacionamiento de un tercero, como por ejemplo un centro comercial tipo “strip center”.

Se plantea que el precio al cual los clientes estarían dispuestos a pagar tiene relación con el precio que actualmente se paga por kilómetro en gasolina con lo cual se obtiene un rango de precios dentro del cual los clientes estarían dispuestos a pagar.

Se realiza la evaluación económica de un modelo de estación de carga para un cargador DC y para cargador AC. La evaluación económica arroja un valor actual neto negativo para los datos iniciales. Se sensibiliza el VAN para determinar a que precios podría hacerse positivo este resultado y el resultado es que los precios a los cuales esto se cumple se encuentran fuera del rango determinado como aceptable para los clientes.

El análisis de los resultados obtenidos permite concluir que es viable técnicamente pero no económicamente la instalación de estaciones de carga bajo las condiciones actuales del mercado en Chile.

ABSTRACT

For the consideration of environmental aspects the electric car seems to be a personal transportation solution for global warming concerned people. Locally, one of the biggest problems in Santiago de Chile is the smog and the extensive use of electric cars could somehow reduce this negative aspect of this capital city. One of the most important barrier to the further development of the electric vehicle industry comes from the perception of lack of charging infrastructure, therefore the development of the charging infrastructure is one of the factors to consider when studying the introduction of this technology. This study aims to investigate the technical and economic feasibility of an electric vehicle charging station in Santiago de Chile while allowing an opportunity to understand the key variables that describe this emerging industry. A qualitative approach is used to determine the technical feasibility while an economic evaluation is performed to determine the economic feasibility. The results show that currently it is not economically feasible to establish an electric car charging station in Santiago de Chile because the price needed to obtain a positive net present value is higher than the price people are willing to pay.

GLOSARIO

ICE: Motor de combustión interna

HEV: Vehículo Eléctrico Híbrido

PHEV: Vehículo Eléctrico Híbrido Enchufable

EV: Vehículo Eléctrico

EOL: "End of Life"

BEV: Vehículo Eléctrico a baterías

BOL: "Beggining of Life"

CC: Corriente Constante

CV: Voltaje Constante

VDC: Voltaje en Corriente Continua

VAC: Voltaje en Corriente Alterna

V2G: Vehicle to Grid

V2H: Vehicle to House

V2B: Vehicle to Building

HOV: High Occupancy Vehicle Lane

RFID: Identificación por Radio Frecuencia

INDICE

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	5
GLOSARIO.....	6
INDICE.....	7
1 INTRODUCCIÓN.....	12
2 REVISION DEL ESTADO DEL ARTE.....	14
2.1 TIPOS DE AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS.....	14
2.1.1 AUTOMÓVIL ELÉCTRICO HÍBRIDO.....	14
2.1.2 AUTOMÓVIL ELÉCTRICO HÍBRIDO RECARGABLE.....	15
2.1.3 AUTO DE BATERÍAS (BEV, EV).....	15
2.2 CARGADORES DE BATERÍA.....	17
2.2.1 TECNICAS DE CARGA.....	17
2.2.2 MEDIOS DE CARGA.....	18
2.2.3 TIPOS DE CARGADORES.....	19
2.2.4 TIPOS DE CONECTORES.....	22
2.3 IMPLICACIONES, OPORTUNIDADES TECNOLÓGICAS Y MODELOS DE NEGOCIO.....	23
2.3.1 Del vehículo al hogar (V2H).....	23
2.3.2 Del vehículo al edificio (V2B).....	23
2.3.3 Del vehículo a la red (V2G).....	24
2.3.4 Impacto en la red de distribución.....	25
2.3.5 Redes inteligentes (Smart Grid).....	25
2.3.6 Gestión de respuesta a la demanda.....	25
2.3.7 Modelos de Negocio.....	26

3	METODOLOGÍA	31
3.1	PROYECCION DE PARTICIPACION DE MERCADO.....	31
3.2	PROYECCION DE PARQUE AUTOMOTRIZ	33
3.3	EVALUACIÓN ECONÓMICA	35
3.4	SENSIBILIZACIÓN.....	35
4	PROYECCION DE CRECIMIENTO DEL MERCADO DEL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO EN CHILE	37
4.1	SITUACION ACTUAL.....	37
4.1.1	BARRERAS PARA LA INTRODUCCIÓN DEL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO.....	39
4.1.2	DESARROLLO DE LA PROYECCIÓN	48
5	REGULACIÓN	54
5.1	REGULACIÓN EN CHILE.....	54
5.2	REGULACIÓN EN OTROS PAISES.....	56
6	ESTACIONES DE CARGA	59
6.1	INFRAESTRUCTURA	59
6.1.1	Ubicación	59
6.1.2	Montaje de la unidad	59
6.1.3	Protección contra choques	60
6.1.4	Señalética.....	60
6.1.5	Iluminación.....	60
6.1.6	Equipamiento.....	60
6.1.7	Instalación:.....	62
6.1.8	Conexión al sistema de distribución.....	62
6.1.9	Modificaciones al sistema de distribución.....	63
6.1.10	Expansión futura	64

6.1.11	Protección contra vandalismo	64
6.1.12	Protección ambiental	64
6.1.13	Visibilidad y estética	64
6.2	MODELOS DE ESTACIONES DE CARGA	65
6.2.1	EGRESOS	66
6.2.2	INGRESOS.....	69
7	EVALUACIÓN ECONÓMICA	74
7.1	DESARROLLO.....	74
8	CONCLUSIONES	90
9	BIBLIOGRAFÍA.....	93
10	ANEXOS.....	101

1 INTRODUCCIÓN

La primera estación de carga para automóviles eléctricos, llamada también electrolinera, de sudamérica fue inaugurada en Chile el año 2011. A partir de esa fecha, el crecimiento de estas instalaciones ha sido bajo comparado con el crecimiento de la cantidad de automóviles eléctricos circulando en Chile.

El interés de esta tesis es explorar los posibles escenarios de crecimiento de la demanda de recarga para automóviles eléctricos analizando con esta información la factibilidad técnica y económica de este negocio.

OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación técnico-económica de una estación de carga para automóviles eléctricos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Conocer el estado del arte de la tecnología de estaciones de carga para autos eléctricos, revisando la tecnología relacionada con el automóvil eléctrico y los modelos de negocio que se utilizan

Desarrollar una proyección de crecimiento de mercado de automóvil eléctrico en Chile, por cuanto conforman a los usuarios de las estaciones de carga. Proyectar posibles escenarios.

Conocer la regulación aplicable en Chile relacionada directa e indirectamente con la utilización del automóvil eléctrico y las estaciones de carga para automóviles eléctricos. Conocer la regulación utilizada en algunos países seleccionados.

Proponer una estación de carga para automóviles eléctricos basándose en la información presentada.

Realizar una evaluación técnico-económica considerando los escenarios de crecimiento definidos anteriormente y realizar sensibilización a variables relevantes.

HIPÓTESIS

“Es factible desde los puntos de vista técnico y económico implementar una estación de carga para automóviles eléctricos en Chile”

2 REVISION DEL ESTADO DEL ARTE

2.1 TIPOS DE AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS

Se llama automóviles eléctricos a aquellos automóviles que utilizan energía eléctrica como parte o la totalidad del suministro de energía que convierten en fuerza motriz.

Los automóviles eléctricos pueden ser clasificados en Vehículos Eléctricos Híbridos (HEV), Vehículos Eléctricos Híbridos Conectables (PHEV), y vehículos completamente eléctricos (BEV). Los HEV pueden ser clasificados en líneas generales en serie, paralelo y serie-paralelo (híbrido combinado) [1].

El automóvil eléctrico posee bajas emisiones generadas localmente, puede potencialmente fortalecer los sistemas eléctricos al proveer a estos servicios auxiliares, tienen menores costos de operación en comparación a aquellos que funcionan basados en combustibles fósiles y poseen mayor eficiencia energética.

2.1.1 AUTOMÓVIL ELÉCTRICO HÍBRIDO

Son aquellos que utilizan motor de combustión interna, motor eléctrico y generador eléctrico, pudiendo hacerlo en varias combinaciones como se explica a continuación.

En un HEV serie el motor de combustión interna impulsa un generador que produce la energía para cargar las baterías que alimentan al motor eléctrico el cual entrega la fuerza de impulso al vehículo.

En un HEV paralelo la fuerza de impulsión del vehículo puede ser entregada por los motores eléctricos y el de combustión interna que se encuentran acoplados al eje impulsor esto permite operación simultánea de ambos sistemas a altas velocidades.

En la configuración serie-paralelo el motor de combustión interna puede ser utilizado para generar energía por medio de un generador acoplado a su eje o para impulsar el vehículo dependiendo de las condiciones de operación y configuración.

Los HEV pueden ser subclasificados dependiendo de la proporción en la cual la energía de propulsión es entregada por energía eléctrica con respecto al total de la energía suministrada.

2.1.2 AUTOMÓVIL ELÉCTRICO HÍBRIDO RECARGABLE (PHEV)

Los PHEV (“plug-in hybrid electric vehicle”) son en esencia HEV con la opción de recargar su sistema de almacenamiento de energía con energía eléctrica de una fuente de energía eléctrica externa, típicamente la red de distribución. Los PHEV tienen una mayor capacidad de almacenar energía y al ser recargables pueden funcionar solamente con energía eléctrica por periodos más largos lo cual les entrega mayor economía de combustible en comparación con los HEV. Al igual que los HEV, los PHEV pueden tener configuración serie, paralela y serie-paralelo.

2.1.3 AUTO DE BATERÍAS (BEV, EV)

Los EV o BEV son propulsados únicamente por medio de uno o varios motores eléctricos los cuales funcionan solamente con energía eléctrica proveniente de las baterías del vehículo las cuales son recargables. Los EV no poseen motor de combustión interna.

En lo que sigue de este trabajo, al mencionar automóvil eléctrico se estará haciendo referencia a esta clasificación de automóviles eléctricos y a los PHEV ya que estos son los potenciales clientes de las estaciones de carga.

BATERÍAS

Tal como se puede deducir de lo tratado previamente en este texto, las baterías son el componente que define la naturaleza del automóvil eléctrico. Por esta razón su desarrollo se encuentra directamente relacionado con el futuro de estas tecnologías.

Algunas medidas críticas de desempeño de estos sistemas de almacenamiento de energía son:

- Seguridad: asegurar operación segura del sistema de almacenamiento sin riesgos de comportamiento exotérmico en caso de choques mecánicos o cortocircuitos.
- Costo por kWh: es una forma de medir la eficiencia económica de la batería, midiendo cuantas unidades monetarias se requieren por unidad de energía (USD/kWh)
- Ciclo de vida: número de ciclos completos de carga y descarga hasta alcanzar condición de fin de ciclo de vida útil (end of life, EOL). Una medida típica de EOL es capacidad remanente de almacenamiento de 80% de su capacidad al inicio de su vida útil (“beginning-of-life”, BOL)
- Vida Calendario: es la longevidad que puede alcanzar la batería en condiciones de almacenamiento medida en meses o años
- Densidad de energía: la cantidad de energía que cada kilogramo o litro de batería contiene (Wh/kg y Wh/L).
- Densidad de potencia. la cantidad de potencia que cada kilogramo o litro de batería puede entregar por segundo (W/kg y W/L).
- Capacidad de aceptación de carga: cantidad de energía que puede absorber por segundo.
- Profundidad de descarga (DOD); es la fracción de energía (o porcentaje) que se utilizó de la baterías antes de recargarla [2].

Existen varias tecnologías de baterías que pueden ser integradas al automóvil eléctrico e híbrido, las cuales varían entre ellas en sus medidas de desempeño lo cual las hace más o menos aplicables para ciertas utilidades.

En el caso de las baterías de ion litio, se ha visto un descenso sostenido en el costo por kWh, a la vez que un aumento en la densidad de energía.

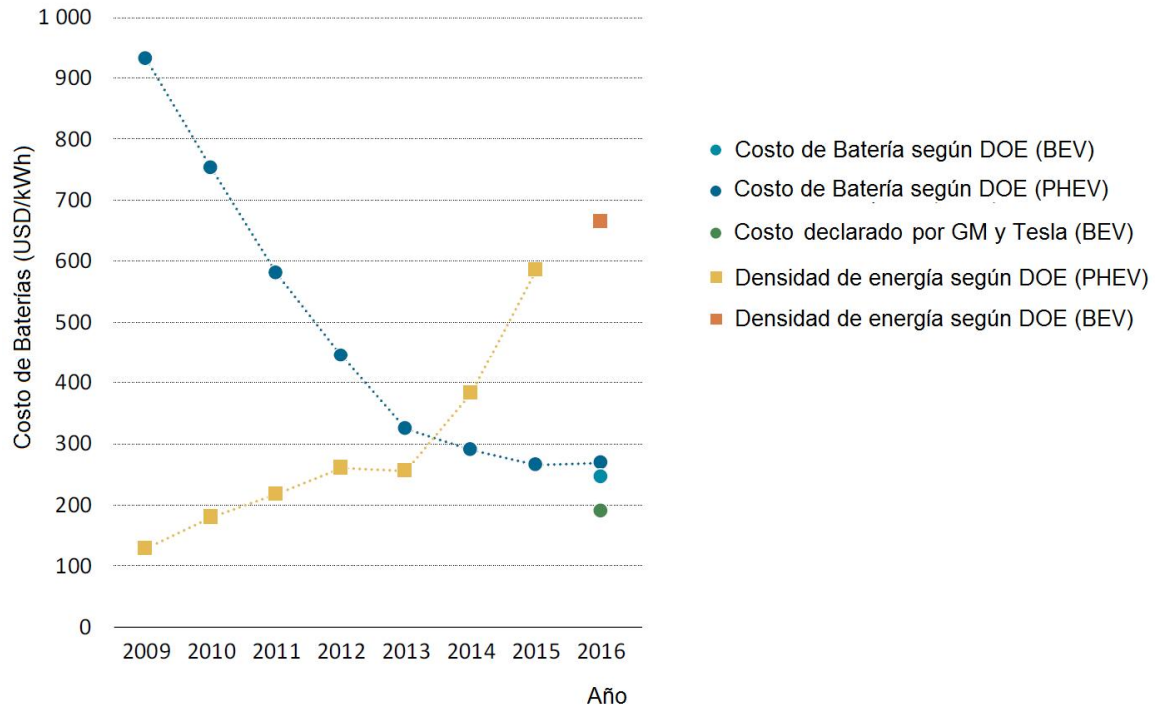


Fig.2.1.3.1 Evolución anual de costo de baterías y densidad de energía. Fuente: [3]

El objetivo de desempeño para los sistemas de baterías es ofrecer densidades de energía y potencia similares al entregado por los combustibles fósiles a un costo comparable. No obstante, con la tecnología actual esto no es posible y varias organizaciones han puesto metas para la densidad de energía y costo por unidad de energía.

2.2 CARGADORES DE BATERÍA

Este apartado se refiere únicamente a los cargadores de batería externos que forman parte de la infraestructura de carga para los automóviles eléctricos ya sea domiciliario o en áreas públicas o privadas no domiciliarias. Se abordarán las técnicas de carga, los medios de carga, los tipos de cargadores y los tipos de conectores de los cargadores. Se excluye de este trabajo mayor detalle sobre el cargador a bordo de los automóviles eléctricos.

2.2.1 TÉCNICAS DE CARGA

Existen diferentes técnicas de carga disponibles, las más utilizadas son voltaje constante (CV), corriente constante (CC), “trickle current” y “tapper and float”. Las

técnicas de carga dependen entre otros factores de la composición química de las baterías, la capacidad y la velocidad requerida. Las nuevas tecnologías mezclan estas técnicas para conseguir cargas aún más rápidas, como se ejemplifica a continuación.

La técnica más sencilla es utilizar carga CC, aplicar una corriente de baja intensidad a la baterías descargadas del 10% de la corriente nominal de la batería. Este tipo de carga se aplica mejor en baterías de nickel-cadmio y nickel – metal hydride. No obstante puede ocurrir emisión de gases o sobrecalentamiento si la batería se sobrecarga.

La técnica de carga CC-CV se utiliza en la mayoría de los cargadores comerciales para cargar las baterías de ión litio porque esta batería tiene mayor densidad de energía que las otras. Las ventajas de la técnica CC-CV incluye corriente y voltaje de carga limitada por medio de la utilización de controladores. Con esto se previenen sobrevoltajes y reducción del stress térmico. Primero se aplica una corriente constante para cargar las baterías hasta que se alcanza un voltaje predefinido luego de lo cual se utiliza voltaje constante (CV) hasta completar una condición de finalización. El modo CC es más rápido que el CV, no obstante el CV se ocupa para prevenir sobrevoltajes durante la carga que aumentan la pérdida de vida útil de la batería.

Nuevos métodos de mejorar el desempeño de las baterías se encuentran en investigación.

2.2.2 MEDIOS DE CARGA

Si se clasifican de acuerdo al medio por el cual se transfiere la energía desde la fuente hacia las baterías del automóvil los métodos de carga pueden clasificarse en dos, sumando tres si se considera el intercambio de baterías [1] [4].

2.2.2.1 Carga conductiva

Es la carga de baterías que se realiza por medio de un conductor eléctrico que transfiere la energía a las baterías por medio de un cargador. Esta constituye una forma simple y eficiente de realizar la carga. El cargador de baterías a utilizarse

puede ser externo o puede ser el cargador a bordo. Este medio de carga es el más empleado en la actualidad y el que se aborda en el desarrollo de este trabajo.

2.2.2.2 Carga inductiva

También conocida como carga inalámbrica, hace uso del acoplamiento magnético como método para transferir la energía a las baterías del EV. En este sistema el cargador situado en el suelo funciona como lo haría el primario de un transformador eléctrico mientras que el secundario se encuentra en el vehículo, Una vez que ambos entran en contacto magnético la corriente comienza a fluir hacia las baterías. La principal ventaja de estos sistemas es la completa seguridad bajo cualquier condición atmosférica y la desventaja de estos sistemas es que aún poseen eficiencias bajas, no obstante superar el 90% [1]

2.2.2.3 Cambio de baterías

Las estaciones de cambio de baterías (“Battery swapping stations”) consisten en el servicio de cambio de baterías del vehículo por un paquete de baterías totalmente cargadas en una estación especializada. La ventaja de este sistema es la rapidez con la cual el usuario vuelve a tener su vehículo completamente cargado.

2.2.3 TIPOS DE CARGADORES

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (“Society of Automotive Engineers”, SAE) generó un estandar que define seis niveles de carga para los EV. Algunos campos de la tabla aún no se definen y se indican con la sigla TBD [1][4].

FUENTE	NIVEL	VOLTAJE	FASE	CORRIENTE MAXIMA	POTENCIA MAXIMA	TIEMPO
AC	1	120	MONOFASICA	16	1,9	6-24
AC	2	240	MONOFASICA	80 (TIP: 40)	19,2	2-8
AC	3	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD
DC	1	200-450	N/A	<=80	<=19,2	20 min.
DC	2	200-450	N/A	200	90	15 min
DC	3	TBD	N/A	TBD	TBD	TBD

Tabla 2.2.3.1.Niveles de carga de acuerdo a SAE. Fuente:[1]

Por su parte la Comisión Eléctrotécnica Internacional (“International Electro technical Commission”, IEC) generó el estandar IEC 61851-1, que define 4 modos para cargar EV que define la carga de automóviles eléctricos.

FUENTE	MODO	CORRIENTE MAXIMA	FASE	TIEMPO	CONFIGURACION
AC	1	16 A	MONOFASICA O TRIFASICA	LENTO	CONECTOR DOMICILIARIO ESTANDAR
AC	2	32 A	MONOFASICA O TRIFASICA	LENTO	CONECTOR DOMICILIARIO ESTANDAR CON DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN
AC	3	SEGUN CONECTOR	MONOFASICA O TRIFASICA	LENTO/RAPIDO	CONECTOR ESPECIFICO CON FUNCIONES DE PROTECCION Y CONTROL
DC	4	SEGUN CARGADOR	N/A	RAPIDO	CARGADOR EXTERNO

Tabla 2.2.3.2. Modos de carga de acuerdo a IEC. Fuente: [1]

2.2.3.1 Cargador AC Nivel 1

Los tipos de cargador de Nivel 1 utilizan el estándar domiciliario de 120 VAC. Este nivel de carga normalmente utiliza el conector de acuerdo al estándar NEMA5-15R o 20R con un dispositivo corta corriente en un extremo y conector de acuerdo a estándar SAEJ1772 en el otro extremo. Puede ofrecer entre 1,4 y 1,9 kW dependiendo de la corriente que se maneje. Por lo cual con estos tipos de cargadores se toman entre 6 y 24 horas cargar las baterías de un automóvil eléctrico dependiendo naturalmente del tipo y capacidad de almacenamiento de las baterías. Este tipo de cargador es el más barato y más conveniente como aplicación domiciliaria a la vez que el más lento si se aplica a edificios comerciales.

2.2.3.2 Cargador AC Nivel 2

Típicamente referido como el principal y más importante método de carga para instalaciones privadas y públicas, este nivel utiliza 240 VAC con capacidad típica de 40 A para instalaciones domiciliarias. La mayoría de los EVSE de nivel 2 utilizan circuitos dedicados de 40 A. Este nivel de carga puede ofrecer hasta 19,2 kW y usualmente tarda entre 2 y 8 horas en cargar las baterías de un automóvil eléctrico. Naturalmente, la factibilidad técnica de instalación de uno de estos cargadores en un domicilio va a depender de la potencia que puede entregar el punto de consumo lo cual puede acarrear consigo la necesidad de realizar modificaciones al sistema eléctrico de la casa o incluso del sistema de distribución.

Deben seguirse procedimientos de seguridad al instalar EVSE nivel 2 en el domicilio para asegurar una carga segura y eficiente.

De la tabla 2.2.3.1 se aprecia que el Nivel 3 no existe aún y lo que suele llamarse erróneamente nivel 3 es según la norma DC Nivel 1 o DC Nivel 2

2.2.3.3 Cargador DC Nivel 1 y 2

Estos cargadores pueden manejar una mayor cantidad de potencia y cargan las baterías mucho más rápido. No obstante, como la salida de estos cargadores es DC, la técnica de carga debe ser adaptada de acuerdo al paquete de baterías de cada automóvil. Para conseguir esto, los cargadores se comunican mediante protocolos con la electrónica del automóvil que ajustan la forma de realizar la carga correspondiente al automóvil [5].

2.2.3.4 Comparación entre cargadores DC y AC

Como es sabido, las redes de distribución eléctrica operan con AC y las baterías eléctricas con DC, lo cual significa que debe existir una conversión entre un medio y otro cuando se transfiere energía entre la red y las baterías. El lugar en el cual ocurre esta conversión va a generar la diferencia entre cargadores DC y AC. En el caso de los cargadores AC, la energía es transferida desde la salida del cargador al cargador de batería a bordo del automóvil eléctrico, mientras que los cargadores DC transfieren la energía eléctrica directamente a las baterías. Esto trae consigo que los cargadores DC sean mucho más pesados, complejos y caros debido a la electrónica de potencia requerida para convertir AC a DC.

Por otra parte, al cargar las baterías del automóvil desde un cargador AC, la potencia a la cual se cargan las baterías la define la potencia máxima de entrada del cargador a bordo del automóvil, lo cual naturalmente define el tiempo de carga de las baterías. Mientras que al conectar el automóvil a un cargador DC, la potencia de carga la determina el cargador DC, ya que en este caso el cargador interno del automóvil eléctrico no opera y la energía es transferida directamente a las baterías.

La mayoría de los fabricantes de automóviles eléctricos no desarrollan cargadores a bordo de alta potencia con el argumento de que incorporan mucho peso y espacio a los vehículos, por consiguiente, estos fabricantes se confían en que los

cargadores externos DC proveerán una carga rápida al usuario, lo cual no toma en cuenta que esto genera costos en infraestructura de carga [6].

2.2.4 TIPOS DE CONECTORES

Los conectores más utilizados en la actualidad en el mundo son los que se indican en la Tabla 2.2.4.1.

Conector	SAE J1772	SAE J1772 Combined Charging System Type 1	Chademo Yazaki	IEC 62196 Mennekes Type 2	EU DC CCS Combo 2 Connector IEC 62196-3 Type 2	Tesla Connector
Corriente	16 - 80 A	200 A	120 A	63 A monofásico y trifásico	65 A - 200 A	12 A - 80 A - 100 A monofásico y trifásico
Voltaje	120-240 VAC	200 - 600 V DC	500 V DC	250 VAC - 400 VAC	200 - 850 V DC	110 VAC - 250 VAC - 480 VDC
Potencia	1.92-19.20 kW	125 kW (max)	60 kW (max)	22 kW (max)	13 kW - 170 kW	1.32 kW - 19.26 kW - 48 kW
Nivel	1 y 2	3	3	1 y 2	-	1 - 3
Modo	-	-	4	-	2 - 4	1 - 4
Utilización	Norte América y Japón	América y Japón	Europa y América	Europa	En todo el mundo	En todo el mundo

Tabla 2.2.4.1. Conectores utilizados a lo largo del mundo. Fuente: [7]

Estos conectores son importantes ya que permiten estandarizar la comunicación, los niveles de corriente y voltaje y los protocolos de seguridad y control. La estandarización de estos conectores proviene de las regiones con mayor desarrollo en movilidad eléctrica, Norte América, Europa, Japón y China. Los estándares son impulsados principalmente por compañías eléctricas, operadores de sistemas de distribución (DSO) y asociaciones eléctricas.

