



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**EVALUACIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL DE LA INCORPORACIÓN DE  
BUSES ELÉCTRICOS AL TRANSPORTE PÚBLICO URBANO DE SANTIAGO**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN Y  
DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

**PATRICK ÓSCAR OEMICK JEREZ**

**PROFESOR GUÍA:  
ANDREA VICTORIA NIETO EYZAGUIRRE**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
ANTONIO AGUSTÍN HOLGADO SAN MARTÍN  
FRANCISCO JAVIER GUTIÉRREZ MELLA**

**SANTIAGO DE CHILE  
2019**

## RESUMEN

### EVALUACIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL DE LA INCORPORACIÓN DE BUSES ELÉCTRICOS AL TRANSPORTE PÚBLICO URBANO DE SANTIAGO

El transporte y la movilidad en las grandes ciudades está cambiando vertiginosamente, cada día más los gobiernos propenden a desincentivar el uso del vehículo particular, bajo el supuesto de que es el modo de transporte menos eficiente socialmente, es así como hoy es visto con benevolencia que el transporte público se esté empezando a electrificar y se espera que este tipo de transporte se triplique en la próxima década, desde 386.000 el año 2017 a 1,2 millones de unidades el 2025 (Chediak, 2018) a nivel mundial.

En Chile, las políticas públicas que apuntan al cuidado del medio ambiente, han facilitado el avance en la regulación y normativa ambiental, asimismo el transporte público de la región metropolitana es un agente relevante en la calidad del aire del valle de Santiago y cualquier cambio tecnológico que se realice en esta área debe ser debidamente analizado.

Por tanto, se propuso realizar un diagnóstico de la situación actual del sistema transporte en la región metropolitana, para luego analizar los costos que implica el uso de buses eléctricos y estimar el beneficio económico respecto a los buses de tecnología Diésel (Euro VI), para finalmente realizar una evaluación económica y social de proyecto por medio de la aplicación de tres escenarios futuros.

Este trabajo aporta argumentos cuantitativos a la discusión sobre el beneficio de incluir progresivamente buses eléctricos a la flota operativa de Transantiago. Los tres escenarios consideraron un mix de flota a proyectar para el año 2030 de 25%, 50% y 75% de buses eléctricos, y en cada uno de estos se estimó el ahorro total que percibe el sistema, desde una mirada de gobierno, considerando la compra de buses eléctricos versus la compra de buses Diésel (Euro VI).

Entre los hallazgos destacados, el ítem de combustible en la matriz de costos reduce en un 55% total acumulado, y en cuanto a los escenarios utilizados en el mix de flota el más beneficioso corresponde al escenario III (75%), donde el sistema ahorra 641 mil millones de pesos versus el escenario I (25%).

Hoy la disminución del costo inicial en la compra de los buses eléctricos, sumado a los bajos costos operacionales, ha estimulado a los operadores a dar el primer paso a la transformación tecnológica en Chile.

## TABLA DE CONTENIDO

Introducción .....	1
1. Objetivos.....	3
1.1. Objetivo General .....	3
1.2. Objetivos Específicos .....	3
1.3. Resultados Esperados.....	3
2. Antecedentes.....	4
3. Descripción.....	8
3.1. Institucionalidad. ....	8
3.1.1. Funciones.....	8
3.2. Composición. ....	9
3.3. Distribución Geográfica. ....	10
3.4. Contratos actuales y futuros.....	11
3.5. Modelo de Negocio Actual y Futuro. ....	12
3.6. Funcionamiento de los buses Eléctricos.....	13
3.7. Calidad de Aire en la Región Metropolitana. ....	14
4. Metodología.....	17
5. Diagnóstico.....	18
5.1. Electromovilidad en Buses y Plan arribo de buses Eléctricos.....	18
5.1.1. Baterías. ....	18
5.1.2. Penetración de buses eléctricos en el sistema.....	21
5.2. Comparación entre Tecnologías (Euro VI y Eléctricos).....	25
5.2.1. Bus Mercedes Benz 500 Le Euro VI .....	26
5.2.2. Bus Volvo B8R LE Euro VI .....	27
5.2.3. Bus Scania K280 UB Euro VI.....	27
5.2.4. BYD K9 Eléctrico. ....	28
5.2.5. Yutong Eléctrico .....	29
5.3. Análisis de Gases de Efecto Invernadero.....	29
5.4. Contaminación Atmosférica.....	31
5.5. Análisis de contexto .....	31
6. Aplicación de la metodología.....	33
6.1. Proyección de flota .....	33
6.1.1. Vida útil.....	33

6.1.2.	Proyección de Flota de buses .....	34
6.2.	Externalidad Calidad del Aire de Santiago. ....	36
6.2.1.	Factores de emisiones por tipo bus .....	36
6.2.2.	Factor de Emisión - Concentración.....	36
6.2.1.	Incidencia Dosis – Respuesta.....	37
6.3.	Externalidad Cambio Climático (GEI) .....	39
6.4.	Evaluación Económica y Social .....	41
6.4.1.	Datos Generales.....	41
6.4.1.	Evaluación Económica .....	43
6.4.2.	Valorización por efectos de GEI.....	44
6.4.3.	Valorización de efectos sobre la Salud .....	45
6.4.4.	Evaluación Social.....	46
6.4.5.	Escenarios.....	48
7.	Conclusiones.....	49
7.1.	Respecto a las Externalidades .....	49
7.2.	Respecto a la Evaluación Social .....	50
7.3.	Respecto a los datos Utilizados .....	50
8.	Bibliografía.....	51
9.	Anexos.....	52
9.1.	Proyección de costos del Sistema Interconectado Central (SIC) .....	52
9.2.	Proyección de emisión de CO2 por tipo de bus. ....	52
9.3.	Tabla de dosis respuesta Material Particulado.....	53
9.4.	Tabla de valores monetarios por Enfermedad.....	53
9.5.	Tabla de cantidad de población por grupos de EDAD. ....	54
9.6.	Proyección Escenario I .....	54
9.7.	Proyección Escenario II.....	55
9.8.	Proyección Escenario III.....	55
9.9.	VAN Escenario I.....	56
9.10.	VAN Escenario II.....	56
9.11.	VAN Escenario III.....	57
9.12.	Evolución precio promedio del combustible 2018. ....	57

TABLA 1: TIPO DE FLOTA DTPM 2018 .....	9
TABLA 2: FLOTA CLASIFICADA POR NORMATIVA DE EMISIÓN .....	10
TABLA 3: FLOTA CLASIFICADA POR UNIDADES POR EMPRESA Y ZONIFICACIÓN .....	11
TABLA 4: FECHA DE TÉRMINO DE CONTRATO POR UNIDAD .....	12
TABLA 5: CLASIFICACIÓN DE CONTAMINANTES .....	15
TABLA 6: CUADRO RESUMEN DE FLOTA .....	22
TABLA 7: CUADRO RESUMEN DE FLOTA .....	23
TABLA 8: CUADRO RESUMEN DE FLOTA .....	24
TABLA 9: COMPARACIÓN ELÉCTRICO Y DIÉSEL .....	25
TABLA 10: COMPARACIÓN ELÉCTRICO Y DIÉSEL .....	26
TABLA 11: MERCEDES OC 500 LE .....	27
TABLA 12: VOLVO B8R LE .....	27
TABLA 13: SCANIA K280 UB .....	28
TABLA 14: BYD K9 .....	28
TABLA 15: YUTONG .....	29
TABLA 16: PRECIO SOCIAL DEL CO2 .....	30
TABLA 17: GASES CONTAMINANTES .....	31
TABLA 18: VIDA ÚTIL POR TIPO PROPULSIÓN .....	33
TABLA 19: ANTIGÜEDAD PROMEDIO DE FLOTA DE BUSES .....	34
TABLA 20: PROYECCIÓN DE BUSES HASTA EL 2030 DE FLOTA DE BUSES .....	35
TABLA 21: EMISIONES POR CONTAMINANTE .....	36
TABLA 22: EMISIONES POR TIPO DE NORMA .....	36
TABLA 23: FACTORES DE EMISIONES – CONCENTRACIÓN PARA SANTIAGO ..	37
TABLA 24: VALORES PROMEDIO DE LA ENERGÍA Y DIÉSEL (A DICIEMBRE 2018) .....	42
TABLA 25: VALORES PROMEDIO BUS DIÉSEL .....	42
TABLA 26: VALORES PROMEDIO BUS ELÉCTRICO .....	43
TABLA 27: VAN EN 10 AÑOS (EN MILLONES DE PESOS) .....	43
TABLA 28: VAN EN 10 AÑOS .....	47
TABLA 29: AHORRO ACUMULADO AL 2030 EN MILLONES DE PESO .....	48
TABLA 30: PROYECCIÓN DE COSTOS DEL SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL .....	52

TABLA 31: PROYECCIÓN EN MILES DE TONELADAS DE CO2 CON 25% BUSES ELÉCTRICOS AL 2030 .....	52
TABLA 32: DOSIS –RESPUESTA EFECTOS DE MATERIAL PARTICULADO .....	53
TABLA 33: VALORES MONETARIOS DE LAS ENFERMEDADES. ....	53
TABLA 34: VALORES MONETARIOS DE LAS ENFERMEDADES. ....	54
TABLA 35: ESCENARIO I DE BUSES ELÉCTRICOS 25% Y EURO VI 75% EN MILLONES.....	56
TABLA 36: ESCENARIO II DE BUSES ELÉCTRICOS 50% Y EURO VI 50% EN MILLONES.....	56

## INTRODUCCIÓN

El transporte y la movilidad en las grandes ciudades está cambiando vertiginosamente, cada día más los gobiernos con sus políticas públicas apuntan a desincentivar el uso del vehículo particular, bajo el supuesto que es el modo de transporte menos eficiente socialmente. En el mismo sentido, la tecnología de autobuses está cambiando y se están empezando a electrificar. Se espera que la cantidad de autobuses eléctricos se triplique en la próxima década desde 386.000 el año 2017 a 1,2 millones de unidades en 2025 (Chediak, 2018).

Producto de las preocupaciones y exigencias ambientales en las grandes ciudades, cada día se incluyen a la flota operativa base, más autobuses con tecnologías que permitan mitigar de mejor forma las emisiones, en consecuencia la industria de autobuses ha empezado a responder mediante el desarrollo y disponibilidad de buses eléctricos por lo cual no es en vano considerar que en los próximos años los autobuses eléctricos sean los más frecuentes en la flota operativa base de las grandes urbes del mundo. Se estima que para el 2025 sea equivalente al 47% de la flota mundial de autobuses urbanos (Chediak, 2018).