La SAE impulsa el estándar de Norte América. El SAE J1772 es el conector estándar utilizado en EVSE nivel 1 y nivel 2, comúnmente conocido como Yazaki, debido a similitudes en la arquitectura de la red de distribución, Japón ha adoptado también el conector Yazaki.

En Europa la IEC, emitió el año 2011 el estándar IEC 62196, en el cual se define el conector asociado a sus requerimientos de diseño llamado coloquialmente Mennekes, debido a su fabricante original.

Cada uno de estos dos estándares tiene también un conector para sistema de carga combinado (CCS) que incluye un segundo puerto bajo el conector DC. Estos conectores son llamados usualmente CCS Combo 1 and CCS Combo 2.

El tercer conector para carga rápida es el CHAdeMO, desarrollado por la industria automotriz japonesa. Este conector es el más popular en Japón aunque posee presencia en Estados Unidos y Europa. No obstante los fabricantes de automóviles norteamericanos y europeos se niegan a adoptar el estándar prefiriendo el CCS Combo 1 o 2.

Hasta el momento existe incertidumbre de cuál será el estándar predominante de la industria [8].

2.3 IMPLICACIONES, OPORTUNIDADES TECNOLÓGICAS Y MODELOS DE NEGOCIO

Se presentan a continuación algunos conceptos relacionados con carga de automóviles eléctricos que se encuentran en etapas tempranas de desarrollo de los cuales se espera que a futuro tengan mayor relevancia producto del mayor desarrollo de mercado de la movilidad eléctrica así como los modelos de negocio que se pueden utilizar.

2.3.1 Del vehículo al hogar (V2H)

Es una prestación que poseen algunos vehículos eléctricos que permiten utilizar la batería como reserva de energía para el hogar en caso de emergencia o para aprovechar fluctuaciones en el valor de las tarifas. Esta posibilidad es aprovechable en BEV así como también existen PHEV que permiten la utilización del automóvil con el motor de combustión funcionando para obtener energía del generador eléctrico del automóvil para su utilización en el hogar.

2.3.2 Del vehículo al edificio (V2B)

Se trata del mismo concepto que el V2H solo que aplicado a edificios o industrias. Gracias a esta tecnología, una flota de vehículos eléctricos conectada a un mismo edificio puede servir como fuente de alimentación. Los objetivos pueden ser variados [9]:

- Reducir la factura de la luz, gracias a la recarga nocturna y el vertido en horas punta.
- “Peak saving”, reduciendo los peaks de consumo y por consiguiente la factura eléctrica
- Aprovechamiento de renovables, cargando los vehículos con la instalación presente en el edificio.
- “Back up”. En el caso de haber un corte de electricidad, la flota de vehículos conectados al sistema podría seguir alimentando el edificio, en lugar de los generadores diesel convencionales.

2.3.3 Del vehículo a la red (V2G)

Este concepto se refiere a la utilización de las baterías de los automóviles como reservorios de energía que pueden ser utilizados por la red de distribución a la cual estos se encuentren conectados. Este concepto es aplicable a todos los tipos de vehículos eléctricos, siendo necesaria solamente la adición de conectores a los vehículos híbridos (HEV) y a los de celda de combustible para ser aplicable. En marzo de 2017 en Dinamarca comenzó sus operaciones la primera estación de carga que aplica este concepto de forma comercial [10]. Los efectos positivos de la implementación del V2G son el reducir los precios de la electricidad al por mayor y reduce la carga en horas peak [11]. Los servicios complementarios que permite el V2G son [12]:

- Reserva en giro permite obtener capacidad de respuesta que permiten suministrar energía rápidamente ante requerimientos del operador de la red de distribución.
- Regulación: permite cambiar la fase en la red de tal manera de maximizar la potencia activa reduciendo el $\cos(\phi)$ y sintonizar de manera fina la frecuencia de la red calzando la generación con la carga demandada.

2.3.4 Impacto en la red de distribución

La integración de los EVs en el sistema de potencia podría afectar la calidad del producto eléctrico y causar problemas técnicos en la red de distribución como aparición de armónicos, desbalances, caídas de tensión y ruido. Por otra parte podría afectar la planificación de los sistemas de distribución así como tener un impacto en los mercados y sistemas tarifarios, esto último en especial con la incorporación al sistema eléctrico del EV como parte del sistema de distribución por medio de redes inteligentes. [13]

Al momento de ser diseñadas las redes de distribución no existían los automóviles eléctricos motivo por el cual cabe preguntarse cómo afectará en el futuro la implantación masiva de estaciones de carga. Para hacer esta evaluación se puede realizar simulaciones de flujo de potencia conociendo las topologías de las redes de distribución para luego hacer un estudio estadístico de los resultados. [14]

2.3.5 Redes inteligentes (Smart Grid)

El objetivo principal de cargar la batería del vehículo se mantiene, no obstante, agregando inteligencia a este proceso se hace posible balancear la red así como mejorar la experiencia del usuario del EV. Para la implementación de la carga inteligente se deben implementar mejoras a la comunicación entre el vehículo y la estación de carga. Esto habilita la carga y descarga de la batería de los vehículos dependiendo de programación de tiempo y tarifa eléctrica. Al hacer esto el vehículo se carga en el horario que es más conveniente para el usuario. Además el agregado de las baterías de auto conectadas simultáneamente a la red se convierte en reserva de energía que permite amortiguar cambios repentinos en la generación de energía. Esta aplicación es particularmente interesante con el advenimiento de fuentes de energía renovables no convencionales de naturaleza intermitente como lo son la eólica y fotovoltaica. [15][16]

2.3.6 Gestión de respuesta a la demanda

Dentro de las posibilidades que permite esta tecnología, se encuentra la posibilidad de implementar sistemas de optimización de cargas de automóviles eléctricos para

centros de carga masivos como lo sería por ejemplo un estacionamiento en un centro comercial. Una de estas posibilidades es la gestión de respuesta a la demanda estudiada para el caso de Singapur en [17].

2.3.7 Modelos de Negocio

Se entiende por modelo de negocio al mecanismo mediante el cual una compañía crea, entrega y captura valor. [18]

La factibilidad de implementación del modelo de negocio va a depender en gran medida del modelo de mercado en que se encuentre inserto el negocio lo cual a su vez depende de la regulación de cada país.

Eurelectric [18] perfila cuatro posibles modelos de mercado definiendo distintos roles para las partes involucradas.

Característica	Modelo de Infraestructura Integrada	Modelo de Infraestructura Separada	Modelo de Operador Independiente	Modelo de Propietario Operador
Propiedad de la Infraestructura	Distribuidor o estado	Propietario separado del	Mix propietario operador minorista	Operador o dueño de estacionamiento
Rol de Distribuidor	Propietario o Rol de liderazgo	Facilita acceso a la red	Facilita acceso a la red	Facilita acceso a la red
En que grado Permite expansión geográfica	Alto	Medio	Bajo	Bajo
Grado de estandarización	Alto	Medio	Medio	Bajo
Distribución de costos de la infraestructura	Se distribuyen a todos los clientes	Se distribuyen por región a los clientes	Se distribuyen a todos los suscriptores	Se distribuyen a los usuarios
Facilidad de entrada para comercializadores	Alta	Media	Media	Baja
Capacidad de apoyo a la red	Alta	Baja	Baja	Baja
Certeza de la tarifa	Alta	Baja	Baja	Baja
Integración con sistemas de mercado eléctrico	Alta	Media	Baja	Baja
Necesidad de subvención si no se logra objetivo	Baja	Media	Alta	Alta

Tabla 2.3.7.1 Clasificación de modelos de mercado Fuente: [18]

Un ejemplo emblemático de un sistema basado en distribuidoras eléctricas, con infraestructura integrada es el proyecto “Ecar” de Irlanda, este crea un mercado minorista competitivo accesible a lo largo del país incluso involucrando múltiples distribuidoras eléctricas y dos unidades monetarias distintas. Fue establecido el 2010 por ESB (compañía eléctrica estatal de Irlanda) con el objetivo de impulsar la implantación de infraestructura para cargar automóviles eléctricos a lo largo de Irlanda y apoyar la introducción y demanda de automóviles eléctricos a nivel nacional. [19][20]

Unos de los mayores problemas aún sin clara resolución [21] es la poca claridad de un modelo de negocios que resulte atractivo tanto para el poseedor de la estación de carga, como para el cliente de tal manera que el negocio sea rentable en el largo plazo.

En [22] se propone una aproximación holística que permite analizar tres componentes identificados como impulsores de la movilidad utilizando automóviles eléctricos:

Vehículo y baterías

Al considerar nuevos modelos de negocios la pregunta básica es quien es el propietario del vehículo y la batería. Los posibles actores en este caso son los fabricantes de autos, comercializadores independientes, cliente final; siendo posible incluir fabricantes de baterías y comercializadores de energía. Por otra parte no necesariamente el vehículo y la batería van a pertenecer al mismo propietario lo cual genera múltiples posibles combinaciones.

El pago por la batería o el vehículo puede realizarse pagando por el equipamiento completo. También es posible un pago fijo ya sea pagando por el uso o independiente de aquel. El tipo de pago depende fuertemente del concepto ofrecido así como de la relación de propiedad.

Otro componente que juega un rol importante es el servicio post venta. Es particularmente importante en nuevos modelos de negocios definir que actor es responsable por el mantenimiento las reparaciones del vehículo y baterías. Los

potenciales responsables incluyen fabricantes de automóviles, de baterías, siendo posible también dejar esta tarea a operadores independientes como garajes o al usuario final.

Además la batería y el vehículo pueden ser utilizados por uno o varios clientes. Bajo un sistema de intercambio, las baterías pueden ser utilizadas por varios usuarios, un vehículo también puede estar disponible para varios usuarios bajo un esquema de auto compartido (“car sharing”).

La infraestructura

Corresponde directamente al alcance de este trabajo y se refiere a la infraestructura que permite suministrar energía eléctrica a los vehículos descrita bajo el título “Estaciones de Carga”.

Las alternativas incluyen carga por medio conductivo, inductivo o intercambio de baterías.

La infraestructura puede ser diferenciada por el tipo de accesibilidad, en el domicilio o puntos de carga especializados por ejemplo.

Los puntos de carga pueden identificarse como privados, semipúblicos o públicos. Las conexiones semipúblicas tienen acceso restringido y se encuentran solamente disponibles para usuarios autorizados, tales como empleados a quienes se les permite la utilización de estacionamientos de su compañía.

El proveedor de la energía eléctrica en el punto de carga es decisivo para definir qué tan rápida será la carga de las baterías de automóvil. En Europa pueden encontrarse conexiones de energía domésticas entre 3,7 kW monofásico a 11 kW trifásico. Por sobre este valor no se pueden realizar de forma doméstica por lo cual deben utilizarse para conexiones de uso público. Debido a que en Europa el voltaje disponible es 230 V, pueden implementarse puntos de carga utilizando corriente alterna. En los Estados Unidos y Japón no obstante, la corriente continua es la norma debido al menor nivel de voltaje que se utiliza de 110V.

Los tipos de conexión son otra característica importante, las conexiones unidireccionales pueden entregar energía en una sola dirección mientras que

existen también las bidireccionales que permiten flujo de energía desde y hacia las baterías. La implementación de servicios tales como entregar energía al sistema (V2G) dependen de esta característica.

Los posibles operadores de la infraestructura de carga incluyen privados así como organizaciones semi-públicas, distribuidoras eléctricas y otros operadores independientes. El operador toma la responsabilidad de la instalación, mantenimiento y reparación de la unidad de carga. La forma según la cual se cobra al usuario puede variar entre gratuita y cobro por uso.

Los posibles modelos de negocio según este esquema de análisis se muestran en la Fig.2.3.7.2. Se aprecia que a medida que el esquema se localiza más hacia la derecha a medida que existe mayor madurez en la tecnología y expansión de la infraestructura. Este mayor nivel de madurez y despliegue se encuentra directamente relacionado con inversiones adicionales y mayor uso de recursos.

Característica	Posibilidades de diseño			
Método de carga	Conductivo	Inductivo	Cambio de baterías	
Accesibilidad	Privado	Semi público	Público	
Tipo de carga	Nivel 1	Nivel 2	Alto voltaje AC	Alto Voltaje DC
Tipo de conexión	Unidireccional		Bidireccional	
Flujo de Información	Inexistente	Unidireccional	Bidireccional	
Procesamiento de la Información	Diario	Intradía (Intra-day)	Tiempo real	
Operador del suministro	Privado	Estatal	Distribuidora	Independiente
Tipo de cobro	Sin cargo	Pago fijo	Pago por uso	
Medición	Sin medición	En la estación de carga	En el vehículo	

Fig. 2.3.7.2. Posibilidades de modelos de negocio Fuente: [22]

Servicios del sistema que integran a los EV a la red

El último elemento a ser considerado en el desarrollo del modelo de negocio es como se integran los vehículos eléctricos a la red o las posibilidades de entregar servicios al sistema que pueden surgir de esta integración. Los participantes incluyen personas individuales o grupos de vehículos agrupados. El número de

participantes tiene impacto en los servicios ofrecidos al sistema debido a restricciones técnicas. Los servicios que podrían ofrecerse son desplazamiento en los peaks de demanda (“peak load shifting”) o entrega de energía a la red (“back feeding”). Esto permite entregar apoyo a la red participando en el mercado de servicios de regulación de la energía y regulación de carga.

El potencial de desplazamiento de peaks de demanda está limitado por los kilómetros recorridos o la energía consumida por el vehículo. La entrega de energía a la red permite mayor libertad de entregar servicios al sistema. Por el contrario si no se realiza ninguna de estas dos el usuario sencillamente carga el vehículo de acuerdo a sus necesidades individuales sin ofrecer servicios.

3 METODOLOGÍA

3.1 PROYECCION DE PARTICIPACION DE MERCADO

En [23], estudio del año 2012 para la ciudad de Santiago, se considera la tasa de crecimiento del parque vehicular convencional (motor de combustión interna) de la categoría Automóvil y Station Wagon entre el 2005 y el 2010 de 5,6%, considerando un crecimiento anual del parque de 25%, y que el año 2020 los vehículos eléctricos de esta categoría tendrán una participación de mercado del 10%, con lo cual se consiguen varios escenarios proyectados entre el 2012 y el 2020. Con los datos que se manejan ahora, se prueba que este modelo derivó en resultados mucho mayores a los que ocurrieron en la realidad.

Se utilizará un método similar a [23], consistente en definir un valor de participación de mercado al año 2040, definiendo una curva que determina el avance en esta dimensión desde el año 2017. Con la participación de mercado se puede determinar el parque automotriz considerando algunas simplificaciones.

Existen modelos de adopción de tecnología que permiten simular escenarios para innovaciones tecnológicas que no poseen historia en el mercado. Uno de los modelos más simples es la función logística, que se adapta justamente a la idea de un avance lento al comienzo el cual es impulsado por los innovadores y usuarios vanguardistas (“early adopters”), para pasar a la masificación con un crecimiento más rápido que finalmente llega a una meseta en un valor de saturación.

Esta curva requiere dos parámetros: α y T_0 los cuales definen el tiempo total en que la curva llega a saturación y el tiempo en el cual llega a 50% respectivamente.

$$y(t) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha(t-T_0)}} \quad (3.1.1)$$

Los parámetros α y T_0 pueden ser despejados algebraicamente definiendo dos pares de datos que completen un sistema de ecuaciones de 2x2. Por lo tanto basta con fijar dos puntos $(y_1, t_1; y_2, t_2)$ para obtener la trayectoria que seguirá la curva.

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{1}{y_1} - 1\right) - \ln\left(\frac{1}{y_2} - 1\right)}{t_2 - t_1} \quad (3.1.2)$$

$$T_0 = \frac{\ln\left(\frac{1}{y_1} - 1\right)}{\alpha} + t_1 \quad (3.1.3)$$

Utilizando estas relaciones se definen 4 escenarios de participación de mercado de automóvil eléctrico en Chile.

Paralelamente a esto, utilizando el software @Risk se proyectan los valores esperados para la variación del PIB per cápita anual hasta el año 2040 utilizando valores históricos de esta variable desde 1990 (Ver Fig.3.1.1.). El software utiliza estos valores históricos para ajustar la mejor distribución de probabilidades de datos con la que a su vez proyecta valores futuros para variación del PIB per cápita anual.

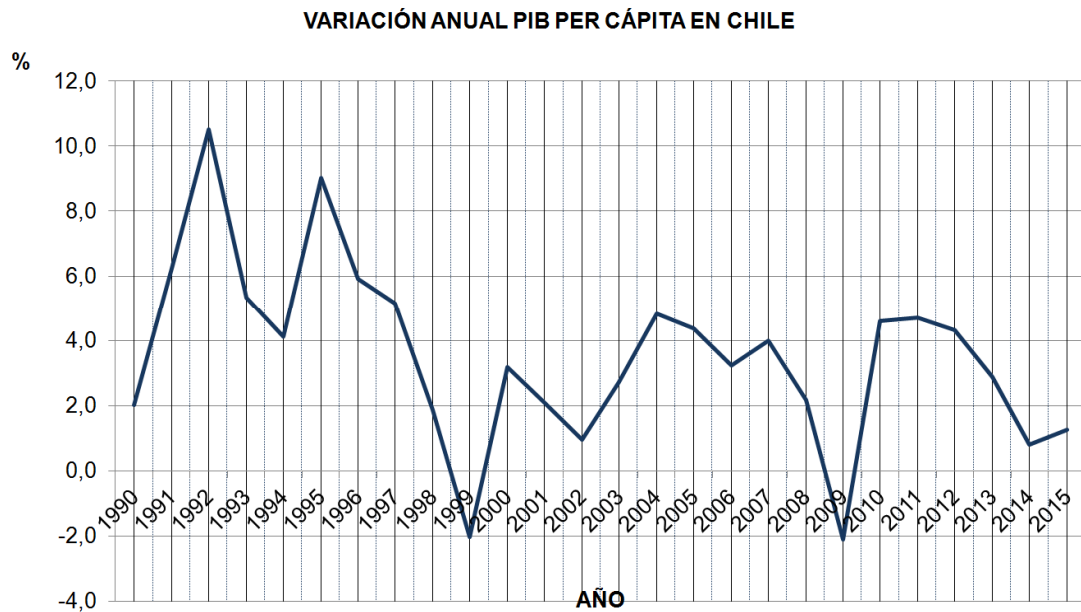


Fig. 3.1.1. Variación anual del PIB per cápita en Chile

La variación de ventas anuales de vehículos livianos nuevos está correlacionada con la variación del PIB [24]. Se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,79 entre

la variación anual de ventas de automóviles livianos y el PIB per cápita con los datos disponibles entre los años 2005 y 2015. [25][26]

Dada la correlación entre la variación del PIB anual y la variación de ventas de automóviles nuevos al año, se obtiene una proyección para esta variable hasta el año 2040 aplicando un factor a la proyección de variación del PIB per cápita anual hasta el mismo año.

Finalmente combinando cada escenario de participación de mercado (porcentaje de las ventas totales) de automóviles eléctricos con las ventas de automóviles de la categoría de interés se obtienen las ventas anuales estimadas de automóviles eléctricos para el periodo en estudio.

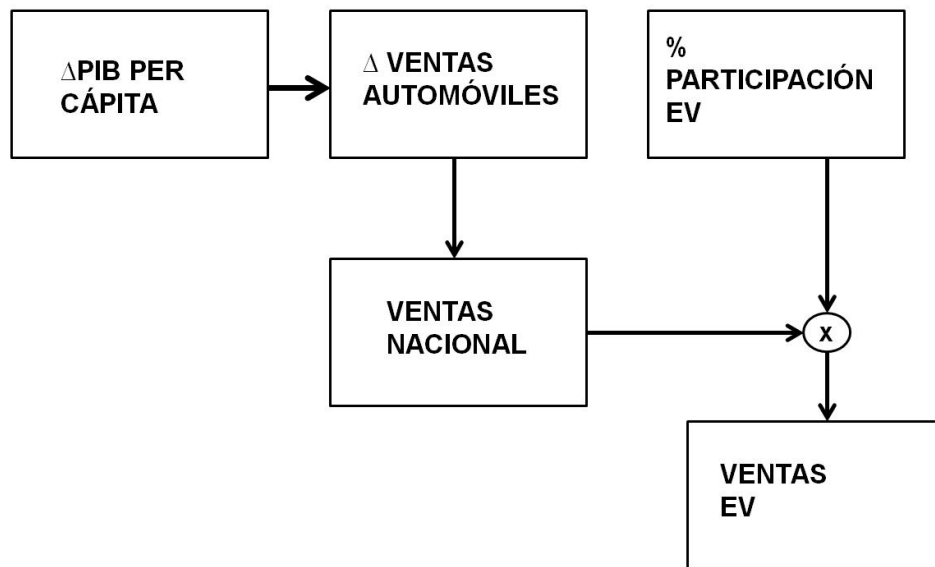


Fig. 3.1.2. Metodología utilizada para obtener valores de ventas de automóviles eléctricos en Chile. Fuente: Elaboración Propia

3.2 PROYECCION DE PARQUE AUTOMOTRIZ

Con la proyección de ventas anuales de automóviles eléctricos a nivel nacional explicada en el apartado anterior, se estima el parque automotor a nivel nacional de la siguiente forma:

$$Q[t] = Q[t - 1] + V[t]$$

3.2.1

Donde $Q[t]$ es el parque automotriz del año t y $V(t)$ las ventas del año t .

El modelo consideró que en los primeros años el total de los vehículos eléctricos vendidos en Chile pasan a formar parte del parque automotor de la Región Metropolitana, para luego difundirse a regiones aproximadamente a partir del año 2030 siguiendo una función logística. Esta curva puede verse en Fig.3.2.1.

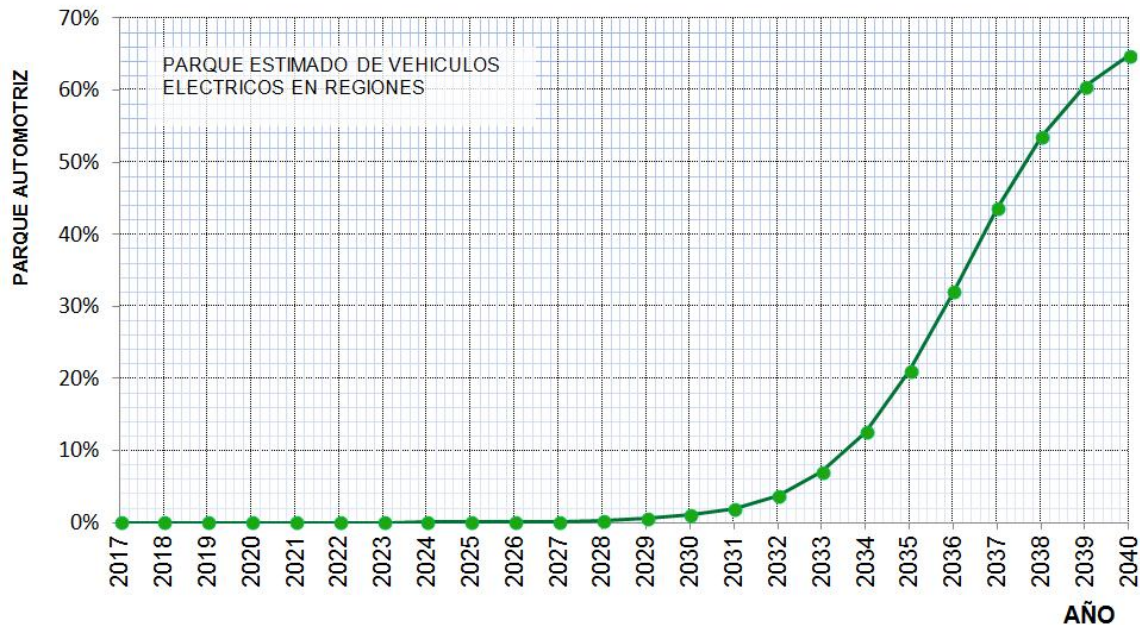


Fig.3.2.1. Parque estimado de vehículos eléctricos en regiones.

De esta manera, con los valores $Q(t)$ se obtiene el parque automotor de la Región Metropolitana como una fracción de esta cantidad.

Supuestos

- No se consideró salida de circulación de automóviles, por simplicidad del modelo.
- Se consideró la categoría vehículos automóviles y station wagon definida según el INE, de donde se obtuvieron los datos. Esto se justifica ya que constituirían los clientes principales de las estaciones de carga.