Desde hace más de una década se ha sostenido que la motorización de vehículos y autobuses se debe emigrar hacia tecnologías más limpias, adicionalmente las grandes variaciones del petróleo han permitido profundizar y realizar avances en los motores eléctricos. Por el contrario, un factor que ha entorpecido el cambio tecnológico es el alto costo de las baterías, sin embargo, el crecimiento en la demanda de los vehículos eléctricos ha permitido disminuir por mecanismos de economías de escala los costos de las baterías. En cuanto a la autonomía de los motores eléctricos, siguen presentado diferencias respecto a los motores de combustión, no obstante, las nuevas investigaciones y desarrollos han permitido mejorar el tiempo de carga y rendimiento de los motores eléctricos.

Un ejemplo es el desarrollo que ha tenido la industria China en la implementación de buses eléctricos: actualmente China es el país que tiene la flota más grande del mundo de buses eléctricos estimado en 381 mil buses (Bloomberg, 2017), y a su vez posee la industria con mayor capacidad de producir buses del mismo tipo en el mundo, estimado en al menos 116 mil buses anuales (Bloomberg, 2017). Lo anterior, es el resultado de una efectiva política de estado que apostó mediante incentivos para el cambio de tecnología de los buses del transporte público para enfrentar los altos índices de contaminación y congestión que poseen las grandes ciudades de China.

Para el caso de Chile, desde el 2017 el transporte público de buses metropolitano cuenta en su flota con tres buses nuevos completamente eléctricos operados por las empresas Metbus y Buses Vule, de este modo se presume que este cambio puede ser el primer paso en la transformación tecnológica hacia la electromovilidad. Es en esta línea, que el Ministerio de Transporte desde marzo del

2018, se encuentra trabajando en un nuevo estándar del sistema de transporte público, proponiendo entre sus medidas la separación contractual de la operación de los servicios de transporte con la de provisión de buses, mediante una licitación en la que se incorporan nuevos actores que se hacen responsable de financiar y proveer los nuevos buses al sistema. Posteriormente, a través de un marco contractual, los buses se entregan a las unidades de servicio para que sean operados. Es en este contexto que este estudio permitirá presentar al Ministerio de Transporte una evaluación económica y social producto de la incorporación de buses eléctricos. Se espera que el nuevo proceso de licitación permita el 2020 proveer incluir aproximadamente 3.200 nuevos buses entre convencionales y eléctricos, que equivalen al 51,5% de la flota operativa base actual.



## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

- Realizar la evaluación económica y social para la incorporación de nuevos buses eléctricos al Transporte Público Urbano de Santiago, determinando costos y beneficios sociales al sistema.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar la situación actual de la electromovilidad en transporte público de buses.
- Adaptar y aplicar metodología de evaluación social a las externalidades del proyecto.
- Determinar costos y realizar comparación entre diferentes tecnologías.
- Evaluar y sensibilizar económicamente utilizando diferentes escenarios.

### **1.3. RESULTADOS ESPERADOS**

Se espera realizar un diagnóstico de la situación actual del sistema enfatizando en la caracterización de la flota operativa y realizando un análisis del contexto en que se encuentran para una posible transformación tecnológica. Posteriormente se recopilará los costos que implica en el uso de buses eléctricos y que tan beneficioso económicamente es respecto a los buses con tecnología Diésel Euro VI. Adicionalmente se estima obtener diferencias en la evaluación económica por la cuantificación de las externalidades positivas que dan cuenta del uso de la electromovilidad en el transporte público. En base a lo anterior, se espera generar un escenario que incentive y proyecte un determinado número (Q) de buses eléctricos. La cuantificación de las externalidades permite realizar una evaluación social más ajustada a los reales beneficios del proyecto, entregando al Ministerio de Transporte una herramienta de soporte para las futuras tomas de decisiones en este cambio tecnológico. Se contempla entonces entregar las variaciones del VAN social con externalidades y un análisis de riesgo.

## 2. ANTECEDENTES

A partir del año 1975 el transporte público de Santiago comienza a presentar cambios importantes en su composición, el sistema se libera al área privada generando una rápida atomización del mercado de los oferentes. Los propietarios de buses comienzan a agruparse y formar sociedades con el objetivo de establecer nuevos recorridos de buses, en un breve tiempo aumenta la flota de buses operando y la cobertura vial de transporte público.



Figura 1: Buses en la Década de los '80  
Fuente: Imagen Google

En el año 1990 se realiza un nuevo cambio en la regulación del sistema, mediante la promulgación del Decreto Supremo n°212, que consistió en el reordenamiento de la operación de los servicios de transporte público de pasajeros. En consecuencia, se ejecutan concesiones vías y registro de todos los buses operativos y empresarios responsables, se asignan a las líneas de buses números a cada uno de los servicios ofertados, se homogeniza el estándar y el color de los buses mediante un color amarillo y techo blanco de la carrocería de los buses.



Figura 2 Buses en la década de los '90.  
Fuente: Imagen Google

Tras 17 años de operación los buses amarillos llegan a su fin el 2007, debido al incorporación de un nuevo modelo de negocio que tiene como promesa mejorar sustancialmente el transporte público. El proyecto contempla cambiar de raíz el sistema de los buses amarillos, para ello, desde el 2004 se comienzan a trabajar en las bases de licitación permitiendo dar el primer paso a la nueva etapa denominada Transantiago.



Figura 3: Buses en el 2007.  
Fuente: Imagen Google

Posteriormente y a través de una licitación se contratan los servicios de administración financiera, regulados por las bases para el Administrador Financiero Transantiago (AFT), finalmente en el mes de febrero del año 2007 se sitúa en régimen total de operación el nuevo sistema.

Es relevante señalar que el denominado “Big Bang” del transporte público presenta en la población de Santiago grandes expectativas de cambios y mantiene a los usuarios y no usuarios del sistema expectantes de las novedades del nuevo proyecto. El gobierno realiza una fuerte campaña publicitaria del proyecto incluyendo rostros reconocidos por la opinión pública como es el caso del futbolista Iván Zamorano quien es el rostro central de la campaña publicitaria financiada por el gobierno. No obstante, a los pocos días de iniciar el proyecto el escenario es bastante complejo, las serias dificultades que debió enfrentar el sistema sitúo en un escenario crítico al nuevo gobierno de Michelle Bachelet. El cambio era complejo y en las calles cada día que pasaba la situación no mejoraba y el caos generalizado que no dejaba a nadie indiferente.

El diseño del nuevo sistema contempló reducir la flota operativa por lo que se observó una baja cantidad de buses circulando, y en algunos puntos de la ciudad enormes aglomeraciones de usuarios en los horarios puntas. La evasión se descontrola y los tiempos de viaje se disparan debido a que los usuarios deben realizar varios transbordos para llegar su lugar de destino. En los siguientes meses la situación no mejora por lo que la paciencia es cada vez más escasa de la opinión pública y el rechazo de la opinión pública al nuevo sistema es evidente. Es así como se inicia una de las políticas públicas más controversiales de los últimos tiempos en Chile.

A pesar de todas las dificultades el sistema se mantuvo, no obstante, el Transantiago se ha mantenido en el ojo del huracán durante todos los últimos gobiernos post implementación, de todas formas, el nuevo sistema ha mejorado desde su implementación, pero se mantiene muy mal evaluado. En estudios de satisfacción realizados por el Directorio de Transporte Público los usuarios del sistema lo han evaluado con nota 4,3, correspondiente a una evaluación bastante mediocre dadas las expectativas indicadas al momento de su implementación.

En la actualidad, el sistema se encuentra en un proceso de cambio, el naciente sistema se ha consolidado y la malla inicial del año 2007 se ha modificado sustancialmente de modo que los usuarios no deban realizar menor cantidad trasbordos. No obstante, las encuestas de satisfacción se siguen manteniendo bajo lo esperado por lo que los gobiernos de turno mantienen entre sus tareas prioritarias mejorar el sistema,

En cuanto a los contratos, a once años de iniciar, algunos de ellos se encuentran ad-portas de cumplir la fecha de término, por lo que el gobierno de Sebastián Piñera tiene la gran oportunidad de realizar cambios de fondo en las bases de la próxima licitación. Se espera que la administración vigente realice todos los cambios que necesite el sistema con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los Santiaguinos.

Entre los factores más relevantes para cambiar la evaluación de los usuarios es mejorar el estándar y mantención de la actual flota de buses, consecuentemente, se espera que las nuevas bases permitan garantizar el estado y mantención de los

buses. A continuación, se presenta el prototipo de buses que viene a reemplazar parte de la flota antigua que se encuentra en muy malas condiciones, ver imagen a continuación (figura 4).



Figura 4: Imagen de los nuevos buses del transporte públicos de Santiago.  
Fuente: Imagen Google.

### **3. DESCRIPCIÓN**

#### **3.1. INSTITUCIONALIDAD.**

A pesar de la historia el Sistema, el transporte público de buses de Santiago es una entidad clave y articuladora para determinar la calidad de vida de las personas. Por lo tanto y desde sus inicios, el Directorio de Transporte Público Metropolitano acoge el desafío de entregar a la ciudad de Santiago un transporte limpio, eficiente y sustentable, que sea capaz de cumplir las expectativas de todos los ciudadanos que día a día necesitan y exigen un servicio de calidad. Para poder cumplir con este cometido, se realiza un trabajo multidimensional, que implica la coordinación de múltiples servicios, infraestructuras y diversos actores pertenecientes a gobierno y sociedad civil. A continuación, se presenta la Misión y Visión de la organización vigente al 2018.

##### *Misión.*

*“Conseguir que, objetivamente, el Sistema de Transporte Público se transforme en un sistema de calidad como resultado de una política pública, coherente en términos sociales, urbanos, ambientales y sustentable económicamente”.*

##### *Visión.*

*“Contar con un Sistema de Transporte público que sea valorado y apreciado, tanto por los habitantes, como por los visitantes de Santiago. Que sea reconocido como un componente positivo y relevante para la ciudad”.*

#### **3.1.1. FUNCIONES.**

El Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM) es el organismo encargado de articular, coordinar y supervisar las acciones, programas y medidas que propenden a gestionar el transporte público de Santiago, derivadas de las acciones propias, así como de diversos sectores y entes públicos y privados.

Basado en la anterior se detalla cada una de las funciones del DTPM entre las que destaca es proponer a las autoridades del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones estudios, planes de licitación de transporte público, elaborar las condiciones administrativas, económicas y financieras, coordinar los procesos de licitación de vías y la contratación de los servicios de transporte público.

También debe coordinar los procesos de negociación, supervisar los contratos y servir de instancia de coordinación para las autoridades y organismos involucrados para revisar, actualizar y renovar el Plan Maestro de Infraestructura de Transporte Público. Entre sus tareas fundamentales se encuentran velar por la correcta operación del Sistema, a través del seguimiento de las metas y plazos que

se definan para la ejecución de sus programas, planes y medidas, estableciendo vínculos de coordinación y colaboración con organismos públicos y privados, nacionales, extranjeros o internacionales, cuidando por la oportuna y adecuada satisfacción de las necesidades de los usuarios. A continuación, se presenta estructura organizacional de DTPM que diciembre del 2018.

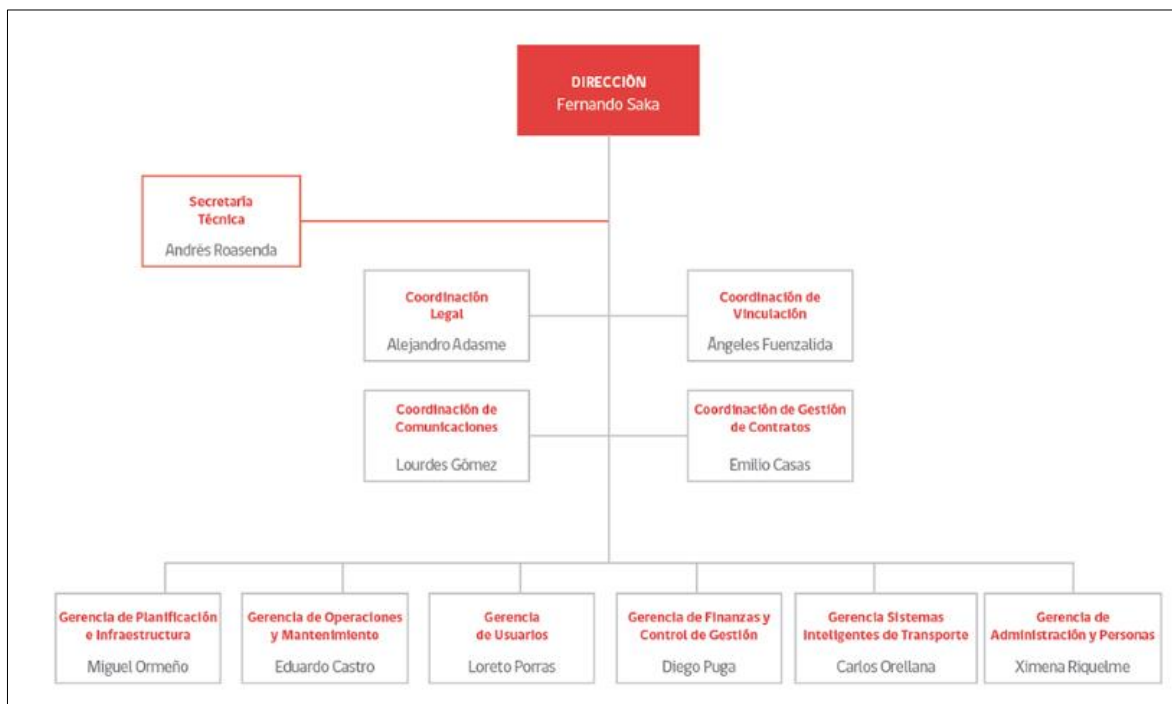


Figura 5: Estructura DTPM 2018  
Fuente: [www.DTPM.cl](http://www.DTPM.cl)

### 3.2. COMPOSICIÓN.

Durante el 2018 la operación de los servicios de Transantiago la componen siete unidades de negocio que agrupan una flota total 6681 buses de los cuales el 93% corresponde a flota operativa y un 6% corresponde a una flota de reserva.

Tipo de Flota	
Flota Operacional Base	<b>6.209</b>
Flota de Reserva	<b>418</b>
Flota Auxiliar	<b>54</b>
Flota Total	<b>6.681</b>

Tabla 1: Tipo de flota DTPM 2018  
Fuente: Informe de Gestión

En la actualidad existen siete empresas operadoras, tres corresponden a empresas chilenas (Vule. Metropolitana y STP) y el resto corresponde a compañías generadas con capitales extranjeras, entre las que destacan Alsacia, Express y

Subus de origen colombiano, por último, Redbus de origen francés (Transdev group).

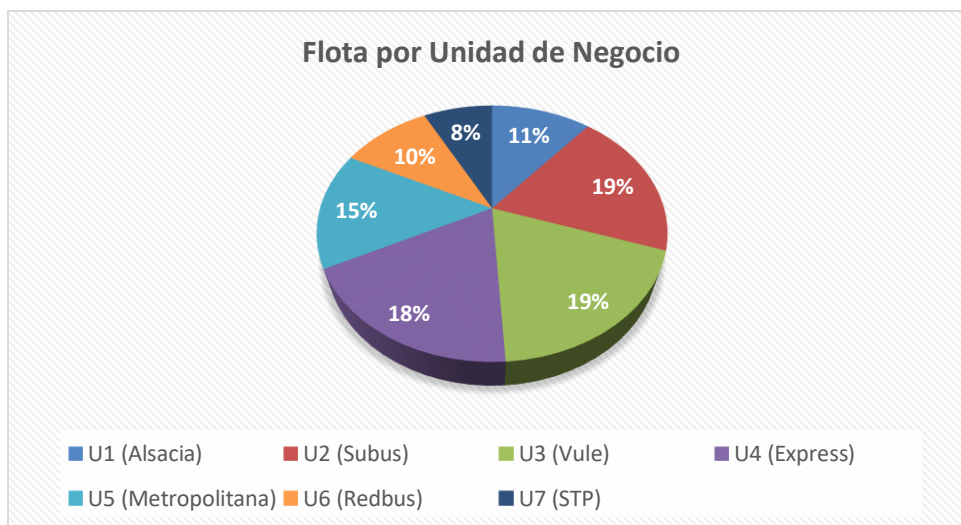


Gráfico 1: Porcentaje de buses por Unidad de Negocio.

Fuente: Informe de Gestión.

Uno de los antecedentes más importantes para continuar con el estudio es el tener en conocimiento el tipo de normativa de emisión que presenta en la actualidad la flota de buses del Transantiago.

2017	U1: Alsacia	U2: Subus	U3: Vule	U4: Express	U5: Metbus	U6: Redbus	U7: STP	TOTAL
Total	741	1.279	1.253	1.240	989	667	512	6.681
Euro III	667	302	116	614	578	95	175	2.547
Euro III con filtro	46	895	637	190	201	512	175	2.656
Euro VI	28	82	497	434	207	56	161	1.465
Euro V	0	0	2	2	1	4	1	10
Eléctrico	0	0	1	0	2	0	0	3

Tabla 2: Flota clasificada por normativa de emisión

Fuente: Informe de Gestión

### 3.3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA.

Desde sus inicios el Transantiago ha modificado las vías y zonas concesionadas afectando la distribución original de las empresas del Transantiago. A pesar de todos estos cambios la estructura fundamental se ha mantenido, entendiéndose que el sistema se compone de 5 unidades denominadas troncales, quienes operan por los ejes estructurantes de la ciudad, en cambio a nivel de zonas existen 9 unidades de negocio denominadas Alimentadores que se encuentran espacialmente distribuidas con límites de operación bien definidos en la ciudad. Muchas de las nueve alimentadores que iniciaron fueron absorbidas por las empresas troncales de mayor tamaño como es el caso de la Zona E, Zona G, Zona H y Zona I.



y Zona J, sin embargo, aún se mantienen e incluso han crecido como es el caso Redbus que actualmente controla la Zona B. El transporte público de buses del gran Santiago en la actualidad se compone en siete grandes unidades de negocio agrupadas a continuación.

	UNIDADES	TRONCALES Y ALIMENTADORES
U1	<b>Alsacia</b>	<b>T1</b>
U2	<b>Subus</b>	<b>T2 - ZG</b>
U3	<b>Vule</b>	<b>T3 - ZE - ZH - ZI</b>
U4	<b>Express</b>	<b>T4 - ZD</b>
U5	<b>Metropolitana</b>	<b>T5 - ZJ</b>
U6	<b>RedBus</b>	<b>ZC - ZB</b>
U7	<b>STP</b>	<b>ZF</b>

Tabla 3: Flota clasificada por Unidades por Empresa y Zonificación.  
Fuente: Informe de Gestión.

Basados en que el diseño original creado 2007, se observan en colores diferentes las zonas concesionadas que se dividían inicialmente en 9 alimentadores



Figura 6: Comunas y Zonificación.  
Fuente: Informe de Gestión DTPM.

### 3.4. CONTRATOS ACTUALES Y FUTUROS.

Las unidades de negocio concesionadas se encuentran reguladas mediante una relación contractual que incorpora una lista amplia de criterios y definiciones de roles entre Ministerio y concesionario. El contrato posee definiciones claras sobre el método de pago, indicadores, plazos, alcances y medidas a seguir por

incumplimiento de contrato, no obstante, a efectos de este estudio no lo abordaremos en detalle.

Respecto a los plazos de concesión de cada una de las empresas, estas poseen plazos contractuales independientes, por lo tanto, la caducidad y fecha término de estos plazos, requiere una coordinación y gestión relevante entre el Ministerio y el resto de las empresas de modo de no afectar la estabilidad del sistema. Un ejemplo es el caso de la empresa Alsacia que aporta con el 11% de la flota al sistema y que en octubre del 2018 finalizó definitivamente la extensión del contrato de vías debiendo traspasar sus servicios al resto de las empresas del sistema temporalmente hasta una próxima licitación.

UN	2018	2019	2020	2021	2022
U1- Alsacia	Oct-18				
U2 - Subus	Ago-20				
U3 - Vule	Nov-21				
U4 - Express	Jun-19				
U5 - Metropolitana	Feb-20				
U6 - Redbus	Nov-19				
U7 - STP	Nov-19				

Tabla 4: Fecha de término de contrato por Unidad.

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5. MODELO DE NEGOCIO ACTUAL Y FUTURO.

En la actualidad los contratos vigentes de las empresas operadoras permiten otorgar funciones que no sólo tienen que ver con la gestión y logística de la flota, sino que también con la compra de los buses utilizados en la concesión, por otro lado, las empresas operadoras deben preocuparse de realizar las mantenciones y definir los emplazamientos de los terminales.

Basados en la próxima licitación se está formulando un nuevo modelo de negocio que consiste en separar la gestión de la flota de los proveedores de flota, mediante una relación contractual, el objetivo es focalizar a cada una de las partes en un sólo modelo de negocio donde los operadores deberán focalizarse en la gestión de flota. Adicionalmente los proveedores entre sus funciones será entregar el financiamiento y compra de los nuevos buses los cuales serán entregados en arriendo a las empresas operadoras.