- Se excluyen de este estudio todos los vehículos de locomoción colectiva ya sean colectivos, taxi colectivos, buses y micros así como todos los vehículos de carga. Si bien, es esperable que estos tipos de vehículos también se vayan incorporando a medida que se desarrolle la expansión de los vehículos eléctricos se considera que lo más natural es que poseerán su propia infraestructura de carga y por otra parte el comportamiento de estos vehículos no se ajusta al modelo que se está planteando.

3.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Se elige el modelo de negocio “Estación de carga en local comercial”, que se explica en detalle, del cual serán definidas las variables económicas pertinentes de tal manera de desarrollar el flujo de caja del proyecto.

Como primera etapa se considera la instalación de un cargador DC en un centro comercial, bajo el supuesto que el centro comercial no cobrará arriendo por el uso del estacionamiento y que se encuentra disponible una conexión al sistema de distribución de forma inmediata.

Luego se repite el paso anterior primero incorporando los costos de arriendo por uso de estacionamiento y por empalme al sistema de distribución

Luego se realiza el mismo análisis para un cargador AC.

Finalmente se evalúan los modelos con cargador DC y AC considerando más de una unidad de carga.

3.4 SENSIBILIZACIÓN

Al flujo de caja desarrollado con este modelo se sensibiliza el VAN con respecto al precio, al costo de energía así como también a la variable que define cuantas cargas por año realizan los usuarios.

Se buscan los precios sobre los cuales el VAN del proyecto es mayor a cero.

En resumen se revisan y sensibiliza el VAN para los siguientes casos:

- Cargador DC en local comercial

- Cargador DC en local comercial (incluyendo costo por empalme al sistema de distribución y costo de arriendo mensual)
- Cargador AC en local comercial
- Cargador AC en local comercial (incluyendo costo por empalme al sistema de distribución y costo de arriendo mensual)
- Cargador DC, varias unidades.
- Cargador AC, varias unidades.

4 PROYECCION DE CRECIMIENTO DEL MERCADO DEL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO EN CHILE

4.1 SITUACION ACTUAL

De acuerdo a [27], entre el 2011 y hasta marzo de 2017 se vendieron 65 automóviles eléctricos en el país, mientras que en el año 2016 se vendieron 305.540 automóviles livianos, en comparación a las 22 unidades de eléctricos de ese mismo año, lo cual arroja una participación de mercado del automóvil eléctrico en Chile cercana a cero: 0,007%

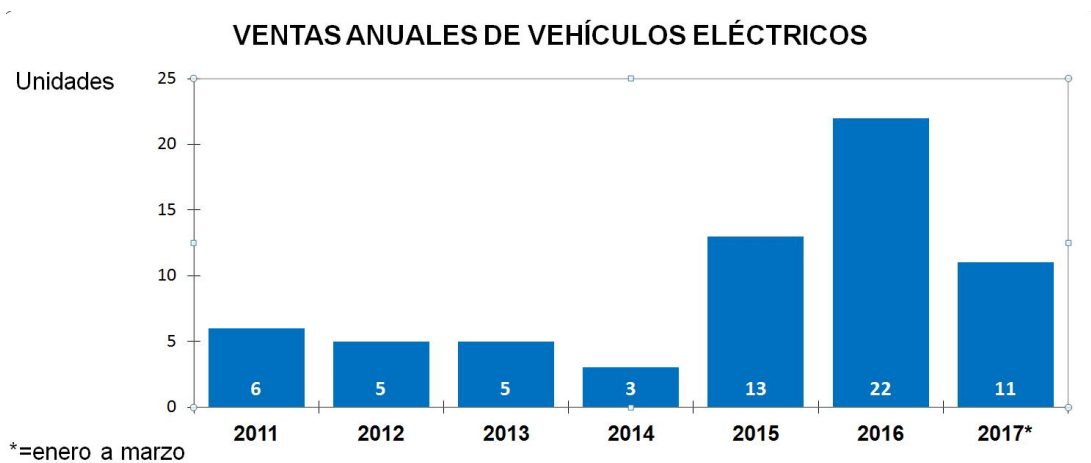


Fig.4.1.1. Ventas anuales de automóviles eléctricos. Fuente: [27]

Con respecto al parque automotriz el año 2015 se reporta un total de 216 vehículos eléctricos en circulación, incluyendo híbridos y trolebuses en Valparaíso, de un parque automotor de 4.647.062 a nivel nacional [30]. En lo que respecta solamente a automóviles eléctricos, se estima actualmente un parque automotriz actual cercano a 150 unidades [29].

La cantidad de automóviles eléctricos nuevos en el mundo más que se ha triplicado desde el 2013 y en los últimos años tuvo un crecimiento del 42% con un volumen total de 773.600 unidades. A nivel global presentan una participación de mercado de 0,86%. [30]

En términos de volumen, China es el mayor mercado a nivel mundial registrando 351.000 automóviles nuevos vendidos el año 2016. Por su parte, Estados Unidos vendió 157.000 unidades el 2016 [31]. En comparación con los 88,1 millones de automóviles vendidos a nivel mundial el 2016 [32] se puede concluir que Estados Unidos y Japón tienen 0,57% a nivel global de participación de Mercado de automóvil eléctrico en comparación al volumen de automóviles convencionales, a la vez que más del 60% de los automóviles eléctricos se venden en estos mismos países. Esto da cuenta de lo relativamente pequeño del mercado del automóvil eléctrico a nivel mundial.

Con respecto a la participación de mercado del auto eléctrico por países, en Noruega el año 2016 prácticamente 1 de cada 3 automóviles vendidos fue eléctrico en comparación al año 2015 donde casi 1 de cada 4 de los automóviles nuevos registrados fue eléctrico [33][34]. En esta misma dimensión sigue Holanda que registró una baja en participación de mercado entre 2015 y 2016 y Suecia con 3,5% el año 2016. [33]

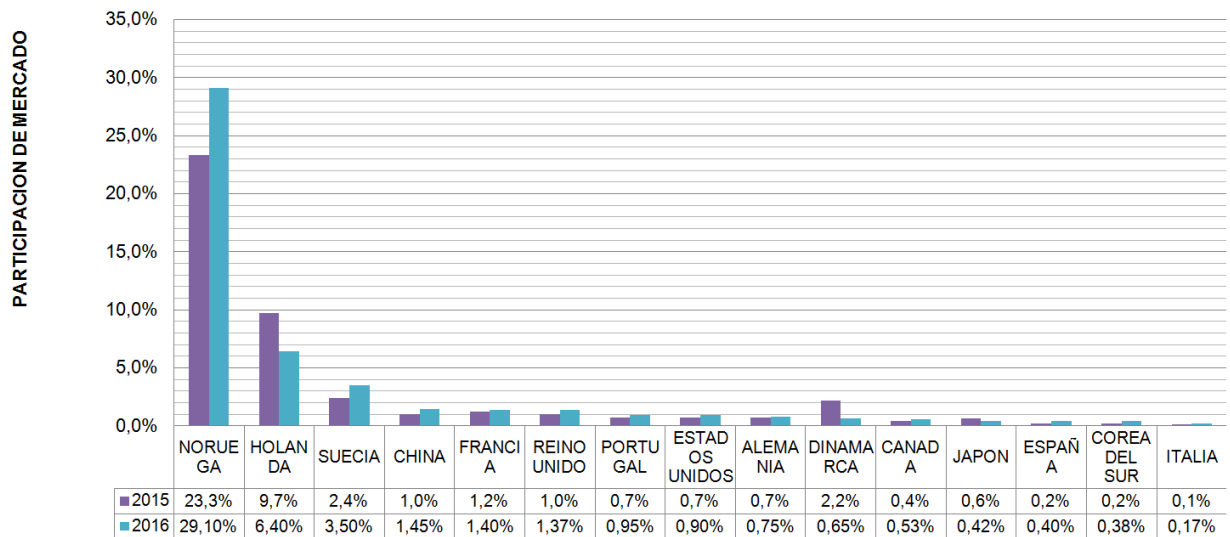


Fig. 4.1.2 Participación de Mercado en distintos países.

Fuente Elaboración Propia con datos de [21][22]

En lo que respecta al parque automotriz total a nivel mundial el año 2016 se llegó a los 2 millones de automóviles en circulación [3]

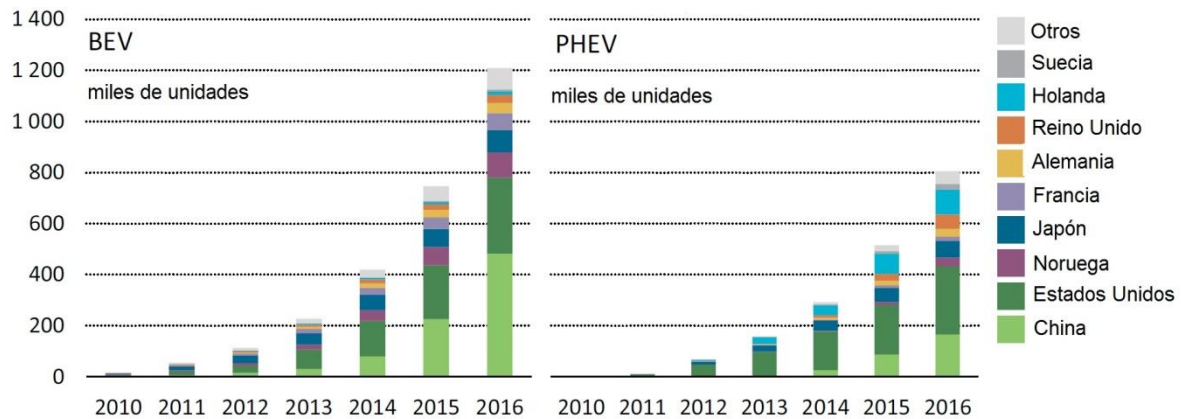


Fig. 4.1.3. Parque automotriz de automóviles eléctricos (BEV) e híbridos conectables (PHEV). Fuente: [3]

4.1.1 BARRERAS PARA LA INTRODUCCIÓN DEL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO

Existen barreras para conseguir una participación de mercado significativa que la industria de los automóviles eléctricos no ha podido superar, muchas de las cuales tienen relación con la resistencia a la adopción de nuevas tecnologías por parte del consumidor final.

Los PEV deben competir de forma efectiva con los vehículos ICE, en lo que respecta a satisfacer las necesidades de los consumidores. No obstante, se encuentran en una etapa temprana de desarrollo como producto masivo y agregan complejidad e incertidumbre al proceso de compra de un vehículo.

Encontrándose el consumidor bajo condiciones de incertidumbre y riesgo percibido, tiende a decidirse por lo familiar y lo conocido. Dado que los productos innovadores requieren más aprendizaje que los existentes, el esfuerzo que el consumidor debe hacer en la decisión es mayor.

Para destronar a las tecnologías consolidadas, las nuevas tecnologías deben ofrecer ventajas y beneficios suficientes que le permitan superar por lejos cualquier diferencia de precio, riesgo percibido e incertidumbre.

Los desarrolladores de nuevas tecnologías deben enfrentarse al desafío de desarrollar el mercado y motivar a los consumidores a adquirir sus productos. La tecnología consolidada, en este caso el automóvil con motor de combustión interna tiene décadas de producción, probado funcionamiento y experiencia que han

conseguido reducir sus costos, más aún su tecnología sigue mejorando sobretodo en la búsqueda de reducir emisiones y proporcionar más eficiencia.

Por otra parte los automóviles ICE cuentan con una infraestructura de soporte omnipresente en lo que respecta a estaciones de recarga de combustible, servicio técnico, suministro de repuestos, etc. El consumidor conoce los atributos con los cuales comparar y evaluar sus alternativas de vehículos con motor de combustión interna estando acostumbrados a comprar, manejar y cargar combustible en ellos, por lo que una de las principales barreras a la adopción de vehículos PEV es lo acostumbrada que se encuentra la gente a la tecnología del motor de combustión interna. Como fue citado en [35], una vez enterado de la noticia del lanzamiento de la versión eléctrica del modelo Demon de Dodge, un antiguo corredor de carreras señaló *“Quiero que mi auto suene como un volcán en erupción, con explosiones y fuego, no como una licuadora hiperkinética”*.

4.1.1.1 Barreras a la compra de automóviles eléctricos a nivel global

En varios estudios [36, 37, 38, 39] se distinguen barreras a la compra de PEV las cuales tienen que ver fundamentalmente con la percepción de los consumidores:

Costo de adquisición

En una encuesta aplicada en Alemania [39], se menciona que la mayoría de los usuarios y potenciales clientes (36%) critican el alto precio de los vehículos eléctricos poniendo esta razón en la más importante barrera de entrada.

Desde el punto de vista del cliente, pese a ser ambientalmente amigable, el automóvil eléctrico posee mayores desventajas que el automóvil con motor de combustión interna, por lo cual su precio debería ser menor. Esto es muy difícil de lograr sobretodo para un producto que se encuentra aún en su etapa de desarrollo e innovación. Si no existe una gran demanda que justifique la producción en masa no se puede lograr economías de escala que reduzca los precios. Se cita en [38] que aumentando el despliegue de estaciones de recarga, los automóviles BEV solo serán competitivos de no superar sus precios en más de 20% con respecto al automóvil con motor de combustión interna suponiendo una presencia importante

de estaciones de recarga. Otro factor que influye positivamente en la decisión de compra es el precio de la gasolina, demostrándose que se produjeron súbitos incrementos en la venta de automóviles eléctricos por efecto de incrementos de precios de la gasolina. [38]

Variedad y disponibilidad limitada de EV

Los consumidores se encuentran acostumbrados a una gran variedad de modelos y estilos y una gran cantidad de marcas de automóviles. El estado actual de la industria del automóvil eléctrico no satisface esta necesidad. Además los concesionarios suelen no mantener disponibilidad de unidades en los locales de venta, lo cual impide tener disponibilidad inmediata a los clientes y contacto con el producto.

Autonomía

Constituye una de las barreras más conocidas y publicadas. La autonomía de los automóviles eléctricos que el desarrollo de la tecnología actual permite aún no consigue igualarse al automóvil de combustión interna. Considerando costos: aumentar la autonomía del automóvil eléctrico sin mejorar la tecnología significa incorporar una batería más grande y pesada a un precio mayor subiendo también el tiempo de carga. Comparativamente con los automóviles con ICE, la autonomía de los automóviles eléctricos sigue siendo baja. Esta variable se encuentra sujeta directamente a la capacidad de almacenamiento de las baterías y a la eficiencia de los motores eléctricos.

En una encuesta [38], los consumidores indicaron que están dispuestos a pagar hasta 75 dolares por milla adicional de autonomía. En otro estudio [39], las personas que contestaron una encuesta en Alemania el 30% de los encuestados indicó que la baja autonomía es una de las mayores desventajas situando esta razón en segundo lugar, mismo lugar que ocupa esta razón en [40]

El fenómeno psicológico que ocurre en los usuarios de automóviles eléctricos debido a la inquietud que proviene de la baja autonomía que posee el vehículo en

comparación a la distancia que se espera recorrer y la posibilidad de quedarse detenido en el camino es llamado en la industria ansiedad de la autonomía (“range anxiety”)

Entendimiento del consumo de la electricidad

Los consumidores están acostumbrados a recargar gasolina y entender la autonomía que les queda en relación a la cercanía con las próximas estaciones de servicio. No obstante para los nuevos conductores de automóviles eléctricos es una nueva experiencia recargar con electricidad y surge la necesidad de entender la interacción entre varios factores como la capacidad de almacenamiento de las baterías, el acceso a la infraestructura de carga y los hábitos de conducción.

La cantidad de energía almacenada es desplegada en el tablero indicando una estimación de la autonomía. No obstante la batería se consumirá más rápido o más lento dependiendo de la velocidad de conducción, las condiciones del camino y los hábitos de conducción.

Los factores ambientales influyen también ya que bajas temperaturas reducen el desempeño de la batería mientras que temperaturas altas usualmente traen consigo la necesidad de utilizar el aire acondicionado que redundo en mayor consumo de energía. [37]

Calculando el costo del combustible

Determinar el costo de la electricidad en relación al de la gasolina es otro factor que afecta la decisión de compra. La mayor parte de los consumidores no está dispuesto a realizar cálculos de energía de esta naturaleza. Este desconocimiento de los costos representa otra barrera a la compra.

Infraestructura de carga necesaria

Los compradores potenciales de PEV necesitan saber que tipo de infraestructura necesitan en su domicilio, como instalarla y como encontrar estaciones de carga cuando las necesitan, como suscribirse o tener acceso al pago de las estaciones de carga.

A diferencia de los automóviles ICE los PEV pueden recargarse en el domicilio, en el lugar de trabajo y en lugares públicos. El hecho de poder cargar el automóvil en el domicilio es subvalorado por los consumidores que no poseen automóviles eléctricos. No obstante la percepción de falta de infraestructura de carga en espacios públicos constituye un factor que contribuye negativamente a la masificación del automóvil eléctrico.

En una encuesta realizada el 2010 [41] el 54% de los encuestados expresaron su indisponibilidad a comprar EV a menos que el acceso a puntos de recarga sea tan inmediato como lo son actualmente las estaciones de servicio para cargar gasolina. Para superar la barrera de la infraestructura deben hacerse inversiones que permitan realizar fácilmente estaciones de carga. Pero los inversionistas son reacios a comprometerse sin una proyección de demanda que los auspicie. Se produce lo que en programación de computadores se conoce como deadlock o abrazo mortal en el cual existiendo dos o más procesos cada cual bloquea la ejecución del otro resultando en el bloqueo permanente de un sistema.

Instalación de carga domiciliaria

Los consumidores de automóviles eléctricos que poseen un estacionamiento propio deben conocer su infraestructura existente y a partir de esto deben tomar varias decisiones al momento de decidir qué sistema de carga domiciliario requieren: arrendado o comprado; que tipo de cargador; que modificaciones al sistema eléctrico de la casa se requieren; que permisos se requieren; es o no necesario realizar una nueva instalación eléctrica, etc.

Para casos de consumidores que viven en condominios o estacionan en la calle se presentan otras dificultades para contar con un sistema de carga domiciliario.

Falta de información sobre los incentivos.

La aplicación de incentivos financieros puede ayudar a mitigar la diferencia entre el costo de adquisición de un automóvil eléctrico y uno convencional, así como también los incentivos no financieros tales como acceso a vías exclusivas, estacionamientos gratuitos, etc. En países como Holanda y Noruega por ejemplo la

gente conoce bien los incentivos lo cual permitió un desarrollo de esta industria, no obstante en Estados Unidos la gente en general no se encuentra familiarizada con ellos.[37]

Falta de conocimiento sobre beneficios de los EV

Los propietarios de automóviles eléctricos mencionan beneficios que valoran de manera relevante pero son desconocidos para el resto del público. Mencionan por ejemplo que permiten aceleración suave, son silenciosos, no requieren cambio de aceite (exceptuando los híbridos) y la agradable sensación que permite el frenado regenerativo. Algunos de estos beneficios pueden ser valorados de distinta forma según el consumidor y por eso es tan importante el acceso al manejo de prueba. El público en general no está familiarizado con las mejoras tecnológicas de los últimos años importando sobretodo aquellas que traen beneficios valorados por los consumidores [37].

El consumidor de la mayoría más tardía siempre preferirá la tecnología prevaleciente en caso de existir dudas con la nueva tecnología. Por lo tanto se requiere de divulgación de información, empoderamiento adicional e incentivos para superar las barreras identificadas.

4.1.1.2 Costo total de propiedad (TCO) en Chile

El Costo total de propiedad (del término anglosajón Total Cost of Ownership, TCO), es el costo total de un producto a lo largo de su ciclo de vida completo. A continuación se da a conocer el TCO de varias tecnologías para automóviles livianos similares en prestaciones y potencia, de tal forma de obtener para la realidad chilena en que medida este parámetro constituye una barrera de entrada.

Se considera como costo directo el precio de cada automóvil incluyendo impuesto al valor agregado vigente.

Como costos recurrentes se consideran: costos variables de energía, costos fijos de mantención, depreciación. Estos se obtuvieron directamente del proveedor.

No se consideran costos indirectos como peajes, estacionamientos, permiso de circulación, etc. ya que la finalidad de la realización del TCO es comparativa y en la

actualidad estos costos son idénticos para todas las tecnologías. Esto no deja de ser importante ya que como se verá más adelante, la eliminación de costos indirectos son una manera de intervenir el mercado para incentivar una tecnología sobre otra.

El desarrollo que se presenta en el ANEXO 2, consistió en realizar el valor actual neto de los costos indicados durante el ciclo de vida de los automóviles que se fijó en 7 años y con este valor se hizo el cociente con el total de kilómetros recorridos fijado en 105.000 kilómetros. De esta manera se obtuvieron los resultados que se presentan en la siguiente tabla.

ITEM UNITARIO (POR km)	ELECTRICO	HIBRIDO	BENCINA	DIESEL
COSTO VARIABLE	-22	-21	-36	-18
COSTO MANTENCIÓN	-6	-11	-13	-14
DEPRECIACIÓN	-193	-146	-80	-91
COSTO DIRECTO	-278	-210	-114	-130
TCO	-499	-387	-243	-253

Tabla 4.1.1.2.1 Valor actual neto de costos por kilómetro a lo largo del ciclo de vida para diferentes tecnologías de automóviles (pesos chilenos por kilómetro). Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al cálculo realizado, el costo total de propiedad por kilómetro del automóvil eléctrico analizado más que duplica (es 105% más alto) el costo de propiedad por kilómetro de un automóvil a bencina que resultó ser el que tiene el costo total de propiedad por kilómetro más bajo.

De acuerdo a datos de ANAC, el precio promedio referencial para automóviles livianos y medianos de pasajeros en Chile es 9,8 millones de pesos chilenos, lo cual constituye un buen indicador de que precio los consumidores chilenos consideran razonable por un automóvil de estas características. Los automóviles eléctricos actualmente tienen un precio mucho más alto que esto en promedio, que puede llegar fácilmente a duplicar este precio.

Existen estudios que indican que tan pronto como el año 2022 el precio de los automóviles eléctricos va a igualar al de los automóviles con motor de combustión interna [42] lo cual significaría el inicio del despegue en las ventas a nivel mundial en las ventas de automóviles eléctricos.

4.1.1.3 PROYECCIONES DE PARTICIPACION DE MERCADO DE EV

Se indican a continuación algunas proyecciones de ventas de autos eléctricos nuevos de algunos analistas de mercado incluyendo sus fundamentos.

Morgan Stanley [43] indicó que *“Pese a los muchos cuestionamientos que aún quedan sobre los autos eléctricos son los costos crecientes de impuestos por la regulación sobre los motores de combustión interna lo que está empujando a los fabricantes a cambiar su estrategia hacia los EV, así como hacia mejorar la tecnología de baterías”*. Con este argumento los analistas de Morgan Stanley proyectaron una participación de mercado entre un 10% y un 15% para el 2025.