Por último, aún no se encuentra definido si las mantenciones serán realizadas por las empresas operadoras o una empresa externa definida por el proveedor de buses. Basados en lo anterior las bases de la nueva licitación propenden aumentar el número de empresas operadoras y se espera que el tamaño de las nuevas

empresas operadoras no superen los 400 buses operativos a gestionar permitiendo que el núcleo del negocio se centre en la gestión operativa de la flota.

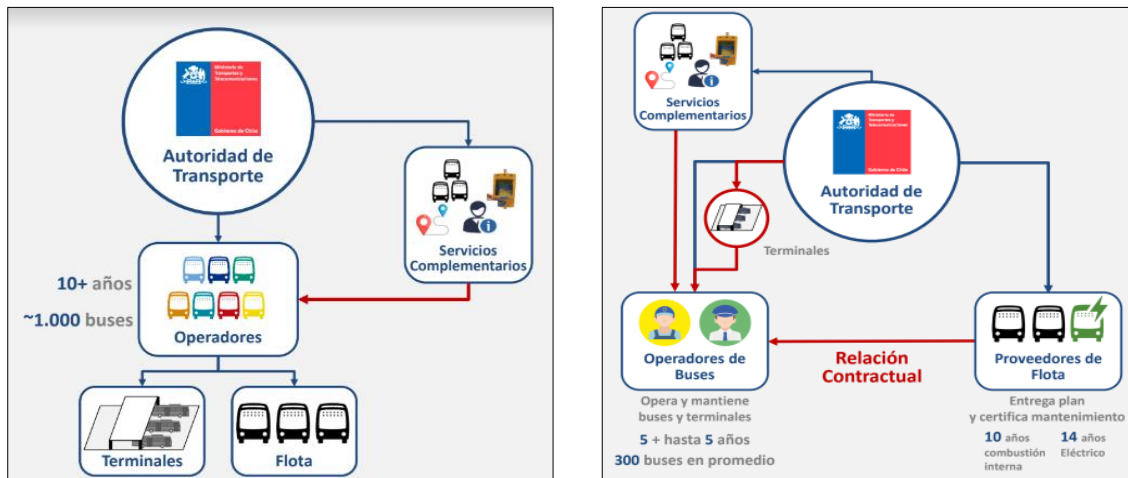


Figura 7: Modelo de Negocio Actual (Izquierda) y Futuro (Derecha).  
Fuente: Bases de Licitación DTPM.

### 3.6. FUNCIONAMIENTO DE LOS BUSES ELÉCTRICOS

Durante la fase de conducción del bus, el operador (conductor) del vehículo acciona el controlador que envía la señal al controlador integrado para que las baterías suministren la electricidad al motor eléctrico de fuerza motriz, a través de un controlador integrado el motor eléctrico transforma la energía eléctrica en mecánica para mover el vehículo a través del eje motriz mientras el vehículo está rodando. El sistema de frenado es accionado mediante el controlador del vehículo que envía señales al controlador integrado que a su vez permite cambiar el motor a un generador con el objetivo de transformar la energía cinética en electricidad y así recargar las baterías, de esta manera se realiza la recirculación de la energía, En la fase de la recarga extrema las baterías se recargan por la red eléctrica a través del equipo de recarga eléctrica.

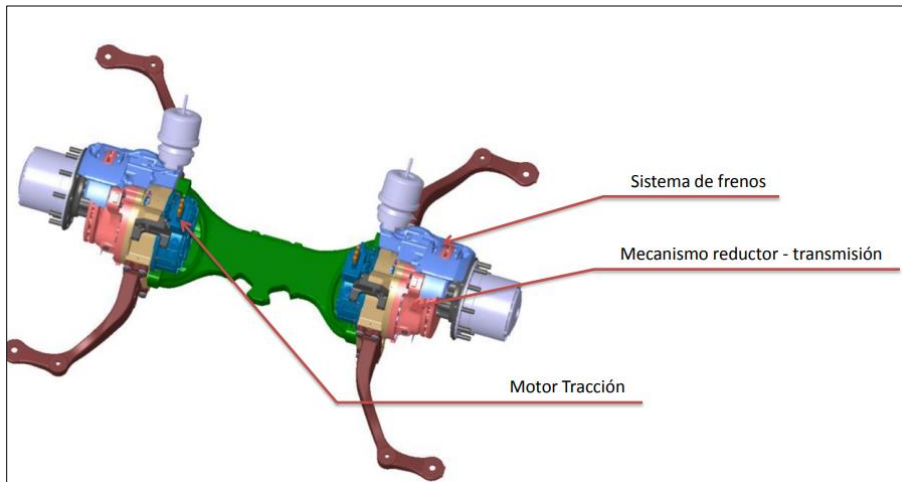


Figura 8: Modelo de Negocio.  
Fuente: Estudio de Electromovilidad UFSM.

### 3.7. CALIDAD DE AIRE EN LA REGIÓN METROPOLITANA.

Desde la puesta en marcha del primer Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA), los episodios de contaminación por Material Particulado han disminuido considerablemente en la Región Metropolitana producto de varias medidas introducidas en el plan.

Estos esfuerzos de mejoras en la calidad del aire de la ciudad Santiago ha permitido avanzar desde los 80 días del año con episodios de alertas, preemergencias y emergencias a sólo 3 días con episodios de alertas por MP10 durante el año 2017. En el siguiente gráfico se visualiza la baja sostenida del material particulado respirable.

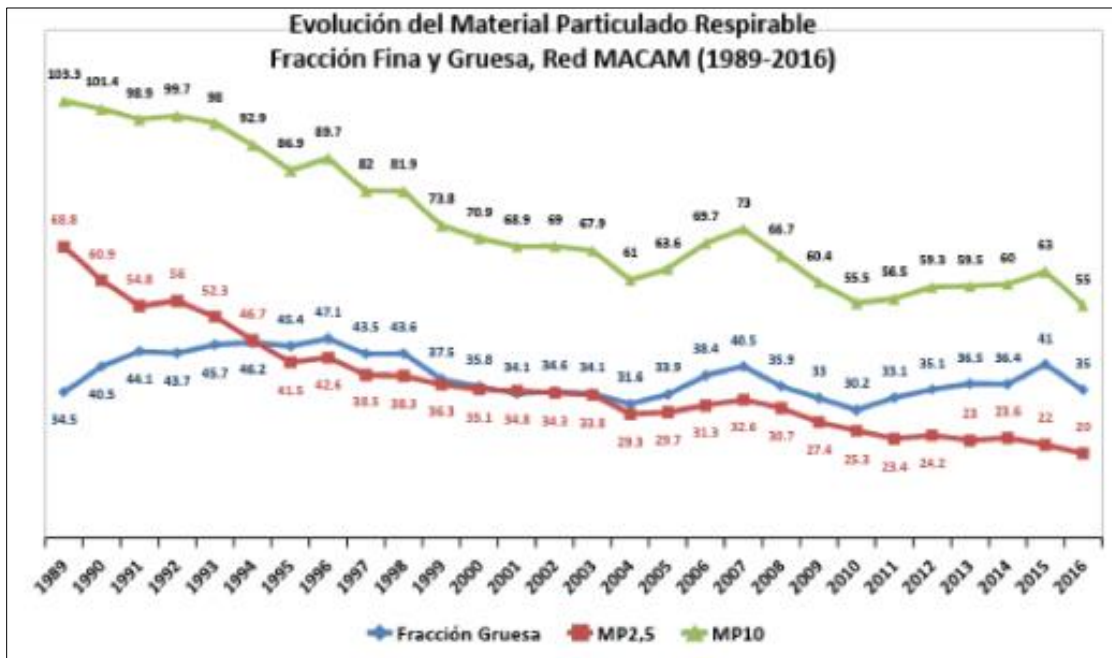


Gráfico 2: Porcentaje de buses por Unidad de Negocio.  
Fuente: Informe AGIES, DICTUC.

El anterior gráfico da cuenta de las efectivas estrategias y plan de medidas de regulación de fuentes fijas, móviles mediante la constante actualización del PPDA. No obstante, queda mucho por hacer y la región Metropolitana se mantiene afectada por contaminantes de orden primario y secundarios que dan origen a un importante número de enfermedades respiratorias.

Contaminantes		Gases Efecto Invernadero
Primarios	Secundarios	
MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	CO <sub>2</sub>
MP <sub>2,5</sub>	O <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>
Pb		N <sub>2</sub> O
SO <sub>2</sub>		HFC <sub>s</sub>
NO <sub>x</sub>		PFC <sub>s</sub>
CO		SF <sub>6</sub>
COV		O <sub>3</sub>
NH <sub>3</sub>		

Tabla 5: Clasificación de contaminantes  
Fuente: Informe AGIES, DICTUC

Respecto a los contaminantes normados, en especial en gases en los cuales el monóxido de carbono (CO), ya no se encuentra en la condición de saturación, cumpliendo con ambas normas (Norma CO, Ley 19.300). Para el caso de dióxido

de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), éste ya no se encuentra en estado de latencia, cumpliendo ambas normas también. En el caso del ozono (O<sub>3</sub>) se mantiene en estado de saturación, aunque con tendencia a la baja en sus concentraciones. En el caso de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) se mantiene la condición de cumplimiento, pero con reducción en sus concentraciones y por último el material particulado MP<sub>10</sub>, ha disminuido significativamente respecto a la norma diaria, encontrándose el año 2016 en estado de latencia; sin embargo, para su norma anual se mantiene en saturación con una tendencia de disminución en sus concentraciones.

Entre los contaminantes normados, uno de los más relevantes es el material particulado 2,5, dado que se sostiene que es de los contaminantes presente que impacta de mayor forma a la población. Por lo que a continuación se presenta evolución desde el año 2014 clasificada por fuente de emisión a partir del último y vigente inventario de emisiones realizado por PPDA presentado el 2016.

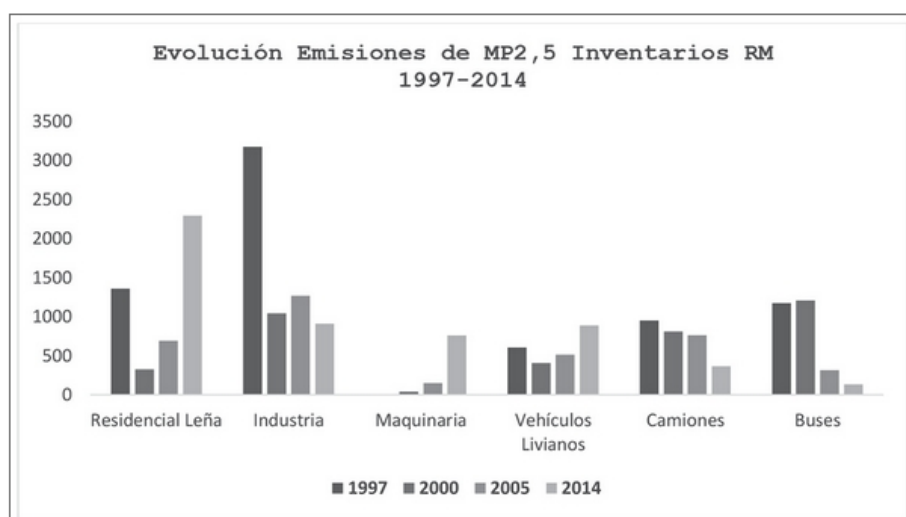


Gráfico 3: Evolución de emisiones de MP 2,5.  
Fuente: Inventario de emisiones PPDA.