De acuerdo con Bloomberg New Energy Finance *“Los precios de las baterías cayeron 35% el último año y se encuentran en una trayectoria que permitirá a los automóviles eléctricos ser tan asequibles como los de gasolina sin incluir subsidios el año 2022. Eso marcará el comienzo de la verdadera venta masiva para los automóviles eléctricos que para el 2040, alcanzará 35% de los automóviles nuevos vendidos.”* [42]

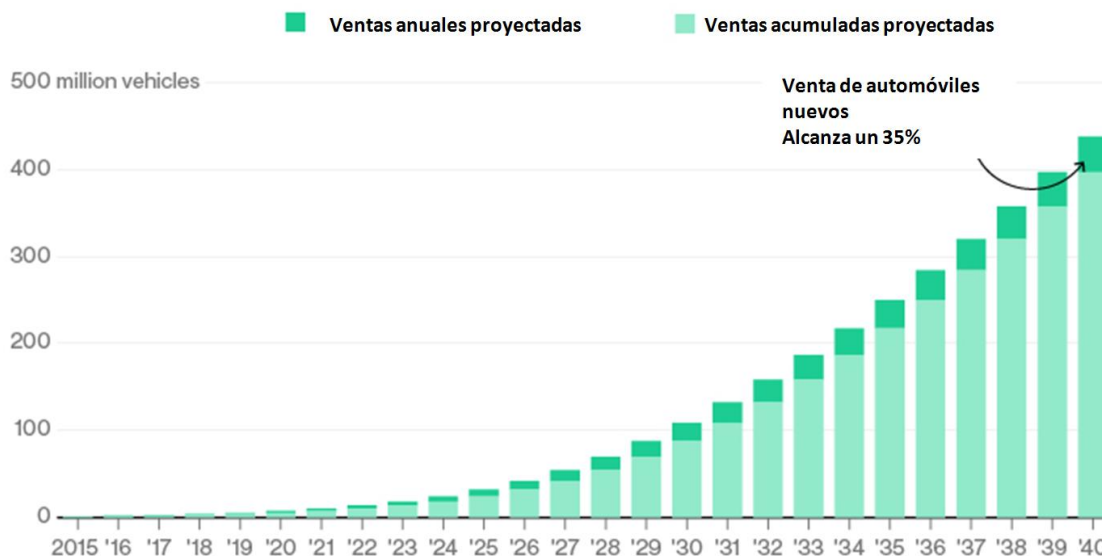


Fig.4.1.1.3.1. Proyección de ventas de automóviles eléctricos según Bloomberg New Energy Finance. Fuente: [42]

El analista financiero Morningstar, con base en Chicago, indica que *“Vemos la regulación como el principal promotor al 2020 esperando una adopción mayor en los años siguientes a la vez que las mejoras a la tecnología de las baterías permiten a los EV alcanzar paridad de costo con los ICE en el 2025. Proyectamos una penetración de mercado del 10% al 2025 comparable con las tasas de innovaciones similares que han alcanzado paridad de costos”* [44]

IHS Markit, analista de mercado con base en el Reino Unido, comenta que si bien *“La participación de los automóviles eléctricos constituyen un pequeño porcentaje de las ventas de vehículos llegando hoy al 1%, han crecido más de 1.000% desde 2010”* por lo que espera que continúe hasta llegar a una cifra entre 10% y el 35% de las ventas de vehículos nuevos el 2040. Agrega también que *“Los factores claves en el crecimiento de la adopción de vehículos eléctricos son los avances significativos en tecnología de baterías, apoyo financiero de los gobiernos, nuevas regulaciones y valores de la generación millennial”* [45]

La asociación alemana de industriales VDA (Verband der Automobilindustrie) proyecta entre un 15% y 25% de venta de automóviles eléctricos nuevos para el 2025 indicando que esperan que *“Los consumidores adopten esta tecnología antes de lo pensado originalmente dadas las mejoras a la infraestructura de carga y la bajada de los costos que permite acceso a una mayor cantidad de clientes.”* [46]

La consultora Mckinsey&Company, con base en Nueva York, proyecta entre un 10% y un 50% de ventas de automóviles nuevos para el año 2030 basándose en que se creará impulso en los próximos años debido a que las regulaciones de emisiones se hacen más estrictas, los costos de baterías se encuentran bajando, la infraestructura de carga se encuentra creciendo así como la aceptación del consumidor. Agrega también que *“La velocidad de adopción será determinada por la interacción entre la demanda de los consumidores y el empuje que den los incentivos regulatorios.”* [47]

De acuerdo a Technavio, consultora especializada en tecnología automotriz, *“La adopción de vehículo crece a nivel global debido a las restricciones de protección ambiental que buscan reducir las emisiones y aumentar la eficiencia de los*

combustibles”. Agrega además que se espera que la participación de mercado alcance 16% a nivel global el año 2021. [48]

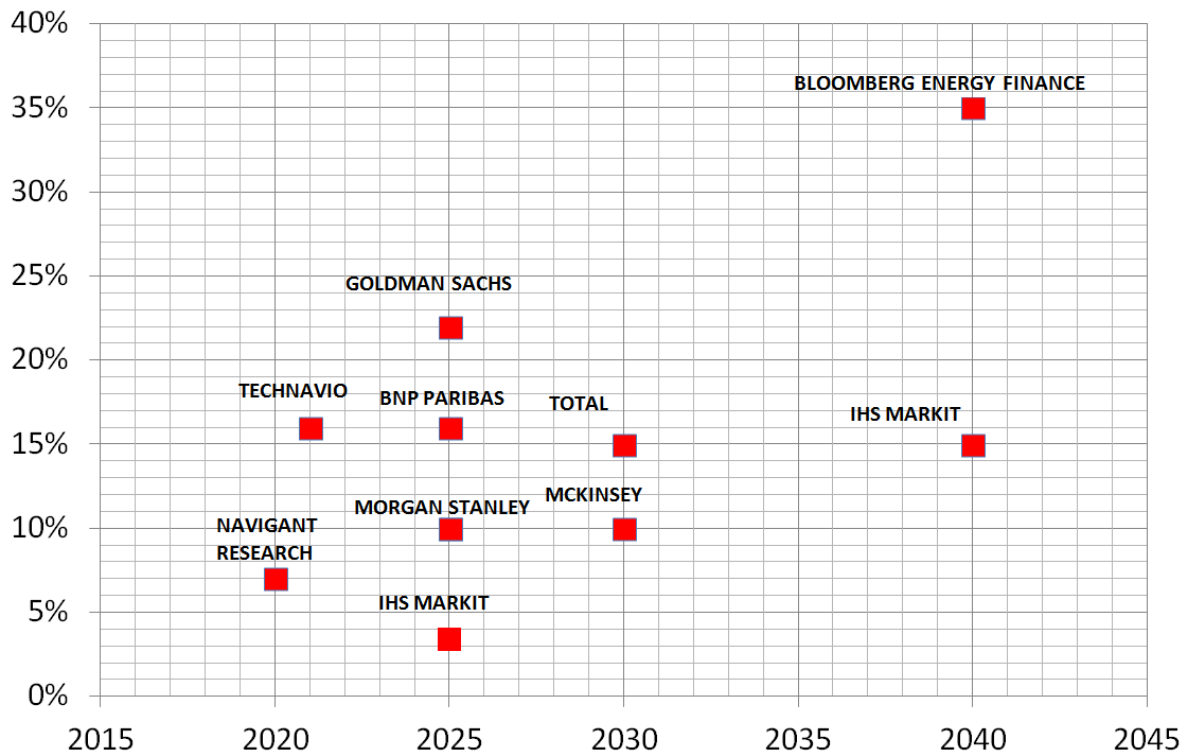


Fig.4.1.1.3.2. Proyecciones de Mercado de distintos analistas del mercado.

Fuente: Elaboración propia con datos de [42][45][46][47][48]

4.1.2 DESARROLLO DE LA PROYECCIÓN

Tal como se explicó en la metodología, se generaron cuatro escenarios de participación de mercado: conservador, moderado, optimista y agresivo.

Conservador

Este escenario considera la suma del poco desarrollo de mercado de los vehículos eléctricos en Chile a la fecha y la posibilidad de que en Chile no se desarrollen incentivos al mercado más la posibilidad que el público chileno se mantenga apegado a la tecnología existente llegando a un 2,5% de participación de mercado en el año 2040.

Moderado

Este escenario considera la suma del poco desarrollo de mercado de los vehículos eléctricos en Chile a la fecha y la posibilidad de que en Chile no se desarrollen incentivos al mercado o no sean los suficientes, llegando con esto a una participación de mercado de un 5% el año 2040.

Optimista

Considera un 15% de participación de mercado a nivel nacional para el 2040, se considera optimista ya que Chile solamente bajo circunstancias muy favorables y con la aplicación de incentivos correctos podría llegar a este valor y muy difícilmente podría superarlo en esa fecha.

Agresivo

Considera un 35% de participación de mercado a nivel nacional para el 2040. Este escenario es el más agresivo ya que iguala la proyección más optimista de las registradas en 4.1.1.3. para este año. Pudiera darse por la suma de incentivos correctamente aplicados más circunstancias favorables al desarrollo del mercado que en la actualidad no están contempladas por ejemplo:

- La presencia de un liderazgo o movimiento social que impulse la utilización del vehículo eléctrico dados sus beneficios ambientales percibidos, existen antecedentes en este respecto por ejemplo Patagonia sin Represas.
- Un cambio tecnológico adicional e intempestivo que reduzca aún más los costos de las baterías como por ejemplo una salida temprana al mercado de las baterías de litio-aire.
- La implementación exitosa de algún programa de desarrollo estatal de industria del automóvil eléctrico o de baterías para automóviles en Chile aprovechando ventajas competitivas de recursos naturales de litio en el norte de Chile.
- Alianzas entre privados que generen un impulso al mercado. Ejemplo: campaña de productores de leche o campaña de productores de huevo.

- Cualquier otro cambio tecnológico, social, político o regulatorio no contemplado que influya de forma positiva al desarrollo de este mercado en Chile.

Cada escenario descrito define una trayectoria que podría seguir la participación de mercado de los automóviles eléctricos en Chile. Los parámetros definidos para cada escenario se muestran en la Tabla.4.1.2.1

PARAMETRO	CONSERVADOR	MODERADO	OPTIMISTA	AGRESIVO
t1	2023	2022	2021	2020
y1	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%
t2	2040	2040	2040	2040
y2	2,50%	5,0%	15%	35%

Tabla 4.1.2.1. Parámetros para curvas de participación en cuatro escenarios definidos. Fuente: Elaboración Propia

Gráficamente, los escenarios se pueden observar en Fig.4.1.2.1.

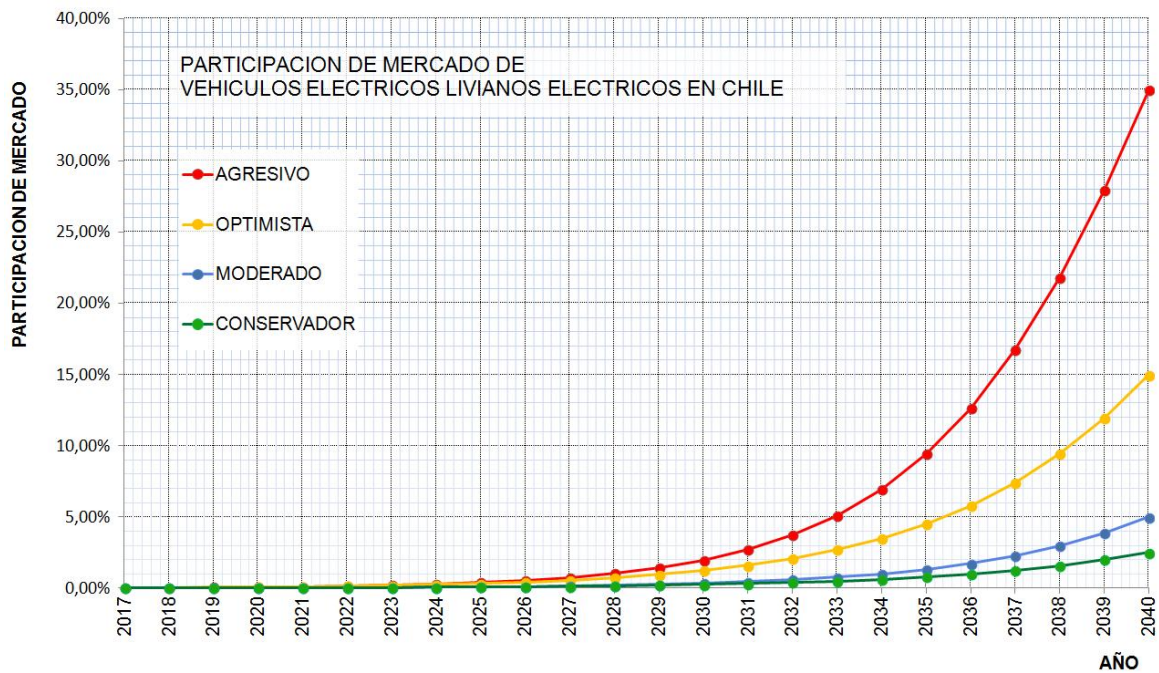


Fig.4.1.2.1. Escenarios de participación de mercado proyectados. Fuente: Elaboración Propia.

A partir de cada uno de los escenarios de participación de mercado, surge una curva de parque automotriz para automóviles eléctricos. La Fig.4.1.2.2 muestra los casos base del parque automotriz generados en cada uno de los 4 escenarios, con los cuales se desarrollará la evaluación económica, para a continuación presentar

la sensibilización del parque automotriz en cada escenario ante cambios en el PIB per cápita.

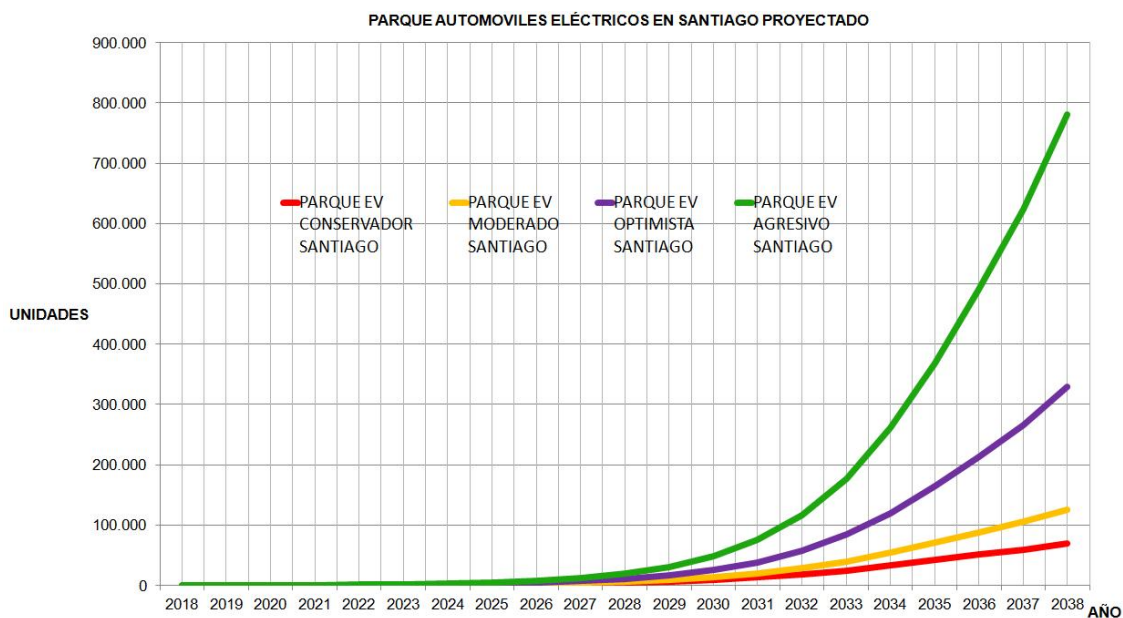


Fig.4.1.2.2.Parque automóviles eléctricos en Santiago para 4 escenarios distintos. Elaboración Propia.

Conservador

Bajo este escenario el parque proyectado al año 2040 será menor a 590.000 unidades con 90% de probabilidades.

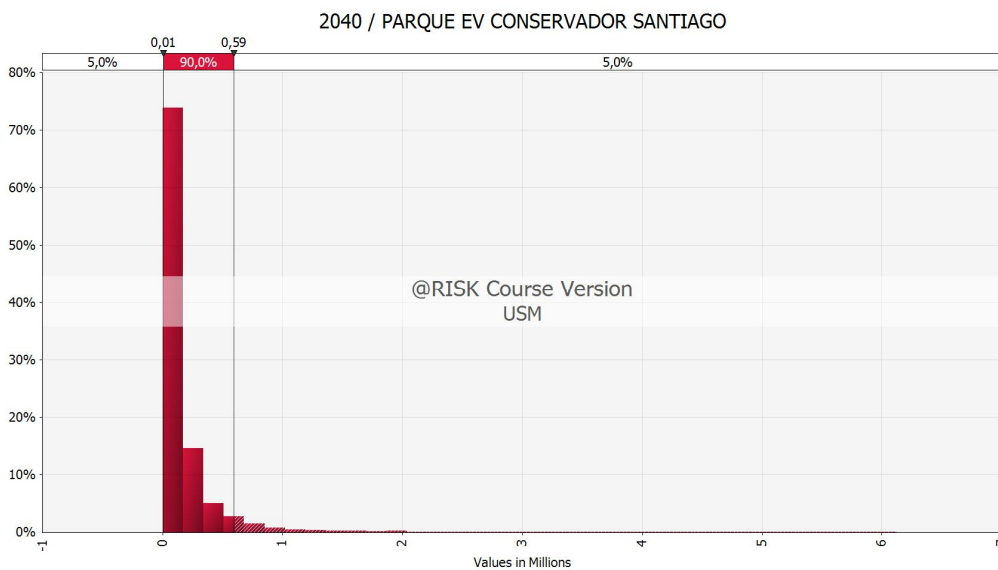


Fig.4.1.2.3. Parque de automóviles eléctricos proyectado en Santiago al año 2040 bajo escenario conservador.

Fuente: Elaboración Propia

Moderado

Bajo este escenario el parque proyectado al año 2040 será menor a 1,14 millones de unidades en circulación con 90% de probabilidades.

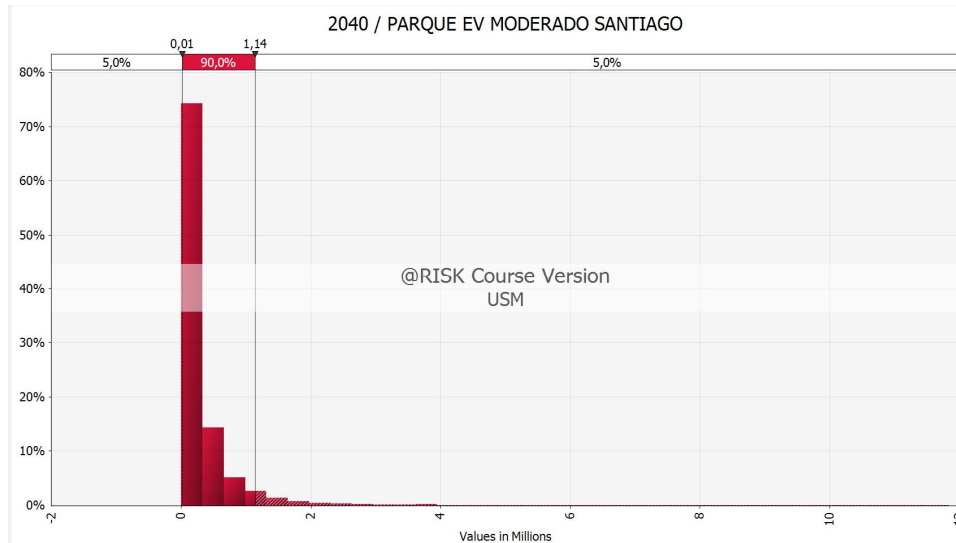


Fig.4.1.2.4. Parque de automóviles eléctricos proyectado en Santiago al año 2040 bajo escenario moderado. Fuente: Elaboración Propia

Optimista

Bajo este escenario el parque proyectado al año 2040 será inferior a 3,23 millones de unidades con 90% de probabilidades.

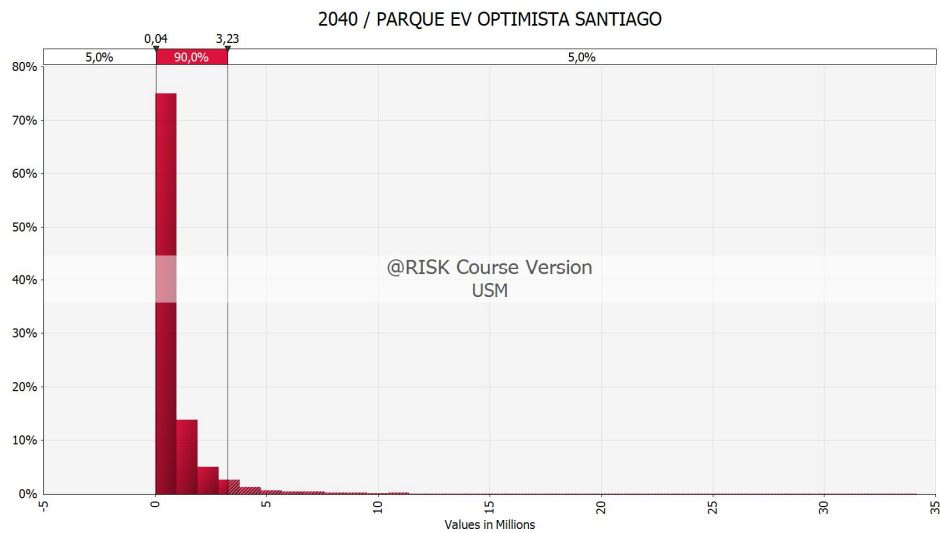


Fig.4.1.2.5. Parque de automóviles eléctricos proyectado en Santiago al año 2040 bajo escenario optimista. Fuente: Elaboración Propia

Agresivo

Bajo este escenario el parque proyectado al año 2040 será menor a 7,7 millones de vehículos eléctricos con 90% de probabilidades.

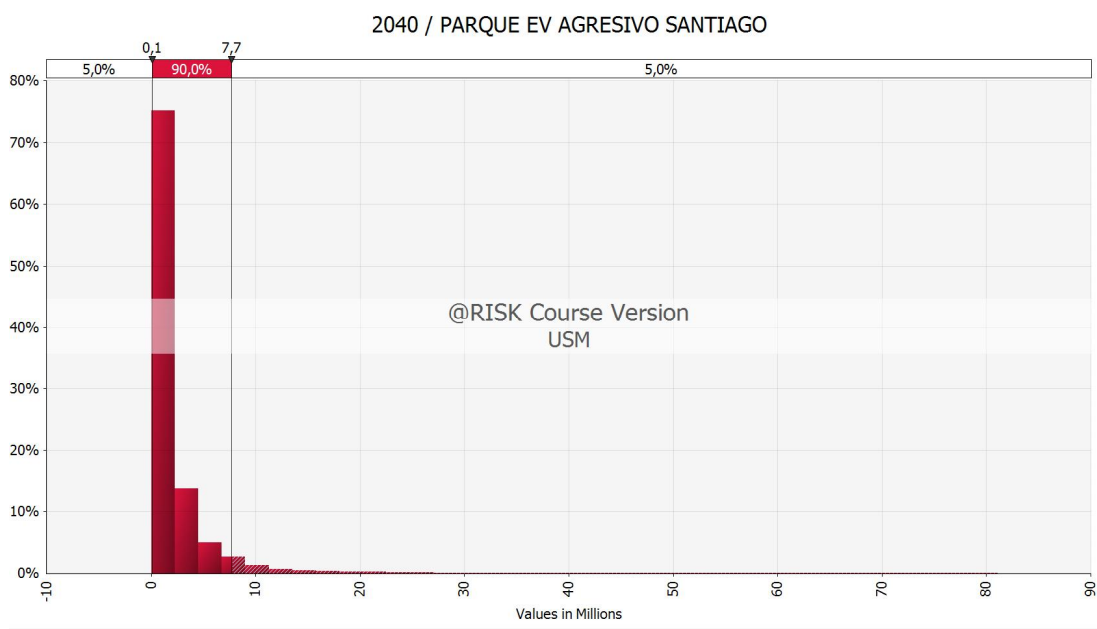


Fig.4.1.2.6 . Parque de automóviles eléctricos proyectado en Santiago al año 2040 bajo escenario agresivo. Fuente:
Elaboración Propia

5 REGULACIÓN

5.1 REGULACIÓN EN CHILE

En Chile aún no existe una regulación específica a los automóviles eléctricos ni para los cargadores de batería de automóviles eléctricos. No obstante el año 2009 se promulgó la ley 20.259 del Ministerio de Hacienda, que se encuentra caduca en la actualidad que aplicaba una bonificación de 100% al permiso de circulación para los automóviles híbridos de acuerdo a su precio de adquisición. Si costaba menos de 730 UF se bonificaba por 4 años, mas de 730 UF y hasta 1220 UF por dos años. Esta ley fue popularmente conocida como la “Ley Civic”, pues coincidió su promulgación con el lanzamiento al mercado del primer vehículo híbrido en Chile, el Honda Civic Hybrid [49, 50]

Por otra parte, el Decreto 61 del Ministerio de Energía “Aprueba Reglamento De Etiquetado De Consumo Energético Para Vehículos Motorizados Livianos Y Medianos Que Indica” [51] fue modificado en diciembre de 2016 por el Decreto 107 para incorporar vehículos eléctricos e híbridos. Este reglamento establece un sistema nacional de etiquetado vehicular para cumplir con los dos objetivos siguientes:

- a. Superar la barrera de información existente en el mercado de vehículos livianos nuevos en cuanto a su consumo energético, proveyendo dicha información en una manera estandarizada y de fácil comprensión, y
- b. Generar un sistema nacional de medición y monitoreo del consumo energético en el parque de vehículos nuevos, objetivo y transparente, que provea información necesaria para futuras decisiones de política pública.

Con respecto a los automóviles eléctricos e híbridos, destaca en esta normativa:

Artículo 40. ii. En el caso de los vehículos eléctricos puros, se deberá informar el rendimiento eléctrico (RE) en kilómetros por kilowatts hora (km/kWh), que se calculará de la siguiente manera: $RE (km/kWh) = (1/ce) \times 1000$, donde "ce" corresponde al consumo eléctrico expresado en (Wh/km).

Se reemplaza la expresión "rendimiento de combustible", por "rendimiento energético" en los Artículos 5 y Artículo 7.

Cabe mencionar que en Chile los combustible fósiles de consumo vehicular deben pagar un impuesto específico que posee un componente base y un componente variable y está medido en UTM/m³. Los vehículos eléctricos al no consumir combustibles fósiles de forma directa están exentos de forma natural a estos impuestos lo cual es un incentivo que debe tenerse en cuenta a la hora de analizar esquemas regulatorios.