#### **4. METODOLOGÍA**

Se realizará recopilación bibliográfica a modo de utilizar la mejor metodología para realizar la evaluación económica y social de proyecto, posteriormente se realizará un diagnóstico de la situación actual, detallando la composición, características y contexto en que se establece la transformación tecnológica. Se especificará el área de influencia, unidades de negocio participantes y servicios afectados con sus respectivos trazados a utilizar para el proyecto. Se elaborará una formulación de los criterios de bienestar social para luego adaptarlos a la metodología de evaluación, bajo el enfoque de eficiencia, cuantificando los costos y beneficios de las externalidades e impactos del proyecto para el cálculo de la rentabilidad económica.

Para la valoración de los beneficios de externalidades se utilizará la guía metodológica del análisis general de impacto económico y social (AGIES) del Ministerio del Medio Ambiente. Con lo anterior se situará un modelo que pueda predecir las emisiones de contaminantes por tipo de fuente (factores de emisión). Consecutivamente se utilizará los factores de conversión que permitan relacionar las emisiones de las fuentes con las concentraciones de los contaminantes en la atmósfera, obteniendo las variaciones de los niveles concentraciones de la calidad del aire expuestas a la población. Posteriormente se aplicará funciones “dosis – respuesta” que permitan estimar los daños a la salud, determinando los casos de morbilidad y mortalidad se valorizarán en el impacto total de la contaminación atmosférica sobre la salud de las personas (Método del costo de la enfermedad y capital humano)

Finalmente, ya teniendo calculado los ahorros de costos por la compra de buses eléctricos versus los buses diésel equipado con tecnología Euro VI, se incluirá el ahorro de costos debido a la disminución de externalidades negativas en los términos de calidad del aire. Se determinará el mejor escenario de expansión sustentable y sostenible, se plantearán diferentes escenarios con objetivo poder calcular cuál debe ser el despliegue recomendable de buses de buses eléctricos.

## 5. DIAGNÓSTICO

### 5.1. ELECTROMOVILIDAD EN BUSES Y PLAN ARRIBO DE BUSES ELÉCTRICOS.

La producción mundial de buses eléctricos ha crecido fuertemente los últimos años, y a pesar de la caída en el año 2017 debido al retiro de subvenciones a la compra de buses eléctricos del gobierno chino (Chediak, 2018), se espera que la producción para el 2018 se mantenga al alza. Como parte del crecimiento, Chile es el principal país de Latinoamérica, que propende incorporar lo antes posible las nuevas tecnologías de propulsión, permitiendo abrir el camino y facilitar la penetración de las empresas productoras de buses eléctricos al resto de Latinoamérica. Es muy posible que las empresas que negocian la traída de buses eléctricos puedan alcanzar buenas ofertas comerciales al momento de firmar los contratos de compra. Lo anterior se sustenta en que muchos analistas e inversionista indican que Chile dado sus características del mercado pueden ser un buen escenario de prueba, para luego transformarse en un trampolín para al resto de Latinoamérica.

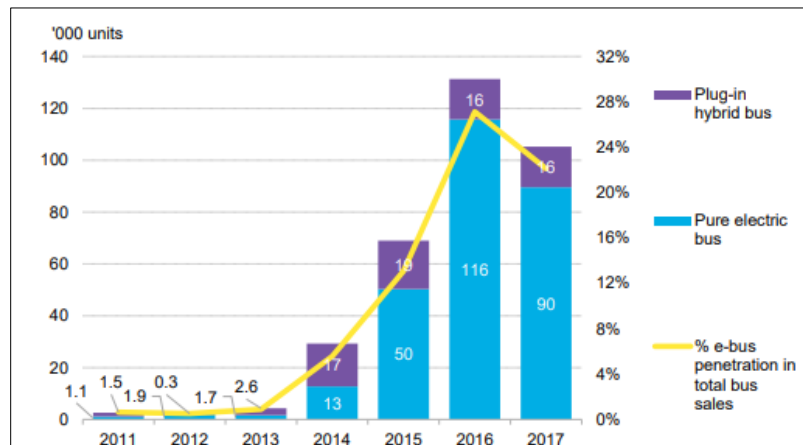


Gráfico 4: Unidades anuales producidas.

Fuente: Elaborado por Chediak 2018.

#### 5.1.1. BATERÍAS.

Las baterías están compuestas por reacciones químicas que generan energía en forma de corriente continua, no obstante, la corriente domiciliar se encuentra en estado de corriente alterna, por lo que se necesita un rectificador para cargar las baterías internas del bus.

Existen dos procesos de recarga cuando el bus se encuentra en movimiento, uno de ellos es el frenado del bus y otro es la recuperación de energía a través del mismo movimiento del bus, es decir, la batería *on board* de alto voltaje es cargada mediante un alternador, que mediante un proceso inverso desde el motor eléctrico, el bus, en movimiento funciona como un generador de corriente, permitiendo cargar



no solo la batería alto voltaje sino también la batería auxiliar de plomo que también es usada por los buses eléctricos para uso de los artefactos electrónicos internos del bus (radio, panel, luces etc.).

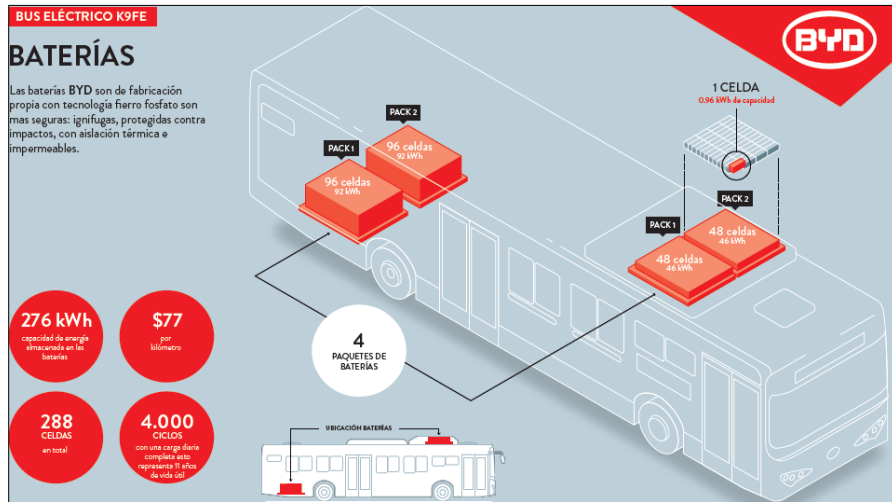


Figura 9: Posición de baterías en buses BYD.  
Fuente: BYD.

La densidad energética de las baterías de ion litio es de 160 v/hr y es cuatro veces mayor que las usadas normalmente compuestas a partir de plomo. Un depósito estándar de un bus eléctrico contiene 276 kW, por lo tanto, el peso promedio de la batería es de 1,7 ton. (276.000/160), en consecuencia, entre más grande sea el depósito más pesado será, y más potencia se requerirá para mover el bus.

La capacidad de las baterías varía entre las 2.7v y 3.5v y amperaje entre 2,6 y 3.1 amperios hora, también sabemos que el depósito total es aproximadamente 276 mil voltios y que el voltaje de los buses es entorno a los 400 voltios, entonces aplicando la relación de electricidad que es igual a la intensidad de corriente por la resistencia, se obtiene que la intensidad de corriente de aproximadamente de 212,5 Amperes. En consecuencia, se puede determinar el n° de 114 baterías ordenadas en serie y 70 baterías ordenadas en paralelo siendo un total de 7.638 baterías.

La carga de batería depende del depósito y la velocidad de carga, la red domiciliaria entrega un voltaje máximo de 220 volt y la intensidad de corriente, varía el amperaje entre 20 y 50 amperes, por lo tanto, la capacidad del flujo tendría un máximo de 11.000 volt por hora. En el caso de contar con un súper cargador trifásico la relación es la siguiente:

$$Max(Resistencia) * Max(Intensidad) * \sqrt{3}$$

Si el voltaje es 220 y la intensidad es de 50 amperios, el flujo de corriente es de 19.000 volt hora.

La autonomía depende del depósito y del consumo, sabemos que el modo de conducción es uno de los factores relevantes para aumentar o disminuir la autonomía del bus, así también el uso de artefactos eléctricos es relevante para determinar la autonomía final del bus. Otro punto importante es la carga efectiva de la batería, dado que la carga de la batería más allá del 90% es poco práctica, y adicionalmente mantener el bus operando bajo el 10% resulta bastante inseguro desde el punto de vista de autonomía. En consecuencia, la capacidad de las baterías para mantener el bus operando es de un 80% del total de la batería. En otras palabras, si la autonomía máxima del bus son 300 kilómetros, este valor debiese multiplicarse por un 80%, determinándose una autonomía real de 240 kilómetros.

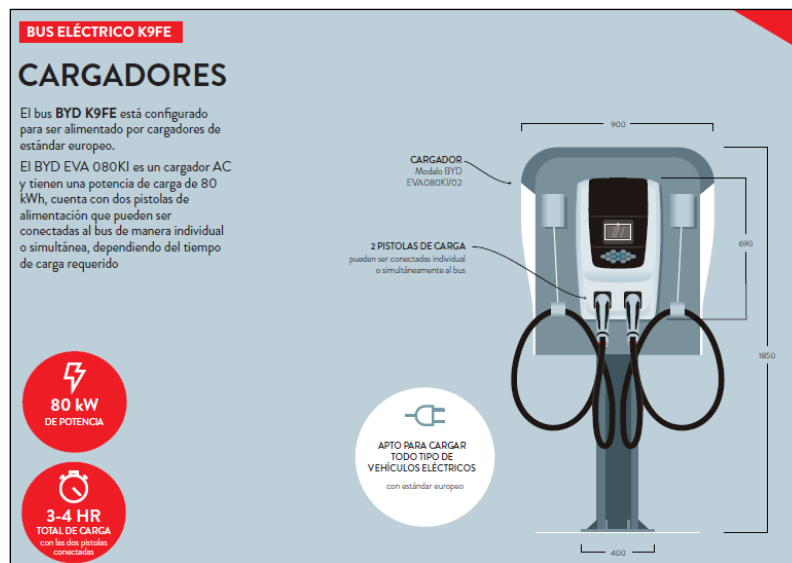


Figura 10: Esquema de Cargadores BYD.  
Fuente: BYD.

Una de las barreras de entrada más difíciles que debe sortear el mercado de vehículos eléctricos es el alto costo de las baterías, sin lugar a dudas puede ser el posible gran motivo que ha tardado la industria en masificarse, no obstante el futuro es alentador para la industria dado que el costo de producir las baterías ha disminuido significativamente los últimos 8 años, permitiendo disminuir los costos de producción, traduciéndose un menor precio de los vehículos eléctricos en el consumidor final. A continuación, se observa el precio de baterías a partir del año 2010 (Chediak, 2018).

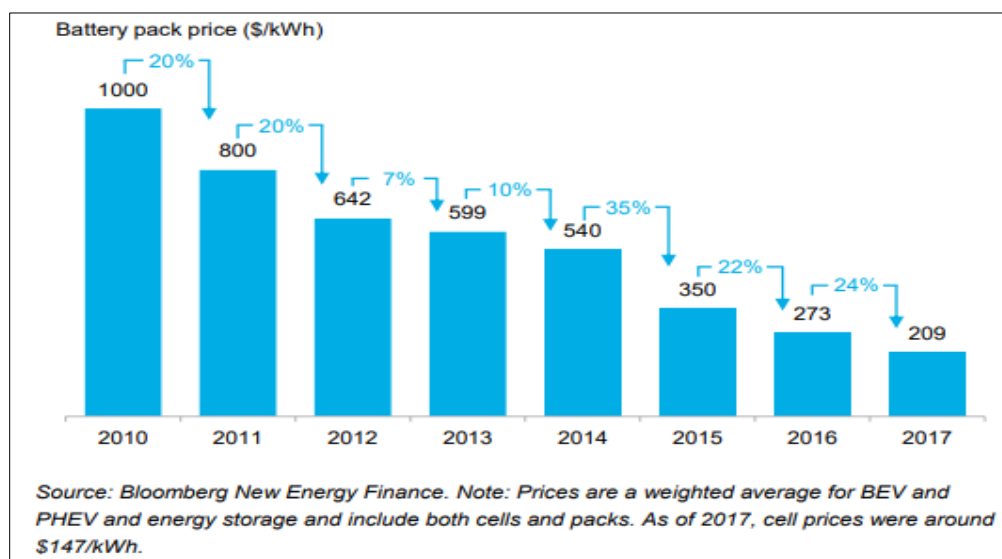


Gráfico 5: Evolución del precio de los paquetes de las baterías  
Fuente: Elaborado por Chediak 2018

### 5.1.2. PENETRACIÓN DE BUSES ELÉCTRICOS EN EL SISTEMA.

Existen varios motivos de incorporar buses eléctricos al sistema, pero probablemente del punto de vista más alejado de lo puramente técnico es que el transporte público de Santiago necesita realizar un cambio de imagen significativo, es por esta razón es que la llegada de los nuevos buses eléctricos debe ser un hito relevante y con alta exposición que dé pie a la opinión pública, para reflejar que se están haciendo acciones importantes dirigidas a cambiar el statu quo. En función de lo anterior es relevante señalar que la incorporación de los buses eléctricos se debe realizar estratégicamente en servicios de alta visibilidad, es decir que circulen por ejes estructurantes de la ciudad y operados por las mejores empresas del sistema. Es en esta línea en que a continuación se presentan los servicios donde potencialmente serán incorporados los 200 nuevos buses eléctricos durante el año 2019.

➤ Servicio I09 Rinconada - Santa Rosa.

En la actualidad el servicio I09 es operado por la Empresa Vule y el servicio en horario puntas opera con 38 buses de 90 plazas de capacidad. Sin embargo, los buses eléctricos, marca Yutong, tienen una capacidad de 85 plazas, por lo tanto, para el año 2019, se propone un ajuste de frecuencia y flota para que el servicio propuesto mantenga la capacidad de transporte por periodo para los distintos tipos de día: laboral, sábado y domingo. El cuadro a continuación resume la flota inicial y propuesta teniendo en consideración las condiciones operacionales antes expuestas.

Servicio	Flota Operativa Base (FOB)		Flota Reserva (FR)	
	Actual	Propuesta	Actual	Propuesta
I09e	38	68	2	7
I09	14		3	

Tabla 6: Cuadro resumen de flota

Fuente: Presentación Propuesta Programa de Operaciones 2019

El servicio escogido para ser operado con buses eléctricos es el I09 y circula actualmente entre Rinconada de Maipú y Estación Central. No obstante, se propone para el 2019 extender el trazado hasta Sta. Rosa con Libertador Bernardo O'Higgins. Las características del servicio son apropiadas para operar con buses eléctricos, dado que es un servicio de alta demanda y muy reconocido para los vecinos de Maipú, conecta el centro de Santiago con la zona Rinconada de Maipú, adicionalmente circula casi en su totalidad por vías exclusivas de transporte público obteniendo tiempos de viajes muy atractivos para los usuarios.

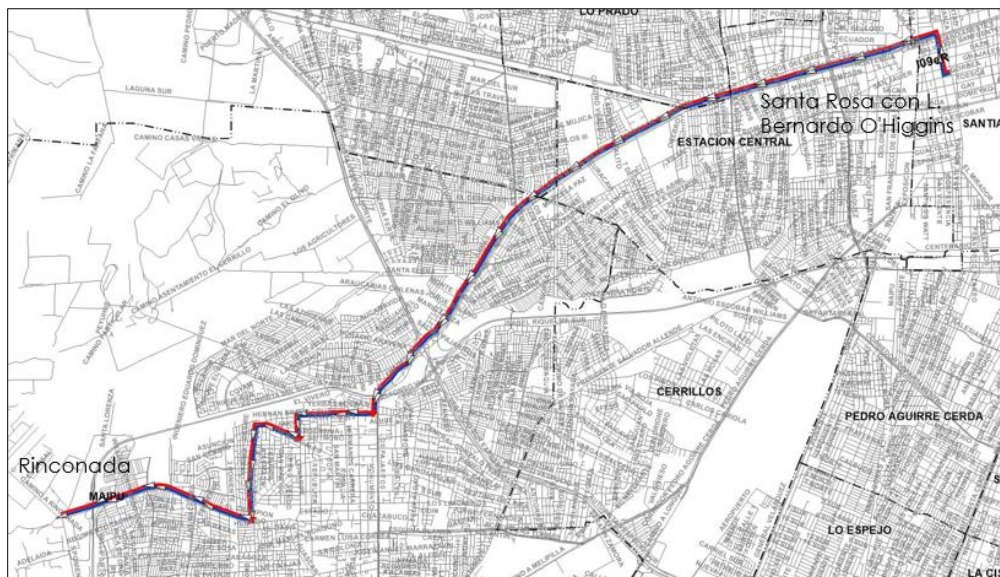


Figura 11: Servicio I09 con extensión de trazado propuesto hasta Santa Rosa.

Fuente: Propuestas Programa de Operaciones 2019 de Buses Vule.

➤ Servicio 213e Puente Alto – Plaza Italia.

En la actualidad el servicio 213e es operado por la Empresa STP y el servicio en horario puntas opera con 19 buses de 90 plazas de capacidad. Sin embargo, los buses eléctricos, marca BYD, tienen una capacidad de 85 plazas, por lo tanto, se propone un ajuste de frecuencia y flota con el objetivo que el servicio mantenga la capacidad de transporte por periodo para los distintos tipos de día: laboral, sábado y domingo. El cuadro a continuación resume la flota inicial y propuesta teniendo en consideración las condiciones operaciones antes expuestas.

Servicio	Flota Operativa Base (FOB)		Flota Reserva (FR)	
	Actual	Propuesta	Actual	Propuesta
213e	19	23	2	2

Tabla 7: Cuadro resumen de flota.

Fuente: Presentación Propuesta Programa de Operaciones 2019.

El servicio 213e opera entre Puente Alto y Plaza Italia, es un servicio que originalmente pertenecía a la empresa Subus Chile, no obstante, fue traspasado a la empresa STP, y en la actualidad es una de las 3 empresas con mejores indicadores del sistema. El servicio 213 se creó como alternativa al servicio 210 por el corredor de Vicuña Mackenna, permitiendo conectar el sector sur poniente de Puente Alto con el centro de Santiago, El cual presenta condiciones ideales para ser operado con buses eléctricos, puesto que circula por el corredor Vicuña Mackenna, siendo una excelente alternativa al metro L4 y L3. Para cumplir con la necesidad de carga STP solicitó para el 2019 extender el servicio 213e hasta el terminal de Juanita de la comuna de Puente Alto.

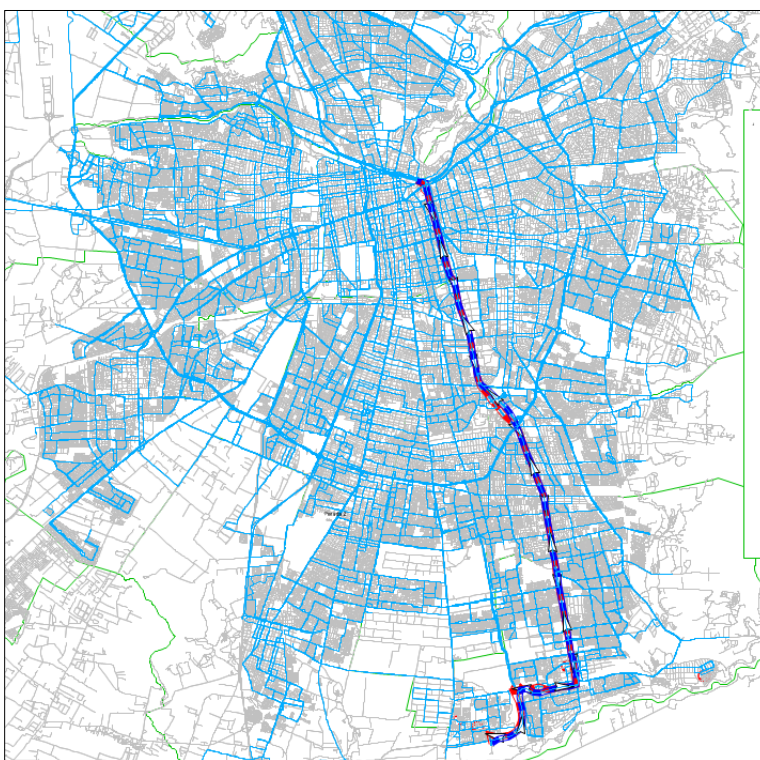


Figura 12: Servicio 213e desde Puente Alto a Plaza Italia.  
Fuente: Propuesta Programa de Operaciones 2019 de STP.