Beneficios

En lo que respecta a beneficios para incentivar la utilización de automóviles eléctricos, recién este año a nivel municipal se presentó la primera iniciativa tendiente a incentivar la utilización de automóviles eléctricos. La Municipalidad de Las Condes anunció que dará el beneficio de estacionamiento gratis para automóviles híbridos y eléctricos en esta comuna, habiendo 1070 estacionamientos municipales de superficie sujetos a esta medida. [52]

Medidas indirectas

Si bien, no corresponde a un beneficio directo al automóvil eléctrico, la aplicación de un impuesto a las emisiones, como el llamado impuesto verde a fuentes móviles, genera un subsidio indirecto a esta tecnología. Este impuesto se estableció en el marco de la reforma tributaria del año 2014 y el presente año comenzó la implementación de su tercera etapa. Es calculado en base a las emisiones de óxidos de nitrógeno en los autos nuevos, livianos y medianos, en cuyo cálculo se consideran los siguientes parámetros: niveles de emisión de gases, rendimiento y valor de venta. A modo de ejemplo, un vehículo Hyundai Elantra de 12 millones de pesos, pagaría un impuesto de 128 mil pesos, mientras un Hyundai Accent con motor Diesel y un costo de 13,6 millones de peso, de 736 mil pesos aproximadamente [53, 54].

Otra de las medidas indirectas que benefician a los automóviles eléctricos es la exención a la restricción vehicular en Santiago a vehículos híbridos y eléctricos.

5.2 REGULACIÓN EN OTROS PAISES

INCENTIVOS A LOS AUTOMOVILES ELÉCTRICOS		NORUEGA	HOLANDA	SUECIA	CHINA	FRANCIA	REINO UNIDO	PORTUGAL	ESTADOS UNIDOS	ALEMANIA	DINAMARCA	CANADA	JAPON	ESPAÑA	COREA DEL SUR	ITALIA
INCENTIVOS A LA COMPRA	REBAJAS (A PRECIO O A REGISTRO)															
	EXENCION DE IMPUESTOS(NO IVA)															
	EXENCION DE IVA															
	BENEFICIO TRIBUTARIO															
INCENTIVO A USO DE AUTOMOVIL ELECTRICO EN CIRCULACION	EXENCION A PERMISO DE CIRCULACION															
	EXENCIONES DE PAGO*															
	REDUCCIONES A TARIFA ELÉCTRICA															
	BENEFICIO TRIBUTARIO (EMPRESAS)															
ELIMINACION DE RESTRICCIONES A ACCESOS	ACCESOS A VIAS EXCLUSIVAS BUSES															
	ACCESOS A VIAS DE ALTA OCUPACION (HOV)															
	ACCESO A ZONA DE TRAFICO RESTRINGIDO															

*PEAJE, ESTACIONAMIENTO, TRANSBORDADOR

■ EN CIERTAS REGIONES GEOGRÁFICAS CON MENOS DE 50% DE LA POBLACION COMO POSIBLE BENEFICIARIO
■ EN CIERTAS REGIONES GEOGRÁFICAS CON MAS DEL 50% DE LA POBLACION COMO POSIBLE BENEFICIARIO
■ APLICADO A NIVEL NACIONAL

Fig.5.2.1. Esquemas de incentivos al automóvil eléctrico utilizados en algunos países. Fuente: [34]

Los países que poseen políticas a favor de la movilidad eléctrica deben activar incentivos a la adopción de vehículos eléctricos y a la infraestructura de carga de forma conjunta. Los incentivos se pueden clasificar en directos y fiscales.

Casi la totalidad de países con participación de mercado mayor al 0,5% de EV poseen estos incentivos.

Algunos países han implementado programas de subsidios a la EVSE o créditos fiscales para favorecer el despliegue de estaciones de carga accesibles públicamente. Algunos ejemplos de estos programas se mencionan a continuación:

- En Estados Unidos se ofrecen subsidios, descuentos y beneficios tributarios, generalmente el estado cubre un porcentaje del costo hasta un tope máximo. Algunos estados subsidian los costos de instalación y equipos mientras otros solamente subsidian uno de los dos [55].
- En Francia se tiene el objetivo de conseguir una red de carga nacional para lo cual se ofrecen incentivos tributarios a privados que inviertan en mantención y operación de infraestructura de carga en espacios públicos.

INCENTIVOS A LA INFRAESTRUCTURA DE CARGA PARA AUTOMOVILES ELÉCTRICOS (EVSE) POR PAIS																
TIPO DE INCENTIVO	APLICABILIDAD	CANADA	CHINA	DINAMARCA	FRANCIA	ALEMANIA	INDIA	ITALIA	JAPON	HOLANDA	NORUEGA	COREA DEL SUR	ESPAÑA	SUECIA	REINO UNIDO	ESTADOS UNIDOS
INCENTIVOS DIRECTOS	CARGADORES DE ACCESO PÚBLICO	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	CARGADORES PRIVADOS	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
INCENTIVOS FISCALES	CARGADORES DE ACCESO PÚBLICO			■	■						■	■				■
	CARGADORES PRIVADOS			■	■					■		■				■

■ EN CIERTAS REGIONES GEOGRÁFICAS CON MENOS DE 50% DE LA POBLACION COMO POSIBLE BENEFICIARIO
■ EN CIERTAS REGIONES GEOGRÁFICAS CON MAS DEL 50% DE LA POBLACION COMO POSIBLE BENEFICIARIO
■ APLICADO A NIVEL NACIONAL

Fig.5.2.2. Esquemas de incentivos a la infraestructura de carga utilizados en algunos países. Fuente: [34]

El caso de Noruega

Con una larga tradición en impuestos a los combustibles fósiles (desde 1931), en 1989 Noruega se convirtió en el primer país del mundo en establecer un objetivo de reducción de emisiones de CO₂. El precio del petróleo y diesel son percibidos como muy altos por la población, esto, en combinación con el costo relativamente bajo de la electricidad, convierte al EV en una alternativa competitiva en términos de costos variables de operación (costos de la energía para movilidad).

Por otra parte, existen políticas públicas generosas para promover el uso del automóvil eléctrico que juegan un rol sustancial entre las que se encuentran:

- Acceso a pistas de uso exclusivo de buses
- Tarifa liberada en estacionamientos públicos
- Exención del IVA
- Exención de impuesto al automóvil
- Exención de peajes
- Exención de cobro en barcos transbordadores

Noruega ha desarrollado un modelo para el crecimiento de la infraestructura de carga en el cual el estado ha financiado o cofinanciado las inversiones, pero con la propiedad o responsabilidad de la operación en manos privadas, no obstante en algunas ciudades se presentan excepciones a esta regla.

El impulso del estado para participar en el financiamiento ha sido crucial para satisfacer la necesidad del creciente mercado de automóviles eléctricos impulsada por los incentivos. Las compañías privadas también han jugado un rol importante, especialmente en el sector energía.

Los incentivos en Noruega, probadamente efectivos, se encuentran actualmente en un periodo de retroceso en el cual serán retirados de forma paulatina. La exención del IVA, que en Noruega es del 25%, se retirará el año 2020. [56]

6 ESTACIONES DE CARGA

Se revisará la infraestructura típica de las estaciones de carga para luego definir varias alternativas que permitirán comparar económicamente las alternativas propuestas basándose en los resultados que arroje la evaluación económica

6.1 INFRAESTRUCTURA

Se presentarán los principales aspectos a considerar al diseñar una estación de carga para automóviles eléctricos [57].

6.1.1 Ubicación

El problema de la ubicación de la estación de carga es fundamental ya que se requieren ubicaciones efectivas en costo, permitiendo ingresos a la vez que un servicio confiable [58].

La ubicación de las estaciones de carga requiere de estudios acabados que se encuentran fuera del alcance de este trabajo, algunas aproximaciones establecen la infraestructura de carga utilizando modelos matemáticos complejos tales como métodos basados en teoría de grafos o modelos de localización [59].

Cuando la infraestructura de carga ya se encuentra desplegada se pueden utilizar los datos recopilados en ellas, los cuales permiten conocer en detalle el comportamiento de carga de los usuarios en detalle. Por ejemplo, en [60] se realiza un análisis utilizando datos recogidos en 711 unidades desplegadas a lo largo de Irlanda registrando horarios de carga, consumos de energía y duración de las cargas. Con esta información se pueden planificar de mejor manera los requerimientos de ubicación de infraestructura de carga.

Pueden revisarse como ejemplos varios reportes [58, 59, 60, 61], para estudiar el problema de la localización.

6.1.2 Montaje de la unidad

Se requiere una fundación de hormigón apropiada que permita la sujeción de la unidad EVSE a la superficie existente ya sea la acera, el costado de un

estacionamiento u otro. Los equipos de carga DC son típicamente más voluminosos y requieren una fundación más grande que los equipos de carga. Los equipos de carga AC, debido a su menor peso y volumen pueden anclarse a piso por medio de pedestales sin una fundación.

6.1.3 Protección contra choques

Se requieren resaltos para detener las ruedas de los vehículos que se están estacionando o la instalación de pilares metálicos (bolardos) de tal manera de proteger a la unidad de ser dañada por los vehículos.

6.1.4 Señalética.

Resulta particularmente importante para estaciones de carga públicas, se suele indicar las zonas de estacionamiento con símbolos pintados en el suelo y señalética con letreros de tal forma de hacerla visible para los conductores.

6.1.5 Iluminación

El sitio de la estación de carga debe encontrarse apropiadamente iluminado de tal manera de brindar seguridad y comodidad a los usuarios. Se debe considerar iluminación artificial de tal manera de facilitar la operación y la lectura de instrucciones y señalización a los usuarios.

6.1.6 Equipamiento

Unidad EVSE

Se encuentran disponibles de muchos fabricantes con una gran variedad de diseños y características. El tipo y cantidad de unidades elegidas va a depender de la proyección de demanda de usuarios, condiciones específicas del sitio, gestión de datos y modelo de negocio de la estación de carga [57]. Las características que generan impacto al costo de la unidad EVSE son las siguientes:

- Nivel de carga y potencia. Nivel de carga puede ser Nivel 1, Nivel 2 o DC, el cual tiene el costo más alto. La elección de la potencia de carga debe asimilarse a la potencia disponible en el lugar o realizar las

ajustes necesarios. La potencia de carga tiene relación también con el modelo de negocio que se esté planteando pues va a determinar el tiempo que los usuarios permanecerán en el lugar.

- Puertos de carga. Unidades con un puerto único permiten cargar solamente un vehículo a la vez. Existen unidades con múltiples puertos que permiten hasta 4 vehículos a la vez. Los cargadores rápidos DC pueden cumplir con más de un standard, por ejemplo cumplir standard SAE y CHAdeMO. Una unidad con dos puertos puede ofrecer ambos estándares sujeto a cargar un vehículo a la vez.
- Tipo de montaje. Las unidades típicamente se ofrecen para montaje a muro o pedestal. Los dueños favorecerán la elección de montaje a muro siempre que el sitio ofrezca esta posibilidad, dado su menor costo de instalación. La ventaja del montaje sobre pedestal es su flexibilidad para ser montado en otros lugares por ejemplo en medio de un estacionamiento o a un costado de la vereda.
- Características accesorias. La unidad más básica cumple con la certificación UL y permite suministrar energía de forma segura a la vez que dar indicaciones al usuario. Las unidades más sofisticadas poseen características que le añaden costos adicionales como por ejemplo:
 - ✓ Comunicación vía internet inalámbrica 3G que les permite por medio de un servidor centralizado por ejemplo acceso a los usuarios para conocer disponibilidad de estaciones de carga dentro de una red o al dueño de la red de estaciones de carga conocer los parámetros de cada punto.
 - ✓ Control de acceso seguro por RFID o aplicaciones de celular.
 - ✓ Monitoreo del consumo de energía y ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero por utilización de automóviles eléctricos en lugar de vehículos con motor de combustión interna.
 - ✓ Gestión de la energía y respuesta a la demanda para optimizar la carga al sistema de distribución.

- ✓ Pantalla de nivel avanzado que permite interfaz gráfica con el usuario y despliegue de publicidad.
- ✓ Cables retractiles para proteger de daño al equipo y reducir riesgo de tropiezos al usuario.
- ✓ Diagnóstico automático que reporta problemas y genera alarmas de funcionamiento erróneo al administrador del sistema.

6.1.7 Instalación:

Con respecto a mano de obra del contratista y materiales para la instalación de modificaciones al sistema eléctrico, deben considerarse contratistas especializados. La condición y ubicación del equipamiento eléctrico existente determinará la complejidad de las modificaciones a realizar. Se debe contemplar una evaluación del sitio completa al generar un presupuesto para una estación de carga específica que determinará la ubicación y capacidad de las líneas de distribución, requerimientos eléctricos de las unidades a instalar así como su ubicación óptima. El contratista debe realizar el tendido y conexionado de las unidades e instalar el equipo. Debe involucrarse a la empresa de distribución según sea necesario.

6.1.8 Conexión al sistema de distribución

La unidad se conecta al servicio eléctrico por medio de cables eléctricos protegidos por ductos eléctricos (conduits). Se pueden situar conduits de superficie a lo largo de muros si el sitio lo permite. En caso de requerirse instalación subterránea deberá considerarse excavación de zanja o por perforación.

Cuando se requiere zanjas el contratista deberá trazarla y excavarla; tender el conduit, señalizar con una capa de plástico de color rojo y luego rellenar y compactar el área excavada así como reponer la superficie anteriormente removida, según corresponda. Antes de excavar el contratista debe informarse sobre instalaciones existentes en el sitio, como tendidos de gas u otros. El costo dependerá del tipo de material excavado, longitud de la canalización, material de

reemplazo, paisajismo de reemplazo, pintura de reemplazo en el pavimento y cierre temporal de caminos durante la excavación.

Modificaciones al panel eléctrico.

Si existe suficiente capacidad en el panel eléctrico, este se puede modificar instalando interruptores automáticos adicionales, reemplazando el panel por uno más grande con más interruptores o agregando subpaneles para las unidades de carga.

Sistema de medición

Debe instalarse un medidor de energía de tal manera de distinguir el consumo de los cargadores del resto de los consumos del tablero para fines de facturación.

6.1.9 Modificaciones al sistema de distribución

En la mayoría de los casos, cada EVSE debe tener un circuito dedicado. El lugar donde se realizará la instalación debe tener suficiente potencia y un voltaje apropiado desde el sistema de distribución al panel eléctrico de tal forma de cumplir con los requerimientos de la unidad de carga. Si el lugar no cumple con los requerimientos entonces se requerirán cambios al sistema eléctrico. Debe contactarse a la empresa distribuidora para asegurarse que el sistema puede soportar la carga. Los trabajos eléctricos pueden variar desde una modificación al panel eléctrico del punto de consumo hasta la instalación o cambio de transformadores. Para minimizar costos deben tomarse las consideraciones necesarias para elegir equipos que no requieran más potencia de la disponible por el sistema eléctrico existente.

Instalación de un nuevo transformador

Las estaciones de carga proyectadas para alojar una o varias unidades de carga DC o varias unidades Nivel 2 con mayor probabilidad van a requerir esta modificación.

6.1.10 Expansión futura

En general en todo proyecto es una práctica recomendable considerar infraestructura adicional en anticipación al crecimiento futuro del sistema. En el caso de las estaciones de carga, resulta conveniente considerar conduits adicionales para instalaciones futuras al momento de realizar las zanjas, así como también el transformador de distribución, en caso de ser cambiado la empresa de distribución debiera considerar la posibilidad de tener un mayor consumo de potencia en ese punto. Naturalmente estas consideraciones traen consigo costos presentes cuyos beneficios solo se valorizan a futuro.

6.1.11 Protección contra vandalismo

La evaluación del riesgo de vandalismo en el lugar permite definir adecuadamente la estrategia preventiva a seguir, pudiendo ser una combinación de elementos tales como detectores de movimiento, iluminación de seguridad, alarmas, cerraduras, cámaras de seguridad, hardware a prueba de vandalismo, pintura a prueba de graffiti y otros.

6.1.12 Protección ambiental

Si bien, el hardware para estaciones de carga está diseñado a prueba de factores ambientales, la inclusión de protección contra la lluvia y la radiación solar favorece la comodidad de los usuarios.

6.1.13 Visibilidad y estética

Consideraciones tales como hacer los conductores eléctricos menos visibles al público o ubicar la unidad en algún lugar que requiera de excavaciones adicionales a las mencionadas puede añadir costos a la instalación básica. Si se elige instalar la unidad de carga en un lugar de alta visibilidad de tal manera de atraer la atención puede acarrear costos adicionales si es que esto significa alejarse de la conexión eléctrica al suministro.

6.2 MODELOS DE ESTACIONES DE CARGA

Se sugieren varios modelos de negocio para estaciones de carga, todos los cuales se encuentran implementados en otros países con mayor desarrollo en movilidad eléctrica.

Estación de carga en local comercial

Este modelo de negocio considera la instalación de cargadores para automóviles eléctricos en estacionamientos de locales comerciales como “strip centers” con estacionamientos al aire libre. Los cargadores en estos casos se ofrecen al centro comercial como una forma de dar un mejor servicio a los clientes, atraer clientes con automóviles eléctricos y reforzar imagen de amigable con el medio ambiente. El dueño del espacio podría cobrar uso del estacionamiento, uso del espacio para el tablero de alimentación y para el equipo de carga, así como el costo de oportunidad de desarrollar el negocio por si mismo.

Los centros comerciales que ofrecen factibilidad técnica deben encontrarse cerca de la red de distribución de tal forma de realizar un empalme trifásico al sistema de distribución. Deberá generarse un punto de consumo con la distribuidora que contará con un medidor separado del punto de consumo del “strip center”, además de un contrato de suministro aparte que considera la potencia necesaria para los cargadores a instalar, como se dijo anteriormente esto puede traer consigo la necesidad de un cambio en el transformador de distribución del cual se debe encargar la distribuidora. Se debe considerar la obra civil y eléctrica para la instalación del cargador. El cargador puede instalarse de tal manera de tener alcance para dos sitios de estacionamiento, lo cual permitiría la carga de dos automóviles de forma no concurrente.

Prestador de Servicios de estaciones de carga

Se plantea prestar el servicio de operación de cargadores de batería a empresas que deseen dar el beneficio a sus trabajadores de contar con esta facilidad en sus lugares de trabajo. Con esto, externaliza la instalación, operación y mantenimiento de los cargadores firmando un contrato con pago mensual. El costo de la energía

puede pagarlo la empresa o el empleado según el acuerdo que se establezca. Este modelo no se desarrollará más en detalle en este trabajo.

Estación de carga tipo estacionamiento

En este modelo de negocio se considera un terreno en el cual se instalan los cargadores con los estacionamientos necesarios y los clientes efectúan la carga al igual que lo harían en una bencinera actual, con la asistencia o no de un operario. Una revisión rápida a los costos de este modelo permite determinar que no es posible hacerlo rentable, por lo que este modelo no se desarrollará más en detalle en este trabajo.

6.2.1 EGRESOS

Los egresos asociados a este modelo incluyen: costos de inversión, costos fijos, costos variables y depreciación. Se indican los montos para cada caso.

6.2.1.1 Costos de Inversión

Ingeniería y planos: se estima un valor de 50 UF por la ingeniería y planos del proyecto. La ingeniería consiste en definir la instalación del cargador y la conexión al sistema de distribución.

Obra Civil: se consideran los costos incluyendo mano de obra, la referencia fue obtenida de una empresa contratista chilena de amplia experiencia. En este caso varía el costo de montaje si la unidad considerada es un cargador DC o un cargador AC. En el primer caso se considera aproximadamente un metro cúbico de excavación, retiro de material, fundación de hormigón armado y relleno compactado para una fijación apropiada del equipo. En el caso del cargador AC el montaje es sobre un pedestal instalado con una excavación menor. Las canalizaciones incluyen reposición de material y consideran 20 metros lineales de tubería para cable eléctrico (conduits).

Partida	Monto
Excavación	1 UF
Protección contra choques señalética v pintura	11 UF
Hormicón armado	5 UF
Canalizaciones (20 m)	6 UF
Total costos de instalación	23 UF

Tabla 6.2.1.1.1.Costos de Obras Civiles Cargador DC

Partida	Monto
Excavación v hormicón	2 UF
Protección contra choques señalética v pintura	11 UF
Canalizaciones (20 m)	6 UF
Total costos de instalación	19 UF

Tabla 6.2.1.1.2. Costos de Obras Civiles Cargador AC

Montaje electromecánico: considera el uso de camión pluma para el montaje del equipo (solo cargador DC) con un valor de 4 UF. Para Cargador AC nivel 2 se considera un costo de 2 UF, pudiendo instalarse sin asistencia de camión pluma.

Costo del panel eléctrico: tal como se indicó anteriormente debe instalarse un panel eléctrico desde el cual se conecten los cargadores. Se considera un costo de 38 UF para este panel incluyendo interruptores automáticos, medidor de consumo e instalación.

Costo de conexión a red de distribución: como se indicó anteriormente se requiere solicitar una conexión trifásica a la red de distribución. El costo de esta conexión se estima en 2.300.000 pesos chilenos (86 UF).

Costos de la unidad de carga: en el caso del cargador DC, se estima un valor de 30.000 dólares equivalente a la fecha de 730 UF aproximado, este valor fue obtenido directamente de un proveedor nacional considerando entrega en sus bodegas. Esto considera un modelo de gama alta de 50 kW que permite cargar un vehículo a la vez con standard CHAdeMO, CCS o en corriente alterna, además de tener varios elementos adicionales como permitir pago con tarjeta de crédito, conexión a internet con monitoreo de variables, etc. Para el caso de la unidad de

carga AC de 19 kW el costo estimado es de 5 millones de pesos chilenos (187,6 UF), valor conseguido de la misma fuente que el anterior.

Costos no considerados: no se considera costos de protección ambiental, iluminación ni protección contra vandalismo ya que se considera una intervención en lo mínima posible al sitio del privado que hospeda el cargador y estas prestaciones en mayor o menor medida ya se encuentran cubiertas por el centro comercial. En lo que se refiera a visibilidad y estética se considera solamente la instalación de conduits enterrados en todo el tramo que pudiera ser visible por el público.

6.2.1.2 Costos Variables

Corresponde a los costos asociados directamente a las ventas en el negocio. En este caso se trata de la energía que se utiliza en los cargadores. La tarifa BT1, típicamente utilizada en instalaciones domiciliarias tiene limitación en su aplicación de 10 kW, por lo cual se debe considerar otra opción tarifaria, en este caso se elige BT2. Bajo este régimen tarifario, se paga un monto por potencia contratada y un monto por energía utilizada. El pago por potencia se asume como un costo fijo. Se utilizan los valores informados por Enel para mayo de 2017, que informa un costo de energía de 75,5 CLP/kWh [62].

Por otra parte se incluye como costo variable el pago de la comisión por cada venta con tarjeta de crédito, el cual asciende a un 2,95% de la venta.

6.2.1.3 Costos Fijos

Trabajadores: Se consideran costos de administración con un valor estimado anual de 338 UF.

Mantenimiento: se considera un contrato de mantenimiento con un costo cada seis meses de 600 dólares (29,3 UF), valor referencial obtenido de un proveedor nacional.

Pago por potencia contratada. El precio unitario de la potencia puede adquirir dos valores dependiendo de la utilización en el punto de consumo: "Presente en Punta"

o “Parcialmente Presente en Punta”, para consideraciones de costos se supone que se paga la tarifa “Presente en Punta” de forma permanente y el pago por potencia contratada pasa a ser tratado como un costo fijo. La tarifa publicada para consumo presente en punta por Enel para mayo de 2017 es de 10.681 pesos chilenos [62].

Conexión a Internet. Cada cargador debe contar con una conexión a internet la cual se realiza por medio de chip 3G. Se estima un valor de 30.000 pesos mensuales por este concepto.

6.2.1.4 Depreciación

Se considera una depreciación lineal en 5 años de vida útil de los equipos, lo cual arroja un valor de depreciación anual para cada tipo según se indica:

- Cargador DC: 146 UF/año
- Cargador AC: 37,5 UF/año

6.2.2 INGRESOS

El cobro se realiza por tiempo de uso del cargador, lo cual genera un incentivo al usuario para liberar el cargador a otros usuarios interesados en el servicio.

La definición del precio es un problema que debe considerar el punto de vista del cliente y el punto de vista del propietario.

Desde el punto de vista del cliente deben considerarse los precios de referencia a los cuales está sometido. Se considera entonces como referencia el precio de la bencina desde el cual es necesario realizar algunos cálculos para llegar a comparar con el precio como se está planteando en este trabajo (pesos por minuto de carga).

Para aproximar el máximo precio que se puede cobrar por minuto se hizo el siguiente cálculo:

Para algunos modelos de automóviles eléctricos existentes en Chile a la fecha se calcula cuantos kilómetros pueden recorrer con el 60% de la batería, bajo el supuesto que los usuarios cargarán aproximadamente esta cantidad en cada evento de carga. En la Tabla 6.2.2.1, se presenta este cálculo, el cual es

aproximado ya que en un cargador DC, dependiendo de la técnica de carga que se utilice, la potencia entre el cargador y las baterías del automóvil varía durante el evento de carga.