➤ Servicio 519 Corredor Grecia

El servicio 519 es operado por la empresa Metbus, que es la empresa con los mejores indicadores históricos del sistema, adicionalmente es la empresa

pionera junto con Vule en incluir en su flota buses eléctricos. Metbus tiene predominancia en los ejes estructurantes de Oriente-Poniente, Irarrázaval, Av. Matta, Blanco y Grecia. Por lo tanto, aprovechando la presencia en el corredor de Grecia se escogió que el primer servicio del sistema en operar en su totalidad con buses eléctricos es el 519e, posteriormente es posible que se agreguen durante el 2019 el servicio 507c, 516 que también utilizan el corredor de Grecia con un total de 100 buses eléctricos (ver imagen) y como resultado el primer corredor operado totalmente con buses eléctricos.



Figura 13: 100 buses eléctricos en el puerto de San Antonio  
Fuente: DTPM.

El servicio 519e opera en la actualidad con 70 buses en su flota operativa base y se extiende por más 50 kilómetros desde Diagonal La Torres en comuna de Peñalolén hasta el centro de Santiago en el sector de Los Héroes

Servicio	Flota Base (FOB)		Flota Reserva (FR)	
	Actual	Propuesta	Actual	Propuesta
519	65	70	65	70

Tabla 8: Cuadro resumen de flota  
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se observa en detalle el trazado en líneas azules y en amarillo los trazados del resto de los servicios que también operarán con buses eléctricos.

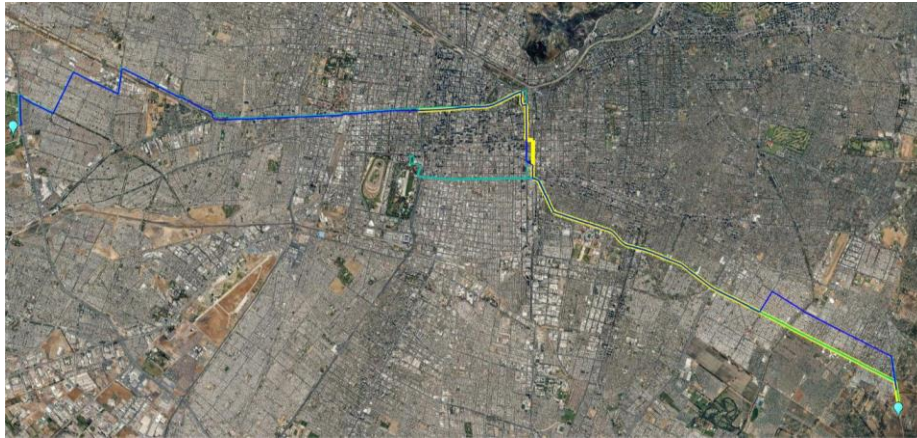


Figura 14: Servicio 519 Peñalolén – Los Héroes.

Fuente: Propuesta Programa de Operaciones 2019 de METBUS.

## 5.2. COMPARACIÓN ENTRE TECNOLOGÍAS (EURO VI Y ELÉCTRICOS).

Un método eficiente para comparar tecnologías es el método de los factores generales (Graurs, 2014), donde se comparan los factores diferenciadores dado que variables equivalentes o iguales contenidos en ambas tecnologías se anulan en el cálculo total de costos. En el caso de los vehículos eléctricos se deben considerar el precio de la electricidad, la eficiencia y los costos de mantenimiento. En el caso de los vehículos Diésel los factores relevantes a considerar es el precio, la eficiencia del Diésel y costos de mantenimiento. Adicionalmente para este estudio es relevante revisar los costos externos que se deben tener en cuenta, cuanto es el impacto en la calidad del aire que tienen las tecnologías y si el beneficio es significativo al disminuir los costos externos de no usar motores de combustión interna.

Tipo de vehículo	Gastos por Compra	Valor Residual	Costos de Operación	vida útil
<b>Bus Diésel</b>	Bajo	Moderado / Bajo	Alto	entre 7 - 12 / 20 o más
<b>Eléctrico Bus</b>	Alto	Sin conocimiento	Bajo	Sin conocimiento vida de batería

Tabla 9: Comparación Eléctrico y Diésel

Fuente: Wireless Energy Supply to Public Transport Units, Graurs 2014

El costo de capital incluye la inversión inicial y el valor residual del bus, no obstante, el valor residual de los buses eléctricos es ambiguo, dado que no existe información histórica de los motores eléctricos, ni de la batería que desde el punto de vista del costo inicial es bastante alto, es muy posible que las baterías puedan ser refaccionadas químicamente y reutilizadas, pero desde luego no existe certeza del valor residual de la batería. Por lo tanto, el valor residual para ambas tecnologías será considerado valor Cero.

Factor	General	Bus eléctrico	Bus Diésel
<b>Costo de Capital</b>			
<b>Inversión inicial</b>	Diferentes para ambas tecnologías.	Costo por infraestructura de carga Eléctrica	Costo de Estación de Diésel
<b>Tasa de descuento</b>	Igual	x	x
<b>Valor residual</b>	Actualmente ambiguo	x	x
<b>Costo Operacional</b>			
<b>Nivel de Utilización</b>	Igual	x	x
<b>Salarios</b>	Igual	x	x
<b>Estación de Servicios de Buses</b>	Actualmente ambiguo se asume igual	x	x
<b>Impuesto</b>	Actualmente ambiguo se asume igual	x	x
<b>Costo de la Energía o combustible</b>	Costo de la electricidad e inclusión del precio.	Costo de la electricidad e inflación del precio	Costo del Diésel e inflación del precio
<b>Mantenimiento</b>	Deberían ser más bajos para los EV	Más Bajos los costos de Mantenimiento	x

Tabla 10: Comparación Eléctrico y Diésel  
Fuente: Elaboración basada en Graurs 2014

### 5.2.1. BUS MERCEDES BENZ 500 LE EURO VI

El modelo 500 LE cumple con normativa de emisiones Euro VI se encuentra circulando a partir del año 2016, con el objetivo de central de ser evaluado por las empresas como posible alternativa de las próximas licitaciones. Es un bus que cumple con todos los estándares internacionales, que mide 13.2 metros y posee puertas en ambos costados, lo que le permite operar en los futuros corredores donde el acceso será por el costado izquierdo (Corredor Independencia). Estos buses son armados en Brasil y cuentan con nuevos sistemas de seguridad en todas sus versiones, ABS, ESP con Tracción Antideslizante. Entre sus mejoras significativas, son sus sistemas de emisiones que según los fabricantes en 80% los Óxidos Nitrogenados y en un 60% el material Particulado que sus versiones anteriores.



Características	
Consumo Diésel	<b>0.54 Lt/km</b>
Costo Mantenciones	<b>\$120/km</b>
Costo total	<b>220.000 USD</b>
Carrocería	<b>Caio Mondego II</b>
Vida útil	<b>1 millón de km 12 años</b>
Normativa de Emisión	<b>Euro VI EPA 2010</b>




Tabla 11: Mercedes OC 500 LE  
Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.2. BUS VOLVO B8R LE EURO VI

El modelo B8R LE cumple con normativa de emisiones Euro VI se encuentra circulando a partir del año 2017, comprado por la empresa Redbus operando en el servicio C02c. El bus opera en la zona con más pendientes de la región Metropolitana por lo que su motor es exigido a máxima potencia. Este bus de Marcopolo es armado en Brasil y cumple con todos los estándares internacionales, es un bus que mide 13.2 metros y posee puertas en ambos costados, cuenta con capacidad para 99 pasajeros de los cuales 32 pueden ir sentados.

Características	
Costo Consumo	<b>0.58Lt/km</b>
Carrocería	<b>Marcopolo Torino</b>
Costo total	<b>225.000 USD</b>
Costo Mantenciones	<b>\$120/km</b>
Vida útil	<b>1 millón de km 12 años</b>
Normativa de Emisión	<b>Euro VI EPA 2010</b>



Tabla 12: Volvo B8R LE  
Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.3. BUS SCANIA K280 UB EURO VI

El modelo K280 UB cumple con normativa de emisiones Euro VI se encuentra circulando a partir del año 2017, comprado por la empresa Redbus operando en el servicio C02c. El bus opera en la zona con más pendientes de la región Metropolitana por lo que su motor es exigido a máxima potencia. Este bus de Marcopolo es armado en Brasil y cumple con todos los estándares internacionales, es un bus que mide 13.2 metros y posee puertas en ambos costados, cuenta con capacidad para 99 pasajeros de los cuales 32 pueden ir sentados.

Características	
Costo Consumo	<b>\$0.55/km</b>
Costo Mantenciones	<b>\$135/km</b>
Costo total	<b>240.000 USD</b>
Vida útil	<b>1 millón de km 12 años</b>
Normativa de Emisión	<b>Euro VI EPA 2010</b>



Tabla 13: Scania K280 UB  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 5.2.4. BYD K9 ELÉCTRICO.

Bus eléctrico de origen Chino, opera con 12 baterías, este bus es el primer bus eléctrico que operó en Chile con la empresa Metbus, y ha sido monitoreado durante todo el año 2018, sus prestaciones en términos de autonomías son de aproximadamente 250 kilómetros y es posible cargar en aproximadamente 3 horas, sus dimensiones son 12 metros de largo y posee 31 asientos. Destaca con sus comodidades para los usuarios dado que posee aire acondicionado y conexiones con puertos USB.

Características	
Costo Consumo	<b>1 kW/km</b>
Costo Mantenciones	<b>\$135/km</b>
Costo total	<b>285.000 USD</b>
Vida útil	<b>10-14 años</b>
Instalación de Cargador	<b>15.000 USD</b>




Tabla 14: BYD K9  
Fuente: Elaboración Propia

### 5.2.5. YUTONG ELÉCTRICO

Bus eléctrico de origen Chino, tiene un motor de 324 kw que funciona con 12 baterías, este bus en la actualidad es utilizado por la empresa Vule, y ha sido monitoreado durante todo el año 2018, sus prestaciones en términos de autonomías son levemente superiores al BYD K9 utilizado por Metbus, y es posible cargar en aproximadamente 2,5 horas, sus dimensiones son 12 metros de largo y posee 30 asientos. Destaca con sus comodidades para los usuarios dado que posee aire acondicionado y es 100% piso bajo.