MARCA	MODELO	AÑO	CAPACIDAD BATERIAS (kWh)	POTENCIA CARGADOR EXTERNO (kW)	TIEMPO 100% CARGA (MINUTOS)	TIEMPO 60% CARGA (MINUTOS)
BMW	i3	2016	21,6	50	26	16
BMW	i3	2017	33	50	40	24
BYD	E6	2014	60	50	72	43
MITSUBISHI	IMIEV	2012	16,3	50	20	12
HYUNDAI	IONIQ	2017	28	50	34	20

Tabla 6.2.2.1. Cálculo de tiempo de carga para 60% y 100% de baterías para distintos modelos de automóviles eléctricos con cargador DC de 50 kW

En la Tabla 6.2.2.2, se presenta este cálculo para el cargador AC de 19 kW. En este caso, como se mencionó anteriormente, la potencia de la carga la va a determinar la potencia admitida en el cargador interno del automóvil que se presenta también en la tabla para cada caso.

MARCA	MODELO	AÑO	CAPACIDAD BATERIAS (kWh)	POTENCIA CARGADOR EXTERNO (kW)	POTENCIA CARGADOR INTERNO (kW)	TIEMPO 100% CARGA (MINUTOS)	TIEMPO 60% CARGA (MINUTOS)
BMW	i3	2016	21,6	19	7,7	168	101
BMW	i3	2017	33	19	7,7	257	154
BYD	E6	2014	60	19	10	360	216
MITSUBISHI	IMIEV	2012	16,3	19	3,3	296	178
HYUNDAI	IONIQ	2017	28	19	6,6	255	153

Tabla 6.2.2.2. Cálculo de tiempo de carga para 60% y 100% de baterías para distintos modelos de automóviles eléctricos con cargador AC.

A partir de la energía (kWh) correspondiente a un 60% de la batería cargada (evento de carga) y el rendimiento combinado de cada modelo de automóvil, se calcula cuantos kilómetros puede recorrer con esta energía. Este dato no depende del cargador.

MARCA	MODELO	AÑO	RENDIMIENTO km/kWh	CAPACIDAD BATERIAS [kWh]	ENERGIA POR CARGA [kWh] (60%)	KM POR CARGA
BMW	i3	2016	2,30	21,6	13,0	29,83
BMW	i3	2017	2,30	33	19,8	45,57
BYD	E6	2014	1,15	60	36,0	41,42
MITSUBISHI	IMIEV	2012	2,07	16,3	9,8	20,26
HYUNDAI	IONIQ	2017	2,49	28	16,8	41,76

Tabla 6.2.2.3. Cálculo de autonomía en kilómetros por evento de carga para distintos modelos de automóviles eléctricos.

Con la autonomía por evento de carga calculada anteriormente se calcula cuánto dinero costaría recorrer esta distancia con vehículos bencineros con rendimientos entre 22 y 8 km/l.

KM POR CARGA	ENERGIA POR CARGA [kWh]	LITROS DE GASOLINA EQUIVALENTE	COSTO EN GASOLINA [CLP]
29,8	13,0	1,4	1007
45,6	19,8	2,1	1539
41,4	36,0	1,9	1399
20,3	9,8	0,9	684
41,8	16,8	1,9	1410

RENDIMIENTO GASOLINERO REFERENCIA= 22 km/l

Tabla 6.2.2.4. Cálculo de costo en gasolina para autonomía entregada por el 60% de la carga con rendimiento de un vehículo a gasolina de 22 km/l

KM POR CARGA	ENERGIA POR CARGA [kWh]	LITROS DE GASOLINA EQUIVALENTE	COSTO EN GASOLINA [CLP]
29,8	13,0	3,7	2770
45,6	19,8	5,7	4232
41,4	36,0	5,2	3847
20,3	9,8	2,5	1881
41,8	16,8	5,2	3878

RENDIMIENTO GASOLINERO REFERENCIA= 8 km/l

Tabla 6.2.2.5 Cálculo de costo en gasolina para autonomía entregada por el 60% de la carga con rendimiento de un vehículo a gasolina de 8 km/l

Dividiendo el costo en gasolina indicado por el tiempo en que los vehículos se demoran en cargar la energía eléctrica, en cada caso se obtiene un rango de precio en pesos por minuto de carga para cargador AC y DC.

KM POR CARGA	ENERGIA POR CARGA [kWh]	LITROS DE GASOLINA EQUIVALENTE	COSTO EN GASOLINA [CLP]	TIEMPO 60% CARGA (MIN)	MAXIMO PRECIO POR MINUTO DE CARGA [CLP]
29,8	13,0	1,4	1007	101	65
45,6	19,8	2,1	1539	154	65
41,4	36,0	1,9	1399	216	32
20,3	9,8	0,9	684	178	58
41,8	16,8	1,9	1410	153	70

RENDIMIENTO GASOLINERO REFERENCIA= 22 km/l

Tabla 6.2.2.6. Cálculo de precio máximo por minuto de carga, caso cargador DC. Con rendimiento de vehículo gasolinero 22 km/l

KM POR CARGA	ENERGIA POR CARGA [kWh]	LITROS DE GASOLINA EQUIVALENTE	COSTO EN GASOLINA [CLP]	TIEMPO 60% CARGA (MIN)	MAXIMO PRECIO POR MINUTO DE CARGA [CLP]
29,8	13,0	3,7	2770	101	178
45,6	19,8	5,7	4232	154	178
41,4	36,0	5,2	3847	216	89
20,3	9,8	2,5	1881	178	160
41,8	16,8	5,2	3878	153	192

RENDIMIENTO GASOLINERO REFERENCIA= 8 km/l

Tabla 6.2.2.7. Cálculo de precio máximo por minuto de carga, caso cargador DC. Con rendimiento de vehículo gasolinero 8 km/l

KM POR CARGA	ENERGIA POR CARGA [kWh]	LITROS DE GASOLINA EQUIVALENTE	COSTO EN GASOLINA [CLP]	TIEMPO 60% CARGA (MIN)	MAXIMO PRECIO POR MINUTO DE CARGA [CLP]
29,8	13,0	1,4	1007	101	10
45,6	19,8	2,1	1539	154	10
41,4	36,0	1,9	1399	216	6
20,3	9,8	0,9	684	178	4
41,8	16,8	1,9	1410	153	9

RENDIMIENTO GASOLINERO REFERENCIA= 22 km/l

Tabla 6.2.2.8. Cálculo de precio máximo por minuto de carga, caso cargador AC. Con rendimiento de vehículo gasolinero 22 km/l

KM POR CARGA	ENERGIA POR CARGA [kWh]	LITROS DE GASOLINA EQUIVALENTE	COSTO EN GASOLINA [CLP]	TIEMPO 60% CARGA (MIN)	MAXIMO PRECIO POR MINUTO DE CARGA [CLP]
29,8	13,0	3,7	2770	101	27
45,6	19,8	5,7	4232	154	27
41,4	36,0	5,2	3847	216	18
20,3	9,8	2,5	1881	178	11
41,8	16,8	5,2	3878	153	25

RENDIMIENTO GASOLINERO REFERENCIA= 8 km/l

Tabla 6.2.2.9. Cálculo de precio máximo por minuto de carga, caso cargador AC. Con rendimiento de vehículo gasolinero 8 km/l

En resumen, los clientes cuyo precio de referencia es la gasolina para movilidad, se encontrarían dispuestos a pagar entre 32 y 192 pesos por minuto en el caso del cargador DC de 50 kW y entre 4 y 27 pesos por minuto para el caso del cargador AC.

Finalmente, interesa verificar entre que rangos en términos de CLP/kWh, los clientes se encontrarían dispuestos a pagar, resultando entre 39 y 231 CLP/kWh en ambos cargadores.

7 EVALUACIÓN ECONÓMICA

7.1 DESARROLLO

Cargador DC en local comercial

Consiste en la instalación de una unidad de un cargador rápido DC de 50 kW en el estacionamiento de un local comercial tipo “strip center”.

Para estimar la capacidad anual de cargas a ofrecer, se considera un factor horario que da cuenta del horario típico de un centro comercial, un factor de disponibilidad para considerar indisponibilidad por mantenciones y las cargas por hora estimadas en consideración a un tiempo típico de carga calculado de 23 minutos considerando 60% de la carga de la batería. La capacidad anual de cargas a ofrecer estimada de esta forma asciende a 8.476 cargas.

El cálculo de la demanda se hace considerando que el cargador podría llegar a tener acceso a un máximo del 20% del parque de vehículos eléctricos en la Región Metropolitana.

En lo que respecta a costos, se considera una tarifa de 75,5 CLP/kWh.

Como ingreso, se cobra al usuario un precio de 100 pesos por minuto de carga (120 CLP/kWh).

Bajo estas condiciones se obtienen los siguientes resultados:

- Escenario Conservador: VAN de -3 586 UF
- Escenario Moderado: VAN de -3 538 UF
- Escenario Optimista: VAN de -3 492 UF
- Escenario Agresivo: VAN de -3 426 UF

Ante los resultados obtenidos y los flujos de caja negativos obtenidos en todos los periodos no tiene sentido considerar la Tasa Interna de Retorno ni tampoco se considera el cálculo de capital de trabajo.

Se busca entonces explorar bajo que combinación de parámetros este modelo pudiera llegar a ser factible.

La sensibilización del VAN al precio por minuto de carga, al costo de la energía y a la variable que define cargas por año por usuario, permite obtener una visión más completa del comportamiento del proyecto ante modificaciones a estas variables, la cual queda graficada en las Figs. 7.1.1. y Fig. 7.1.2. Se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Se obtiene un VAN positivo para precios mayores a 200 pesos por minuto (240 CLP/kWh), independientemente de las cargas por año, pudiendo ser positivo para este valor solamente si el costo de la energía es menor a 60 CLP/kWh en el escenario conservador o menor a 85 CLP/kWh en el escenario agresivo.
- Cambios en el precio de venta para un mismo costo de la energía y mismas cargas por año generan mayores diferencias en el VAN que modificaciones en las cargas por año para un mismo costo de energía y mismo precio.
- Se obtiene diferencia en el VAN de hasta un 42% en el escenario agresivo con respecto al escenario conservador.

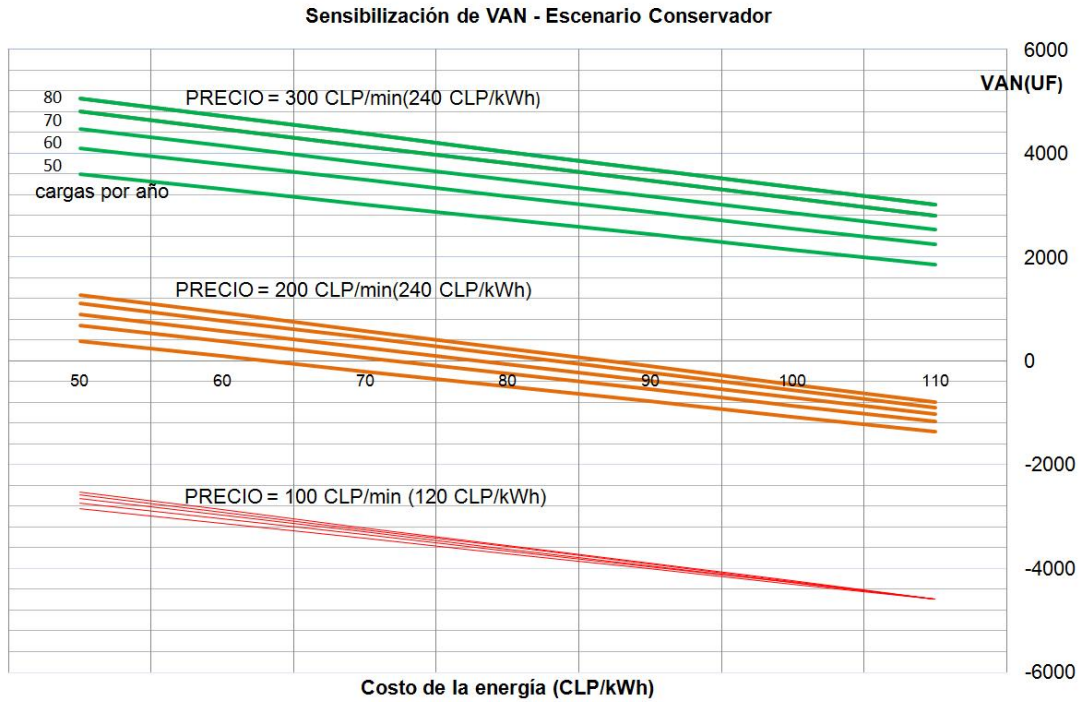


Fig.7.1.1 Sensibilización del VAN para cargador rápido en local comercial escenario conservador

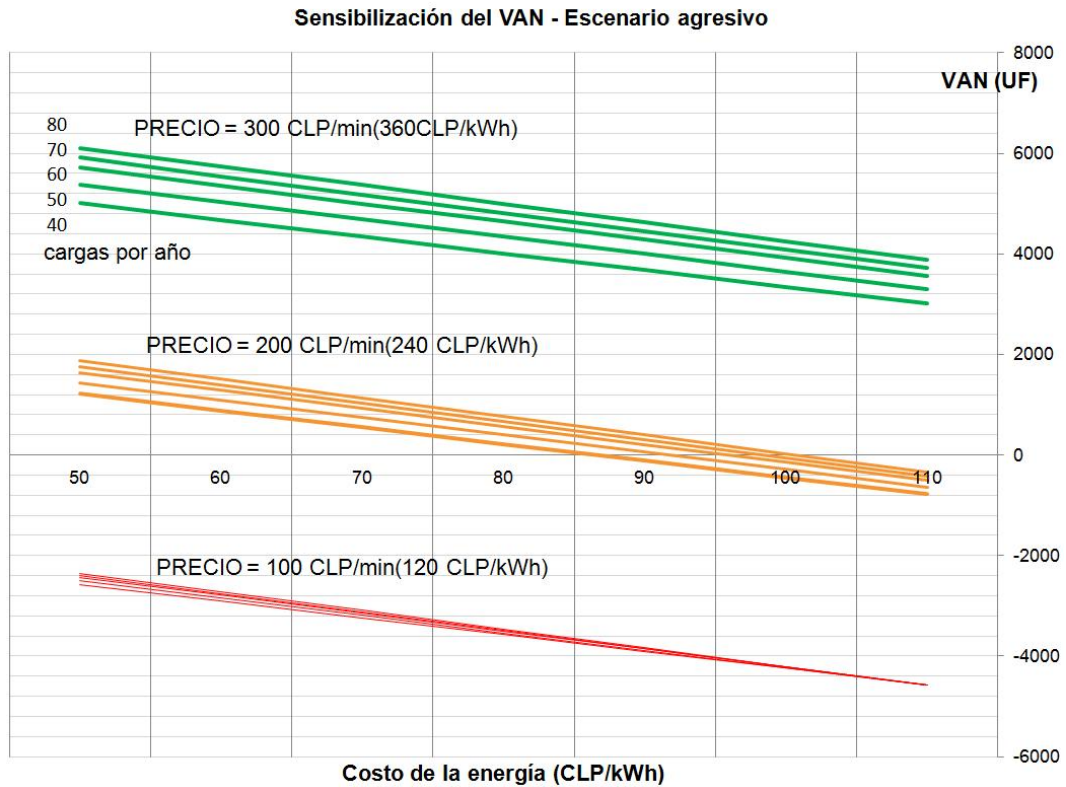


Fig.7.1.2 Sensibilización del VAN para cargador rápido en local comercial escenario agresivo

Interesa ahora averiguar ante que precios al usuario el VAN se iguala a cero. El rango de precios que se analiza es entre 150 y 250 pesos por minuto de carga, es decir entre 180 y 300 CLP/kWh.

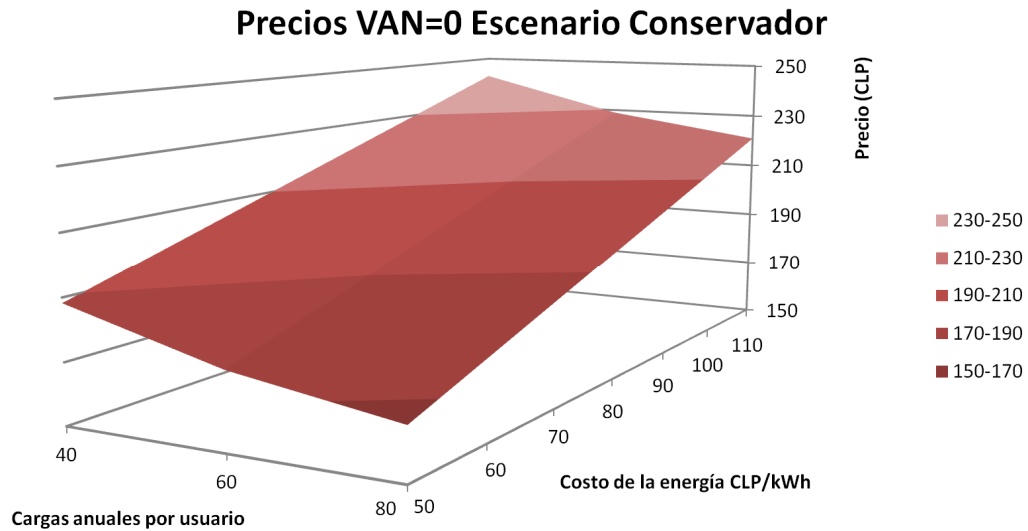


Fig. 7.1.3. Precios a los cuales el VAN del proyecto es igual a cero para escenario conservador

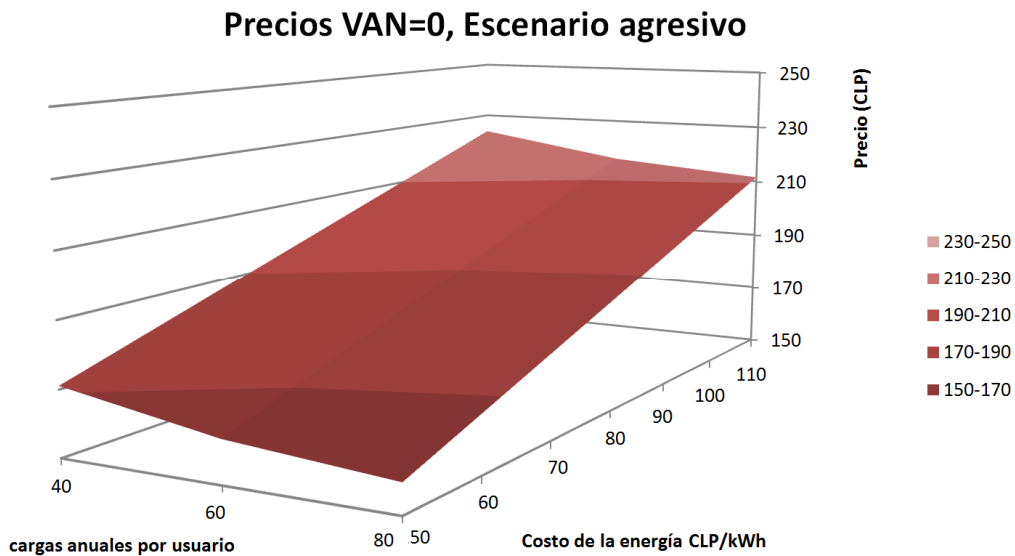


Fig. 7.1.4. Precios a los cuales el VAN del proyecto es igual a cero para escenario agresivo

Tal como se esperaba obtener, se requieren precios menores cuando las cargas anuales por usuario son mayores al igual que cuando el costo de la energía es menor, no obstante se puede observar gráficamente que hay una dependencia mucho más fuerte con el costo de la energía que con las cargas anuales por usuario. Numéricamente se puede determinar que para un mismo costo de la

energía un aumento de 40 a 80 (100%) en cargas anuales por usuario produce una reducción de hasta 11% en la variable analizada, mientras que una reducción de 100 a 50 (100%) en el costo de la energía produce una reducción de hasta 22% en el precio para un VAN=0.

Incorporando los costos de arriendo y de conexión al sistema de distribución y considerando una tarifa de 75,5 CLP/kWh y un cobro al usuario de 100 pesos por minuto de carga (120 CLP/kWh), se obtienen los siguientes resultados:

- Escenario Conservador: VAN de -3 812 UF
- Escenario Moderado: VAN de -3.768 UF
- Escenario Optimista: VAN de -3 727 UF
- Escenario Agresivo: VAN de -3.666 UF

Naturalmente los resultados negativos se ven profundizados al incorporar estos costos, por lo cual tampoco se realiza el análisis de la TIR en este caso.

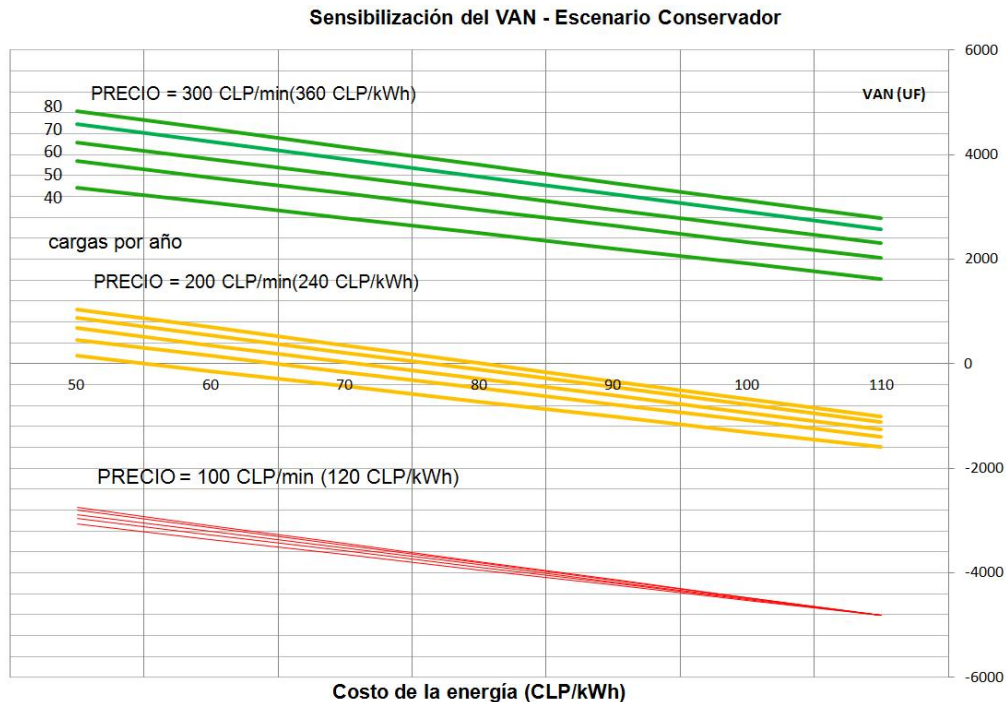


Fig.7.1.5 Sensibilización del VAN para cargador rápido en local comercial escenario conservador incluyendo costos de arriendo y empalme

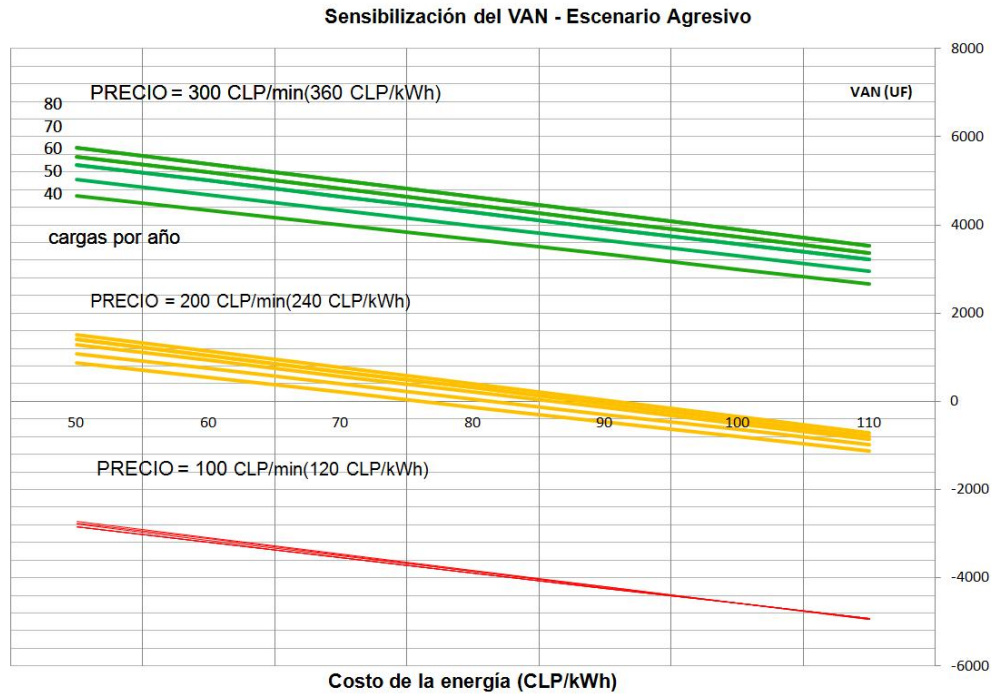


Fig.7.1.6 Sensibilización del VAN para cargador rápido en local comercial escenario agresivo incluyendo costos de arriendo y empalme

La sensibilización del VAN al precio por minuto de carga, al costo de la energía y a la variable que define cargas por año por usuario, quedan graficadas en la Fig. 7.1.7. y Fig. 7.1.8. Se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Se obtiene un VAN positivo para precios mayores a 200 pesos por minuto (240 CLP/kWh), independientemente de las cargas por año, pudiendo ser positivo para este valor solamente si el costo de la energía es menor a 55 CLP/kWh en el escenario conservador o menor a 75 CLP/kWh en el escenario agresivo.
- Cambios en el precio de venta para un mismo costo de la energía y mismas cargas por año generan mayores diferencias en el VAN que modificaciones en las cargas por año para un mismo costo de energía y mismo precio.
- Se obtiene diferencia en el VAN de hasta un 39% en el escenario agresivo con respecto al escenario conservador.

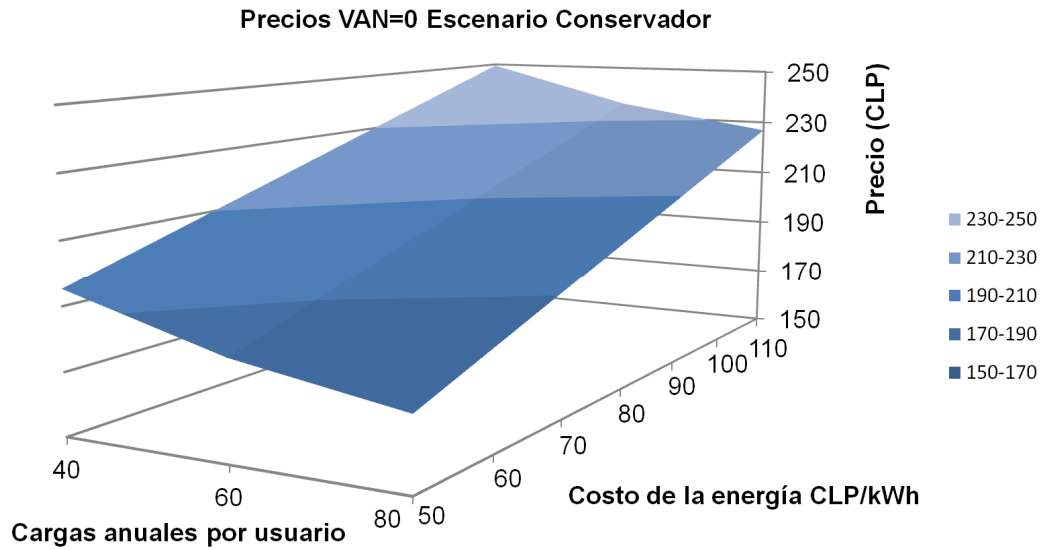


Fig. 7.1.7. Precios a los cuales el VAN del proyecto es igual a cero para escenario conservador incluyendo costos de arriendo y empalme

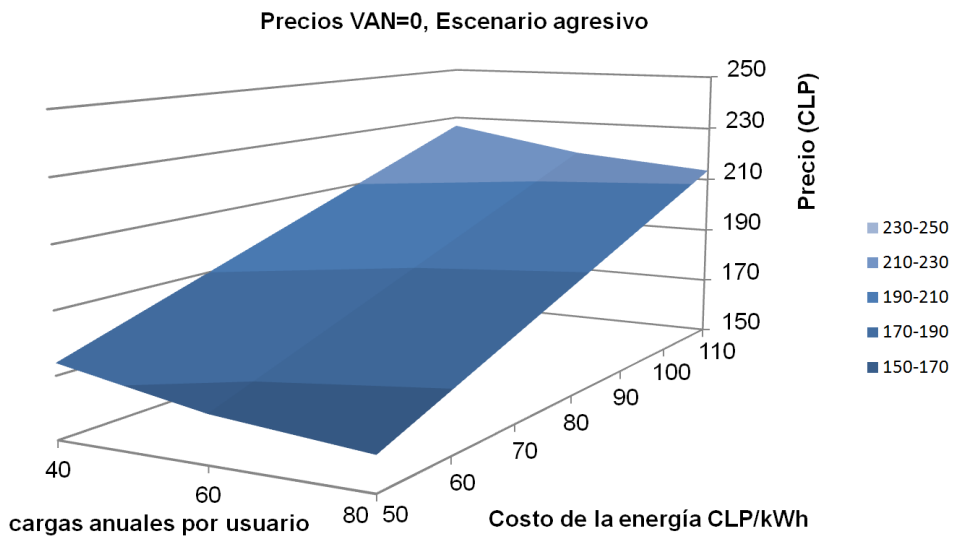


Fig. 7.1.8. Precios a los cuales el VAN del proyecto es igual a cero para escenario agresivo incluyendo costos de arriendo y empalme

En lo que respecta al análisis del precio para un VAN=0, al incorporar los costos indicados los precios aumentaron entre 3% y 4% para el escenario conservador mientras que para el escenario agresivo los precios para un VAN=0 se incrementaron entre 1 y 2%.

Cargador AC en local comercial

Consiste en la instalación de un cargador AC de 19 kW, esta potencia es la máxima que puede entregar el cargador. Por motivos de simplicidad del modelo se considera que todas las cargas se realizan a 19 kW, ya que se requeriría modelar utilizando herramientas de probabilidades la recurrencia de las distintas potencias de carga de los cargadores internos de los automóviles que tienen por ende tiempos distintos de carga para una aproximación mayor al sistema que se pretende describir.

Para estimar la capacidad anual de cargas a ofrecer, se considera un factor horario que da cuenta del horario típico de un centro comercial y un factor de disponibilidad para considerar indisponibilidad por mantenciones, la capacidad de cargas se mide en minutos a diferencia del cargador DC que se mide en eventos de carga.

El cálculo de la demanda se hace considerando que el cargador podría llegar a tener acceso a un máximo del 20% del parque de vehículos eléctricos en la Región Metropolitana.

En lo que respecta a costos, se considera una tarifa de 75,5 CLP/kWh

Como ingreso, se cobra al usuario un precio de 40 pesos por minuto de carga (126 CLP/kWh).

Bajo estas condiciones se obtiene un valor actual neto de -2.628 UF.

Si se incorpora el costo de arriendo mensual y el costo del empalme al sistema de distribución el VAN baja a -2.858 UF.

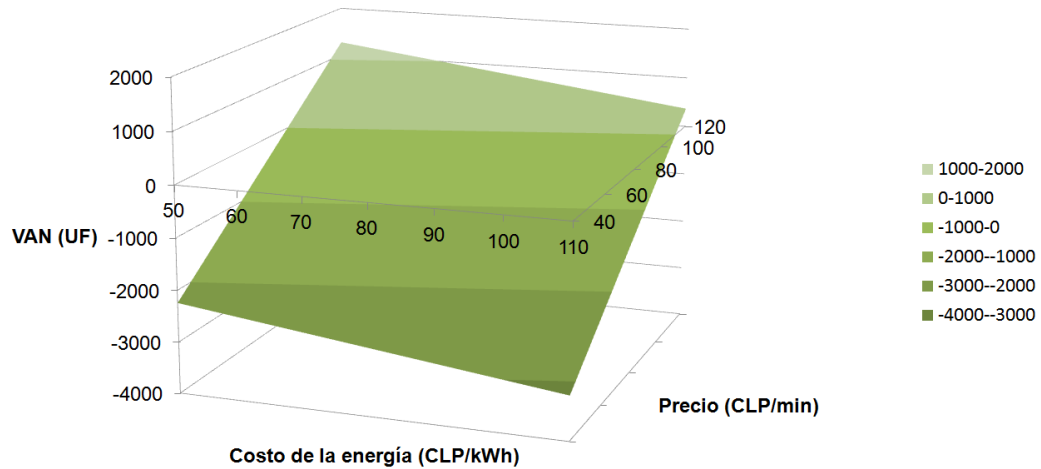


Fig. 7.1.9. Sensibilización del VAN para cargador AC en local comercial escenario conservador

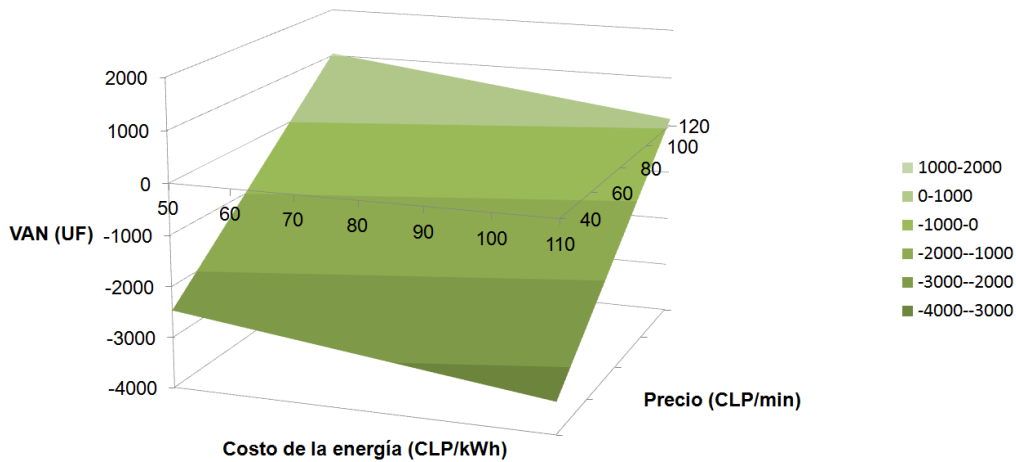


Fig. 7.1.10. Sensibilización del VAN para cargador AC nivel 2 en local comercial escenario conservador incorporando costos de arriendo mensual y empalme al sistema de distribución.

Los valores de los escenarios moderado, optimista y agresivo son idénticos a los del escenario conservador, ya que la capacidad del cargador en minutos de carga se calcula en 193.946 minutos, valor que en todos los periodos y escenarios es inferior a la demanda.

El análisis de la sensibilidad se realiza para precios entre 40 y 120 pesos por minutos (entre 126 y 380 CLP/k Wh) permite observar que puede obtenerse un VAN positivo si el precio llega a 120 CLP/min (380 CLP/k Wh) y para costos bajos de energía y precios de 100 CLP/min (315 CLP/kWh).

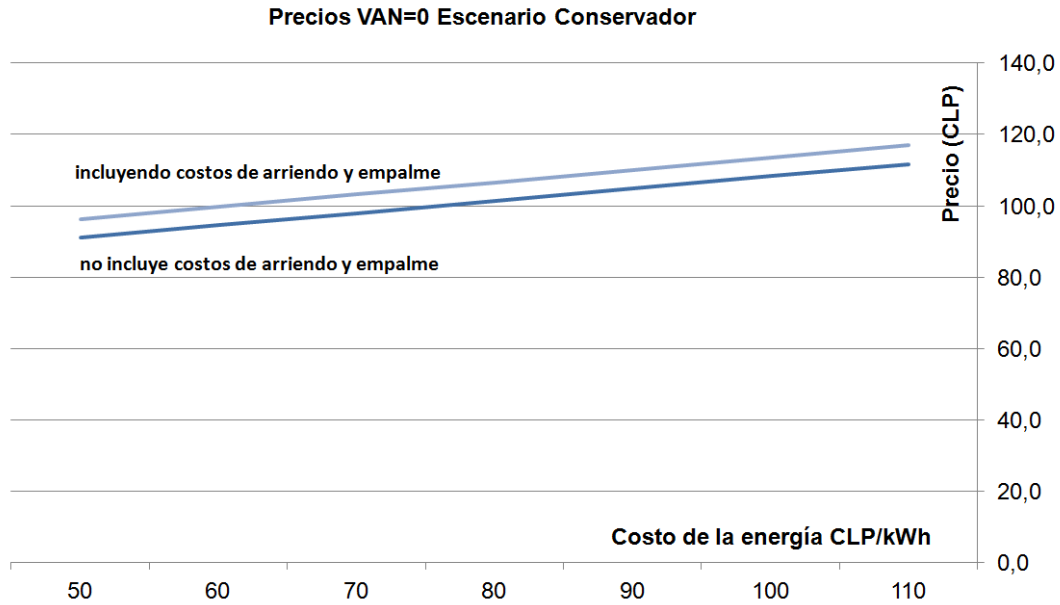


Fig. 7.1.11. Precios a los cuales el VAN del proyecto es igual a cero para escenario conservador.

Al revisar los precios para VAN=0 se observa una diferencia de 5,2 pesos para cualquier costo de energía.

Aumento en cantidad de unidades de carga.

Para el caso de cargador DC se incorpora una segunda unidad, lo cual significa incorporar los siguientes costos desde el periodo en que se incorpora la unidad en otro estacionamiento de un local comercial.

- Arriendo mensual de estacionamiento
- Costos de mantención
- Potencia contratada
- Costo de conexión a internet

Además de los costos de inversión correspondientes a permisos, ingeniería, obras civiles, montaje, tablero de interruptores y costo de conexión.

El valor actual neto que se obtiene de la incorporación de un segundo cargador en el año 6, con los costos de energía 75,5 CLP/kWh, precio de 100 CLP/carga y 40 eventos de carga al año por usuario, genera un VAN de -5 308 UF, lo cual es un resultado más bajo que con la instalación de un solo cargador.

Se realiza la sensibilización del VAN al precio, costo de energía y cantidad de eventos de carga al año para observar el comportamiento del VAN. En este caso se logra un VAN positivo para un precio de 200 CLP/min (240 CLP/kWh) si el costo de energía es menor a 75 CLP/kWh. Además la magnitud de los VAN obtenidos es mayor tanto en el sentido negativo como positivo.

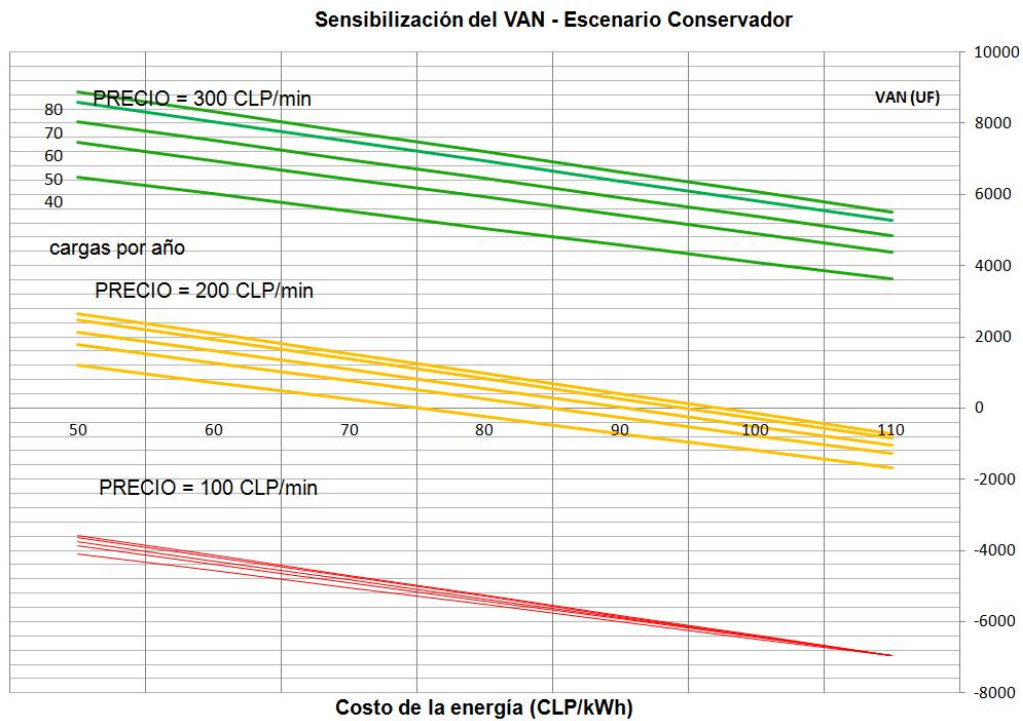


Fig. 7.1.12. Sensibilización del VAN para 2 cargadores rápido en local comercial escenario conservador incluyendo costos de arriendo y empalme

Repitiendo el ejercicio con un tercer cargador se logra un VAN de -5 693 UF. Se hace la sensibilización de la misma forma anterior y se incorpora a modo de comparación con la sensibilización para 1 y 2 cargadores con 40 eventos de carga al año por usuario.

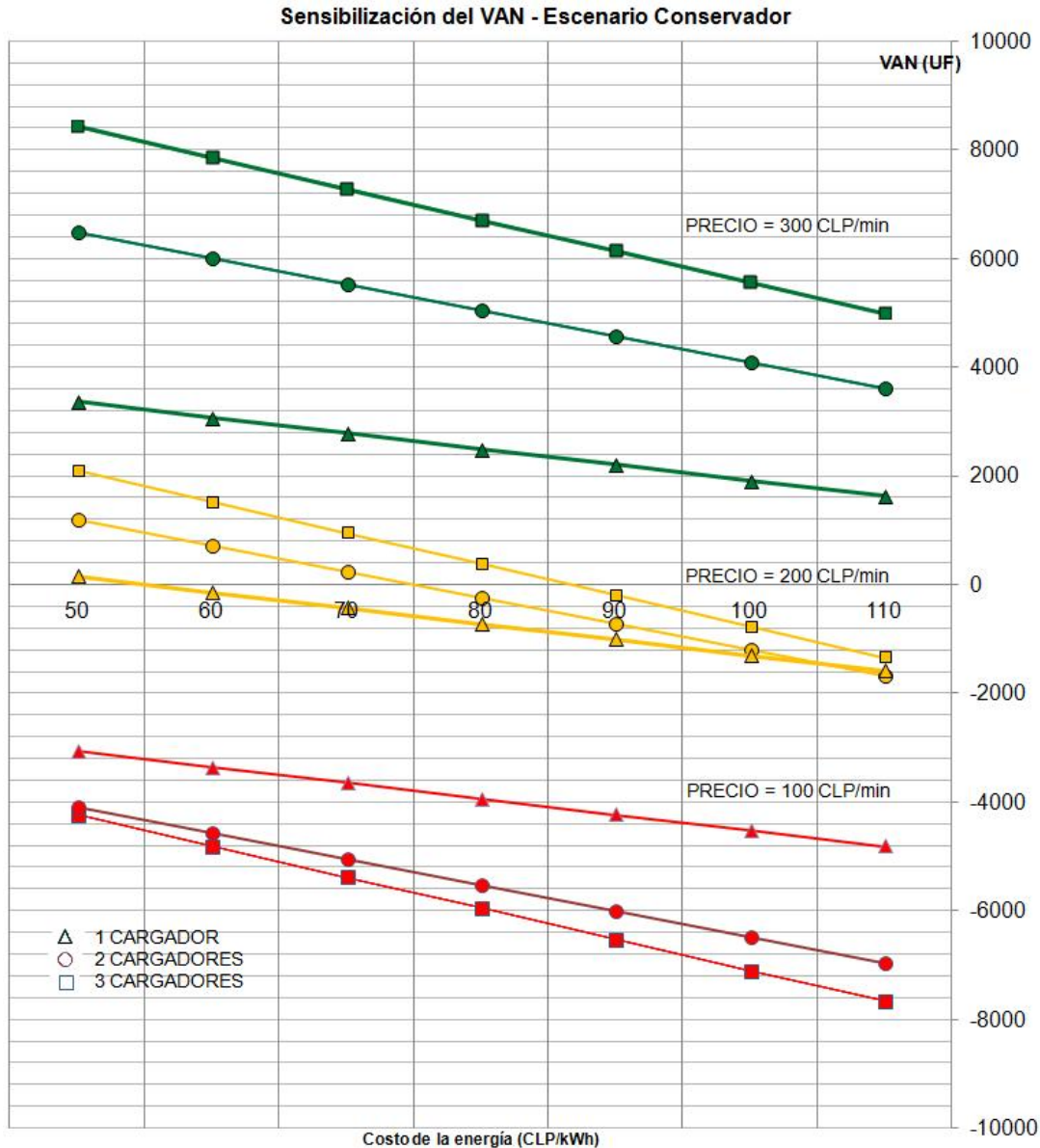


Fig. 7.1.13. Sensibilización del VAN para 1,2 y 3 cargadores rápidos en local comercial escenario conservador incluyendo costos de arriendo y empalme

Del gráfico obtenido puede observarse que en ningún caso se puede obtener VAN positivo si el precio cobrado al usuario es de 100 CLP/min (120 CLP/kWh).

Para el caso de un precio de 200 CLP/min (240 CLP/kWh), el costo de la energía va a determinar el cambio de signo del VAN siendo 55, 75 y 85 CLP/kWh para los casos de 1 ,2 y 3 cargadores.

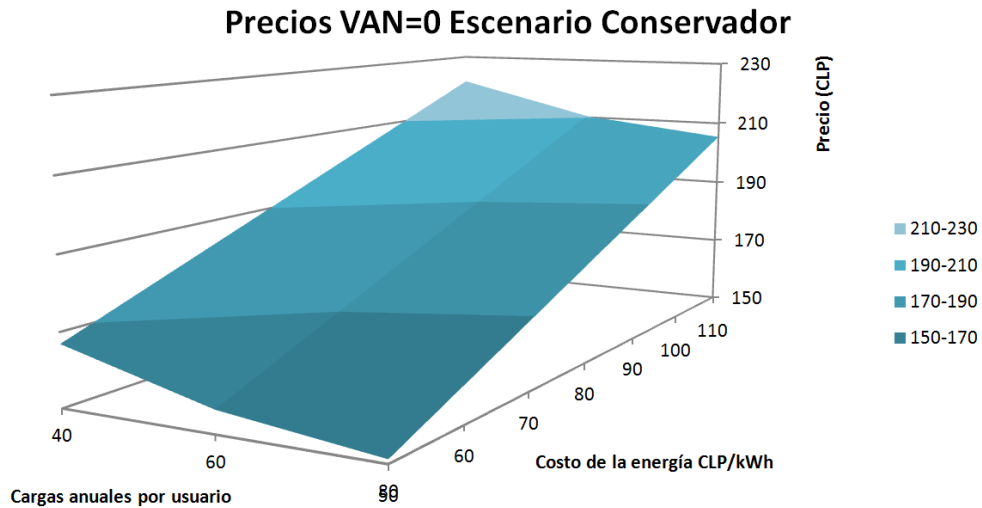


Fig. 7.1.14. Precios a los cuales el VAN del proyecto es igual a cero para escenario conservador para 3 cargadores DC , incluyendo costos de arriendo y empalme

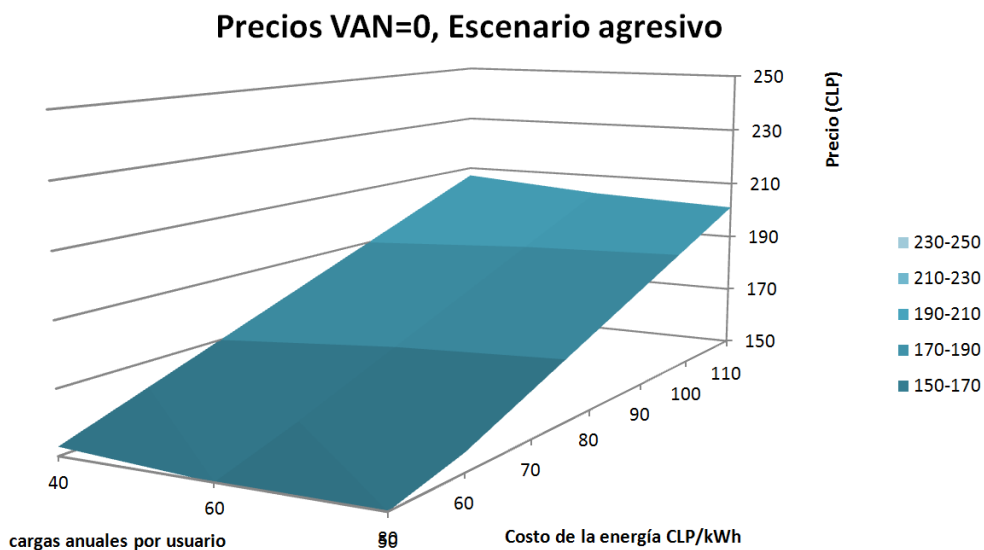


Fig. 7.1.15. Precios a los cuales el VAN del proyecto es igual a cero para escenario agresivo para 3 cargadores DC, incluyendo costos de arriendo y empalme

La realización del proyecto con 3 cargadores permite reducir el precio para el cual el VAN es positivo. Como ejemplo para un costo de energía de 110 CLP/kWh y 80 eventos de carga el precio es 9,4% menor con respecto al caso de un solo cargador. Mientras que para el mismo costo de energía y 40 eventos de carga es 11% menor con respecto al caso de un solo cargador.

Aumento en cantidad de unidades de carga AC

Para el caso de cargador AC, se considera la instalación de 3 unidades en estacionamientos distintos desde el comienzo del proyecto, lo cual significa incorporar los siguientes costos con respecto al caso de un solo cargador:

- Arriendo mensual de estacionamiento (quedan 3 en total)
- Costos de mantención (3 en total)
- Potencia contratada, se triplica el pago.
- Costo de conexión a internet (3 en total)

El flujo de caja genera un VAN de -4.077 UF, lo cual es un resultado más bajo que con la instalación de un solo cargador.

El efecto de incorporar 3 cargadores gráficamente se visualiza en que la superficie de VAN es mucho más inclinada que para un cargador, esto significa que los valores negativos y positivos son más extremos. En lo que respecta al precio para el cual el VAN pasa a ser positivo, este se reduce a un valor de 80 pesos/minuto (252 CLP/kWh)

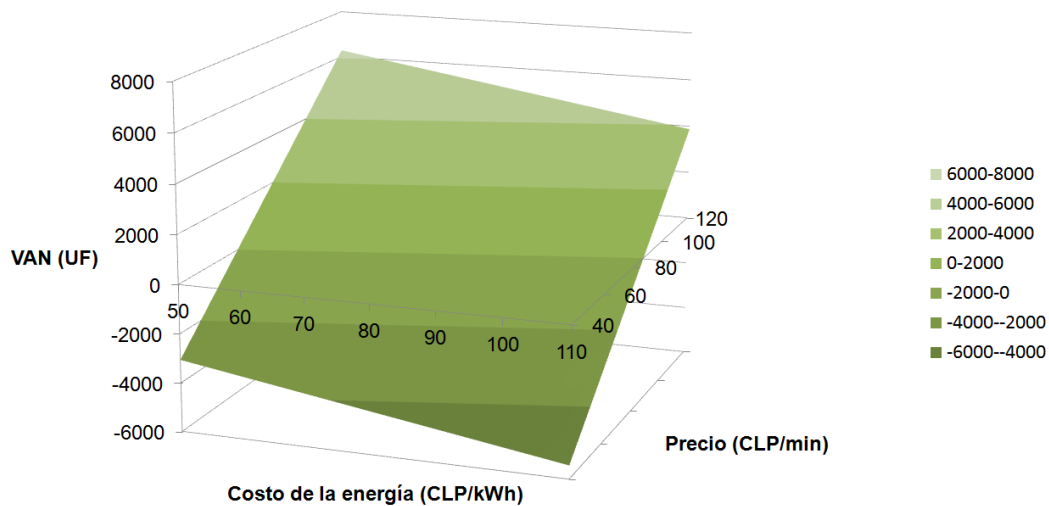


Fig. 7.1.16. Sensibilización del VAN para 3 cargadores AC nivel 2 en local comercial escenario conservador incorporando costos de arriendo mensual y empalme al sistema de distribución.

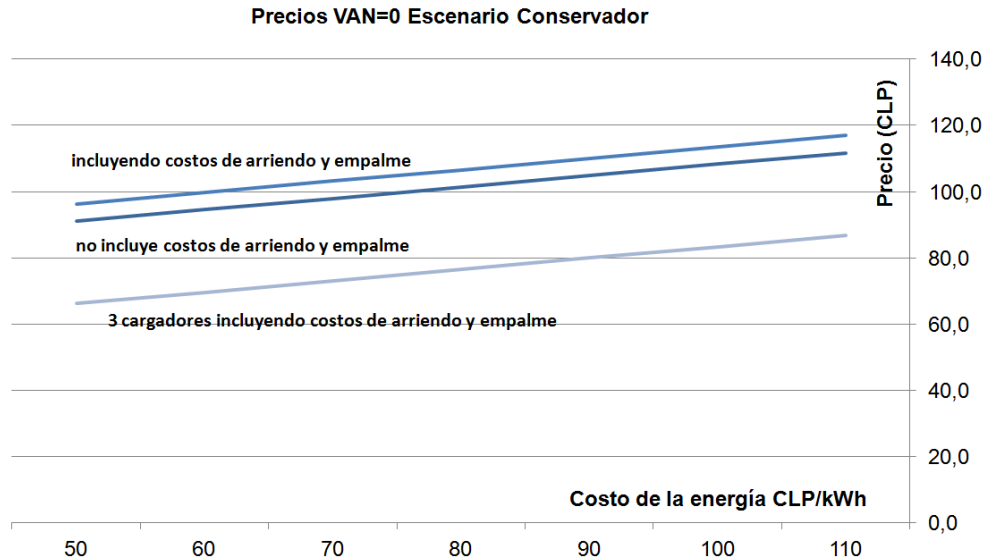


Fig. 7.1.17. Precios a los cuales el VAN del proyecto es igual a cero para escenario conservador.

Al revisar los valores de precios para los cuales se obtiene VAN igual a cero los precios obtenidos son 30,1 pesos menores al costo de 1 solo cargador, lo cual puede verse gráficamente en la Fig 7.1.17.

7.2 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

7.2.1 Estación de carga DC sin considerar costo de arriendo ni costo de empalme

Se obtiene un VAN positivo para precios mayores a 200 pesos por minuto (240 CLP/kWh), independientemente de las cargas por año, pudiendo ser positivo para este precio solamente si el costo de la energía es menor a 60 CLP/kWh en el escenario conservador o menor a 85 CLP/kWh en el escenario agresivo.

Se observa que los precios para los cuales el VAN es positivo se encuentran fuera del rango para el cual los clientes se encontrarían dispuestos a pagar calculado anteriormente, el cual se encuentra entre 29 y 231 CLP/kWh, lo cual se ratifica si se analizan los valores de precio para los cuales el VAN=0.

7.2.2 Estación de carga DC considerando costo de arriendo y costo de empalme

Se obtiene un VAN positivo para precios mayores a 200 pesos por minuto (240 CLP/kWh), independientemente de las cargas por año, pudiendo ser positivo para este valor solamente si el costo de la energía es menor a 55 CLP/kWh en el escenario conservador o menor a 75 CLP/kWh en el escenario agresivo.

Como es de esperarse, incorporando costos se repite la conclusión que los precios para los cuales el VAN es positivo se encuentran fuera del rango para el cual los clientes se encontrarían dispuestos a pagar calculado anteriormente, el cual se encuentra entre 29 y 231 CLP/kWh. Lo cual se ratifica si se analizan los valores de precio para los cuales el VAN=0.

7.2.3 Estación de carga AC considerando costo de arriendo y de empalme

El análisis de la sensibilidad permite determinar que puede obtenerse un VAN positivo si el precio llega a 120 CLP/min (380 CLP/kWh) y para costos bajos de energía y precios de 100 CLP/min (315 CLP/kWh). En este caso los precios necesarios para obtener un VAN positivo se encuentran también por encima del rango entre 29 y 231 CLP/kWh. Lo cual se ratifica si se analizan los valores de precio para los cuales el VAN=0.

8 CONCLUSIONES

El análisis de los resultados obtenidos bajo los modelos y supuestos ya indicados permite concluir que no es factible económicamente la instalación de estaciones de carga bajo las condiciones actuales del mercado en Chile.

La principal razón de esto es que los precios que permiten rentabilizar el negocio se encuentran muy por encima de los valores que los clientes podrían llegar a considerar aceptables en comparación al costo que pagan actualmente por bencina.

Otro elemento fundamental que afecta la rentabilidad del proyecto es el costo de la energía el cual en esta modelación influye incluso aún más que la demanda en la determinación del precio que entrega rentabilidad positiva al proyecto

El mercado de la movilidad eléctrica se encuentra en una etapa incipiente en Chile, por lo cual generar modelos es un proceso que se realiza sobre una base con un gran nivel de incertidumbre por lo cual los resultados también poseen un alto nivel de incertidumbre incorporado.

La estimación de la demanda constituye la primera gran incertidumbre, primero a nivel nacional y luego para cada estación de carga a nivel local. La proyección de la demanda puede profundizarse y modelarse con estudios más acabados que consideren, por ejemplo, análisis socioeconómicos, de rutas típicas, de comportamiento de los clientes, entre otros.

Los cargadores para automóviles eléctricos son parte de un “ecosistema de la industria” que no puede ser analizado de forma aislada y deben considerarse variables que inicialmente pudieran parecer ajenas al caso, como lo son el precio de la bencina y la psicología de los conductores.

Se rescata la importancia del tipo de cargador a instalar al momento de dimensionar los proyectos de este tipo, ya que los cargadores rápidos DC al conectarse de forma directa a las baterías de los automóviles determinan la potencia de la carga y por ende el tiempo en el cual se tardan en cargar los

automóviles. Por este motivo es posible cobrar en términos de pesos por minuto al usuario, lo cual es justificable en términos del pago por energía y por otra parte, abre la oportunidad de subir el precio al usuario por el uso de estos cargadores en lo que constituiría un pago por potencia, el cual ha sido agregado de forma implícita en este trabajo. Es presumible que los usuarios estarán dispuestos a este pago ya que desde el punto de vista del usuario el tiempo de carga se ve importantemente reducido.

En el caso de los cargadores AC, como se pudo observar en el desarrollo de este trabajo, la potencia de carga de las baterías la define el cargador interno del automóvil. Esto genera gran variabilidad en el tiempo que puedan permanecer los automóviles en los cargadores, lo que por otra parte significa que si se cobra por minuto de carga como se plantea en este trabajo se está cobrando más a unos usuarios que a otros por la misma cantidad de energía. Se presentan entonces oportunidades de estudio en los cuales se incorpore variabilidad en las potencias de carga de los automóviles que concurren a cargar las baterías.

En lo que respecta a la incorporación de varias unidades a la planta del proyecto, con cargador DC o cargador AC, se observó que las superficies que representan el VAN para distintos valores de precio y costo de la energía aumentan su pendiente en la medida en que se incorporan más cargadores con lo cual el costo de energía con el cual el VAN se hace positivo es mayor. Esto permitiría concluir que un escenario favorable para el proyecto es favorecido por una mayor cantidad de cargadores, dando una situación más robusta ante fluctuaciones en los costos de energía.

En lo que se refiere a viabilidad técnica se revisaron las distintas aristas que compone una estación de carga, lo cual fue estudiado considerando la realidad chilena, con lo cual es posible afirmar que es viable técnicamente la instalación de esta infraestructura en Chile.

Con respecto a la regulación e incentivos, en Chile solo existen hasta el momento incentivos indirectos que al encarecer el costo de la tecnología incumbente, movilidad con vehículos de combustión interna, favorecen el mayor crecimiento del

mercado de movilidad eléctrica, siendo el más importante el impuesto específico a los combustibles fósiles para consumo vehicular. Cabe mencionar que la aplicación de incentivos por parte del estado no puede ser arbitraria y debe ser consistente con un beneficio social que lo justifique porque de lo contrario se estarían favoreciendo solamente intereses privados.

9 BIBLIOGRAFÍA

[1] “Review on Electric Vehicle, Battery Charger, Charging Station and Standards” Afida Ayob, Wan Mohd Faizal Wan Mahmood, Azah Mohamed, Mohd Zamri Che Wanik, MohdFadzil Mohd Siam, Saharuddin Sulaiman, Abu Hanifah Azit and Mohamed Azrin Mohamed Ali. Department of Electrical, Electronic and Systems Engineering, Universiti Kebangsaan, Malaysia, Malaysian Green Technology Corporation, Malaysia Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2014

[2] “Solar Powered Charging Infrastructure for Electric Vehicles , A Sustainable Development”, Larry E. Erickson, Jessica Robinson, Gary Brase, Jackson Cutsor, CRC Press Taylor & Francis Group, 2017

[3] “Global EV Outlook 2017” International Energy Agency, 2017,

Disponible en:

<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf>

[4] ”A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles”, Hussain Shareef, MD Mainul Islam, Azah Mohamed, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016

[5] “Industrial Electronics for Electric Transportation: Current State-of-the-Art and Future Challenges”, Sheldon S. Williamson, Senior Member, IEEE, Akshay K. Rathore, Senior Member, IEEE, and Fariborz Musavi, Senior Member, IEEE Transactions On Industrial Electronics, 2015.

[6] “Fast-Charging Electric Vehicles using AC”, Joachim Skov Johansen, DTU Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering, Technical University of Denmark, Master’s Thesis, 2013.

Disponible en <http://udel.edu/~jsj/JSJ-EV-AC-Fast-Charging-Thesis.pdf>

[7] "Plug in around the EV world" ev-institute.com, 2016

http://www.ev-institute.com/images/media/Plug_World_map_v4.pdf

[8] "Developing a Business Model for Commercial Electric Vehicle Charging Infrastructure" Sean Martin, In IEEE Masters Thesis IMEN41 20162 The International Institute for Industrial Environmental Economics, 2016

[9] "El coche eléctrico y las Smart Grids. V2G, V2H y V2B (I)", Sergio Fernandez, 2016, Disponible en:

<http://forococheelectricos.com/2016/08/el-coche-electrico-y-las-smart-grids-i-v2g-v2b-y-v2h.html>

[10] "Nuvve Operate World's First Fully Commercial Vehicle-To-Grid Hub In Denmark", Nuvve Corporation, 2017, Disponible en

<http://nuvve.com/nissan-enel-and-nuvve-operate-worlds-first-fully-commercial-vehicle-to-grid-hub-in-denmark/>

[11] "Optimal recharging strategy for battery-switch stations for electric vehicles in France", M. Armstrong a,n, C.ElHajjMoussa b, J.Adnot b, A.Galli a, P.Riviere, Elsevier Energy Policy, 2013.

[12] "Implementing electric mobility new business model in future scenario: the electric park and ride system", Gianni Campatelli, Andrea Meneghin, Filippo Benesperi, Riccardo Barbieri, Dipartimento di Ingegneria Industriale Università degli Studi di Firenze, 2014.

[13]"Impactos de la Conexión de Vehículos Eléctricos en Sistemas de Potencia - Revisión Literaria" , J. Caicedo, M. Mamaní, S. López, A. A. Romero, H. Zini, G. Rattá, Instituto de Energía Eléctrica, IEEE Biennial Congress of Argentina, 2014.

[14] "Impacts of Electric Vehicle Chargers on the Power Grid", Laszlo Pinter, Student Member, IEEE and Csaba Farkas, Student Member, IEEE, 2015

- [15] “Electric vehicle charging to support renewable energy integration in a capacity constrained electricity grid” Nathaniel S. Pearre, Lukas G. Swan, Elsevier, Energy Conversion and Management, 2016.
- [16] “Vehicle to grid AC charging station an approach for smart charging development”, D. Wellisch, J. Lenz, A. Faschingbauer, R. Pöschl, S. Kunze, Deggendorf Institute of Technology - Technology Campus Freyung, 2015.
- [17] “Charging of Electric Vehicles and Demand Response Management in a Singaporean Car Park” Dante Fernando Recalde Melo and Gooi Hoay Beng School of Electrical and Electronics Engineering Nanyang Technological University, Singapore, 2014
- [18] “Emerging Electric Vehicle Market & Business Models and Interoperability Standards”, Eric Khoo, James Gallagher, ESB, Irlanda, CIGRE 2012.
- [19] “ecar Ireland”, Smart Grid Ireland, 2017, Disponible en:
<http://www.smartgridireland.org/en/smart-grid/irish-projects/ecar-ireland/>
- [20] “ecars overview”, ESB, 2017, Disponible en:
<https://www.esb.ie/our-businesses/ecars/ecars-overview>
- [21] “The business case of electric vehicle quick charging – no more chicken or egg problem”, Joni Markkula, Antti Rautiainen, Pertti Järventausta, EVS27 Symposium Barcelona, Spain, 2013
- [22] “New business models for electric cars—A holistic approach”, Fabian Kley, Christian Lerch, David Dallinger, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, Germany, 2011
- [23] “Impact of Electric Vehicles on the Reconfiguration Requirements of a Distribution Network: The Santiago City Case”, Mauricio Riveros, Gonzalo Paredes, Luis Vargas. 2012
- [24] “Situación Automotriz Chile Diciembre 2015”, BBVA Research, 2016. Disponible en:

<https://www.bbvaresearch.com/wp-content/uploads/2015/12/Situacion-Automotriz-Chile-20153.pdf>

[25] “Anuario Automotriz 2015-2016”, Asociación Nacional Automotriz de Chile ANAC, 2016, Disponible en:

“<http://www.anac.cl/noticias/articulo/anuario-automotriz-2015-2016>”

[26] “Crecimiento del PIB per cápita (% anual)”, Grupo Banco Mundial, 2017 Disponible en:

<http://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.KD.ZG?locations=CL&view=chart>

[27] “Ventas Wholesales Vehículos Eléctricos (2011-2017) – ANAC”, ANAC, 2017. (Información Solicitada vía correo electrónico a ANAC)

[28] “Anuarios Parques de Vehículos en Circulación”, Instituto Nacional de Estadísticas, 2017, Disponible en:

http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_economicas/transporte_y_comunicaciones/parquevehiculos.php

[29] “El panorama de los autos eléctricos en Chile: Cuántos son y dónde se cargan”. José Manuel Vilches, EMOL, 2017, Disponible en: <http://www.emol.com/noticias/Tecnologia/2017/07/13/866601/El-panorama-de-los-autos-electricos-en-Chile-Cuantos-son-y-donde-se-cargan.html>

[30] “Total World Plug In Vehicle Volumes”, ev-volumes.com, 2017, Disponible en:

<http://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>

[31] “China and The U.S. Supercharge The Growing Global Electric Vehicle Industry”, Jack Perkowski, 2017

Disponible en: <https://www.forbes.com/sites/jackperkowski/2017/02/28/china-and-the-u-s-supercharge-the-growing-global-electric-vehicle-industry/#de93a6024545>

[32] “2016 was a record-breaking year for global car sales, and it was almost entirely driven by China”, David Scutt, Business Insider Australia, 2017, Disponible

en: <http://www.businessinsider.com/2016-was-a-record-breaking-year-for-global-car-sales-and-it-was-almost-entirely-driven-by-china-2017-1>

[33] “Norway Plug In Vehicle Sales Q4 and Full Year 2015“, EV-Volumes.com, 2016, Disponible en: <http://www.ev-volumes.com/country/total-euefta-plug-in-vehicle-volumes/>

[34] “Global EV Outlook 2016” International Energy Agency, 2016, Disponible en: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf

[35] “Dodge to offer Challenger Demon with faster all-electric option”, Jonathan Lopez, 2017,

Disponible en:

<https://www.topspeed.com/cars/car-news/dodge-to-offer-challenger-demon-with-faster-all-electric-option-ar176282.html>

[36] “Policies for Promotion of Electric Vehicles and Factors Influencing Consumers Purchasing Decisions of Low Emission Vehicles”, Knez, M., Obrecht, M., J. sustain. dev. energy water environmental syst., 2017

[37] “Overcoming Barriers To Deployment Of Plug-In Electric Vehicles”, Committee on Overcoming Barriers to Electric-Vehicle Deployment, Board on Energy and Environmental Systems Division on Engineering and Physical Sciences and Transportation Research Board, National Research Council Of The National Academies, 2015.

Disponible: <https://www.nap.edu/read/21725/chapter/1>

[38] “Barriers to the wide Adoption of Electric Vehicles: A literature Review Based Discussion”, Shima Hosseinpour¹, Hongyi Chen¹, Hua Tang, Proceedings of PICMET '15: Management of the Technology Age, 2015.

[39] “The societal acceptance of private electro mobility in Germany and its perception by consumers: An empirical analysis of the status quo and the medium-

term future expectations.” Klaus Mühlbäck, Department of Strategic Marketing Management, International School of Management, Munich, Germany. Tim Hendrikx Department of Strategic Marketing Management, International School of Management, Munich, Germany, 2015

[40] “Still underdetected – Social norms and collective efficacy predict the acceptance of electric vehicles in Germany”, Markus Barth, Philipp Jugert, Immo Fritsche, Department of Psychology, University of Leipzig, Germany, 2016.

[41] “Gaining traction: A customer view of electric vehicle mass adoption in the US automotive market”, Deloitte Development LLC, 2010.

[42] “Here’s How Electric Cars Will Cause the Next Oil Crisis”, Tom Randall, 2016, Disponible en: <https://www.bloomberg.com/features/2016-ev-oil-crisis/>

[43] “Electric Cars Will Get Big Boost from Rules Curbing Conventional Ones- Report “Neil Winton, 2016,

Disponible en: <https://www.forbes.com/sites/neilwinton/2016/11/18/electric-cars-will-get-big-boost-from-rules-curbing-conventional-ones-report/#2371448a1cf7>

[44]” 4 Firms That Could Profit From Electric Cars“, David Wang, 2016, Disponible en: <http://www.morningstar.com/cover/videocenter.aspx?id=781061>

[45] “IHS Markit: Electric Vehicles Expected to Account for 15 to 35 Percent of World’s Vehicle Sales in 2040; One of Several Converging Factors that Could Bring About Greatest Transformation Since Dawn of Automotive Age“, Business Wire, 2016, Disponible en: <http://news.ihsmarkit.com/press-release/energy/ihs-markit-electric-vehicles-expected-account-15-35-percent-worlds-vehicle-sale>

[46] “Germany's VDA expects quicker acceptance of Evs”, Christiaan Hetzner, 2016, Disponible en:

<http://europe.autonews.com/article/20161206/ANE/161209939/germanys-vda-expects-quicker-acceptance-of-evs>

[47] “Automotive revolution – perspective towards 2030 How the convergence of disruptive technology driven trends could transform the auto industry Advanced Industries”, McKinsey&Company, 2016 Disponible en:

<http://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/high-tech/our-insights/disruptive-trends-that-will-transform-the-auto-industry/auto-2030-report-jan-2016.ashx>

[48] “Global Electric Vehicle Motor Market to Grow at a CAGR of Approximately 23% Through 2021, Reports Technavio”, Business Wire, 2017, Disponible en: <http://www.businesswire.com/news/home/20170102005062/en/Global-Electric-Vehicle-Motor-Market-Grow-CAGR>

[49] “Establece Rebaja Transitoria Del Impuesto A Las Gasolinas Automotrices Y Modifica Otros Cuerpos Legales” Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2009

[50] “La accidentada ruta de los vehículos limpios en Chile”, Romina Cannoni Berd y Carolina Rojas Arenas, La Tercera MTONLINE, 2016. Disponible en <http://mtonline.cl/2016/04/la-accidentada-ruta-de-los-vehiculos-limpios-en-chile/>

[51] “Aprueba Reglamento de Etiquetado de Consumo Energético para Vehículos Motorizados Livianos y Medianos que indica”, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2016.

[52] “Las Condes Anuncia Estacionamiento Gratuito Para Vehículos Ecológicos”, Municipalidad de Las Condes, 2017

Disponible en: http://www.lascondes.cl/las_condes_al_dia/noticias_detalle/2283/las-condes-anuncia-estacionamiento-gratuito-para-vehiculos-ecologicos

[53] “Impuesto Verde a Vehículos Motorizados Nuevos” Servicio de Impuestos Internos, 2016

Disponible en “http://www.sii.cl/portales/reforma_tributaria/impuestoverde.html

[54] “Asistente de Cálculo de Impuesto a Emisiones Contaminantes de Vehículos Nuevos” Servicio de Impuestos Internos, 2016

Disponible en <https://www4.sii.cl/calclmpVehiculoNuevoInternet/internet.html>

[55] "Evaluation of State-Level U.S. Electric Vehicle Incentives", Lingzhi Jin, Stephanie Searle, And Nic Lutsey, the international council of clean transportation, 2014

[56] "Norway keeps electric vehicle tax exemption until 2020, positions itself to stay EV leader " Fred Lambert, 2016, Disponible en:

<https://electrek.co/2016/11/09/norway-keeps-electric-vehicle-tax-exemption-until-2020-positions-itself-to-stay-ev-leader/>

[57] "Costs Associated with Non-Residential Electric Vehicle Supply Equipment, Factors to consider in the implementation of electric vehicle charging stations." US Department of Energy. 2015

[58] "Cost-effective electric vehicle charging infrastructure siting for Delhi". Colin JR Sheppard, Anand RGopal, Andrew Harris, and Arne Jacobson, Environmental Research Letters, 2016

[59] "Building Up Demand-Oriented Charging Infrastructure for Electric Vehicles in Germany", Tamer Soylu, John E. Anderson, Nicole Böttcher, Christine Weiß, Bastian Chlonda, Tobias Kuhnimhofb, Karlsruhe Institute of Technology, Institute for Transport Studies, Germany; Institute of Transport Research, German Aerospace Center, Germany, 2016

[60] "Future standard and fast charging infrastructure planning: An analysis of electric vehicle charging behaviour", Patrick Morrissey, Peter Weldon, Margaret O'Mahony, Centre for Transportation Research, Trinity College Dublin, Ireland, 2016

[61] "Economical staging plan for implementing electric vehicle charging stations", Yassir A. Alhazmi, Magdy M.A. Salamab Department of Electrical Engineering, Umm Al-qura University, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo, Sustainable Energy, Grids and Networks, 2017

[62] "Tarifas", Enel, 2017, Disponible en: <https://www.eneldistribucion.cl/tarifas>

10 ANEXOS