Características	
Costo Consumo	<b>1km/kW</b>
Costo Mantenciones	<b>\$130/km</b>
Costo total	<b>287.000 USD</b>
Vida útil	<b>10-14 años</b>
Instalación de Cargador	<b>13.000 USD</b>




Tabla 15: Yutong  
Fuente: Elaboración Propia

### 5.3. ANÁLISIS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

La variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), y aerosoles en la atmósfera, alteran el equilibrio energético del sistema climático, las emisiones mundiales de GEI por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004 (IPCC, 2007)

Las concentraciones atmosféricas mundiales de CO<sub>2</sub>, metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) han aumentado por efecto de las actividades humanas desde 1750

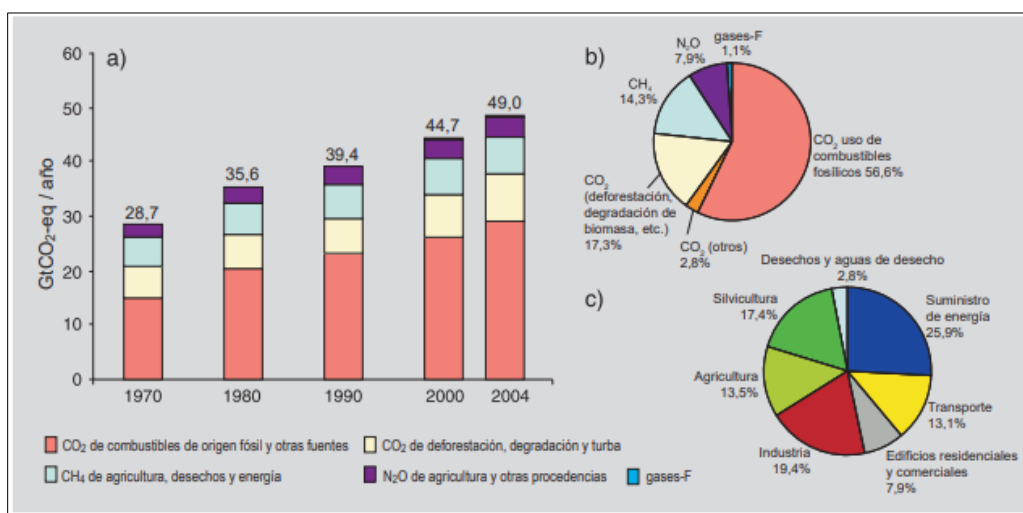


Gráfico 6: a) Emisiones anuales de GEI antropógenos b) composición de GEI en las emisiones c) composición de los sectores por emisión.  
Fuente: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007.

Chile desde los años 90, ha llevado una política económica globalizada y abierta al mundo que le ha permitido firmar varios acuerdos económicos, en sintonía con los acuerdos internacionales, Chile ha firmado responsablemente acuerdos para reconocer y realizar acciones que permitan mitigar los efectos en el cambio climático, entre los acuerdos que ha firmado se encuentra el acuerdo de París que entre sus medidas fue el elaborar un plan de acción con metas y plazos para disminuir la emisión de gases (CO<sub>2</sub>) con efecto invernadero (GEI), causantes del calentamiento global.

La integración del cambio climático al sistema nacional de inversiones públicas de Chile tales como residuos Sólidos, Hidroeléctricas y transporte permite atribuirles un precio social a las emisiones de CO<sub>2</sub> en los proyectos de inversión pública. Este precio se utilizará para valorar los cambios producidos en toneladas de CO<sub>2</sub> en la Evaluación Social de Proyectos de inversión, cuando se compare la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> de la situación base (optimizada) con las emisiones de las distintas alternativas de proyecto.

BASE	UF/TON CO <sub>2</sub>
PRECIO SOCIAL CO <sub>2</sub>	0,823

Tabla 16: Precio social del CO<sub>2</sub>

Fuente: Ministerio de Desarrollo Social 2017

En la región Metropolitana de Chile, el transporte es responsable de un 81 % de las emisiones de CO y 41 % de las emisiones de material particulado, además del 79 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> (Gramsch, 2014). Estas corresponden a las emisiones de camiones, buses y vehículos particulares. Un sistema de transporte público bien organizado y operado, genera mucho menos contaminación por pasajero transportado que el vehículo particular. Sin embargo, estas tasas pueden variar mucho dependiendo de cómo se opere el sistema.

## 5.4. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

El desarrollo de la electromovilidad en el transporte urbano es una realidad, por lo que es relevante determinar los efectos en la calidad del aire debido a la transformación tecnológica a través de la electrificación del transporte público de buses. La calidad del aire de Santiago se concentra principalmente en cuatro contaminantes. Estos contaminantes se encuentran normados en el reglamento de la ley 19.300, debido a que poseen características que representan un riesgo para la salud de las personas que viven en el valle de Santiago. Existen diferentes clasificaciones de fuentes de emisión, sin embargo, en este estudio nos centraremos en una de sus principales fuentes antropogénicas que corresponde a las emisiones de las fuentes móviles realizadas por buses.

En efecto, así lo han establecido algunos trabajos como el Centro Mario Molina (2008) que realizó mediciones de MP10 y NOx a nivel de calle en la Alameda y Gran Avenida, los años 2006 y 2007 y constató una disminución del flujo de buses de en torno al 50% en ambas arterias, y de 25% en la concentración de MP2,5, y de 50% de NOx.

Por su parte, en Figueroa et. al. (2013) investigó el efecto del Transantiago en la concentración de MP10 en el aire con datos del Sistema Nacional de Medición de la calidad del Aire (SINCA) entre 1997 y 2009 y concluyó que el Transantiago puede disminuir al menos 3,9 micrómetros por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de MP10 en el aire.

Por lo tanto, es muy importante determinar e incluir esta externalidad en el análisis de costo total del cambio tecnología.

En la actualidad la ciudad genera contaminantes de diversas fuentes de emisión fijas y móviles de diferentes actividades no obstante los principales gases utilizados en las diversas metodologías a nivel mundial son:

Contaminante	
<b>MP10</b>	material particulado inferior a 10 micrómetros
<b>MP2.5</b>	material particulado inferior a 2,5 micrómetros
<b>CO2</b>	Dióxido de Carbono
<b>NOx</b>	óxido de nitrógeno, precursor de Ozono (Contaminante Secundario)

Tabla 17: Gases Contaminantes  
Fuente: Informe AGIES, DICTUC

## 5.5. ANÁLISIS DE CONTEXTO

En marzo del año 2018 se realiza el cambio de gobierno de Michelle Bachelet a Sebastián Piñera quién nombra representante a la Sra. Gloria Hutt para ocupar el cargo como la nueva Ministra de Transporte y Telecomunicaciones. Entre las primeras disposiciones de las nuevas autoridades fue la declarar desierto el proceso de licitación con el objetivo de corregir los errores del proceso de licitación

observados por el Tribunal de Defensa de la Libre Competencia (TDLC) y generar mejoras al sistema de transporte público de Santiago. El gobierno optó por asumir los enormes costos que implica no renovar este año la mitad del Transantiago, extender los contratos de cuatro operadores hasta 2019 y finalizar definitivamente los contratos de la empresa Alsacia. De este modo se desea acelerar la llegada de buses eléctricos, por la finalización del contrato de las empresas Alsacia, Redbus. Estos cambios en estratégicos y tácticos permiten reevaluar y realizar cambio de fondo al sistema.

Como se señala anteriormente entre las medidas a considerar fue extender por un plazo de 7 meses el contrato de la empresa Alsacia (octubre del 2018) y adicionalmente extender los contratos de las empresas STP y Redbus hasta la próxima licitación. Cabe mencionar que las empresas STP y Redbus poseen buenos indicadores que seguramente será un factor relevante para considerar para postular a las nuevas licitaciones. Las nuevas autoridades consideran entre los hitos relevantes para el cambio de imagen y calidad de servicio la incorporación de buses eléctricos por lo cual se espera el arribo de 200 nuevos buses totalmente eléctricos a fines del 2018 y comienzos del 2019. La compra de estos buses no serán parte del nuevo modelo de negocio explicado anteriormente, no obstante, se desea dar el puntapié inicial a las nuevas tecnologías. Los 200 buses serán comprados por las unidades de negocio de los cuales 100 buses llegarán a la empresa Metbus, 75 a la empresa Vule y 25 a la STP. Los 100 primeros buses eléctricos se esperan para diciembre del 2018, junto con la habilitación de los terminales compatibles con la electromovilidad, por otro lado, se espera que para diciembre también se encuentre habilitado corredor Grecia como el primer corredor eléctrico del sistema. Para los restantes 100 buses se espera el arribo para enero 2019 conjuntamente con la habilitación de los terminales. Adicionalmente y producto de los buses dados de baja en su mayoría de la empresa Alsacia que posee la flota más antigua del sistema, espera la llegada en el corto plazo de 490 nuevos buses Euro VI, finalmente.

## 6. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.

### 6.1. PROYECCIÓN DE FLOTA

Supuestos para realizar apertura de proyección por tipo de bus.

- Se consideró una vida útil de buses entre 13 y 14 años, para los buses que se encuentran actualmente operando, debido a que los contratos vigentes indican que el millón de kilometraje es calculado a partir de sólo kilómetros comerciales.
- No se realizarán nuevas compras de buses con normativa inferior a Euro VI
- No se realizará compras de nuevas tecnologías diferentes a las mencionadas, dado que parte de los riesgos en la transformación tecnológica corresponden a la aparición de nuevas tecnologías que puedan dejar obsoletas el uso de las baterías eléctricas.
- La proyección inicial al año 2030 contempla un Mix de 25% buses eléctricos y 75% de Euro VI.
- La proyección se realiza a partir del año 2005 y no se considera proyectos futuros de inversión pública que permitan reducir la flota operativa base. Entre los proyectos que puedan alterar la necesidad de flota total es la construcción de líneas de metro como también proyectos que mejoren las velocidades de operaciones de los buses como es el caso de los corredores.

#### 6.1.1. VIDA ÚTIL.

Basados en información en la última licitación inconclusa elaborada en el año 2017 se presenta edad máxima esperada por de buses según tipo de motorización, y para efectos de este estudio es razonable considerar los siguientes valores para el cálculo económico de la tecnología.

Tecnología de propulsión	Vehículos nuevos		Vehículos usados
	Kilómetros o años, lo que ocurra primero		Sólo años
	Kilometraje máximo recorrido	Edad máxima (años desde su fabricación)	Edad máxima (años desde su fabricación)
Motor Diesel	900.000	10	10
Motor a gas natural comprimido (GNC)	1.000.000	12	12
Motor híbrido (Diesel-eléctrico; Plug-in)	1.000.000	12	12
Motor 100% eléctrico	1.200.000	14	14

Tabla 18: Vida útil por tipo propulsión

Fuente: Estándares de buses DTPM 2017 (Propuesta en licitación 2017)

## 6.1.2. PROYECCIÓN DE FLOTA DE BUSES

A partir de la situación actual de flota buses se realiza proyección de la futura flota de buses hasta el 2030 considerando, realizando una proyección de mediante un ajuste de Mínimos cuadrados.

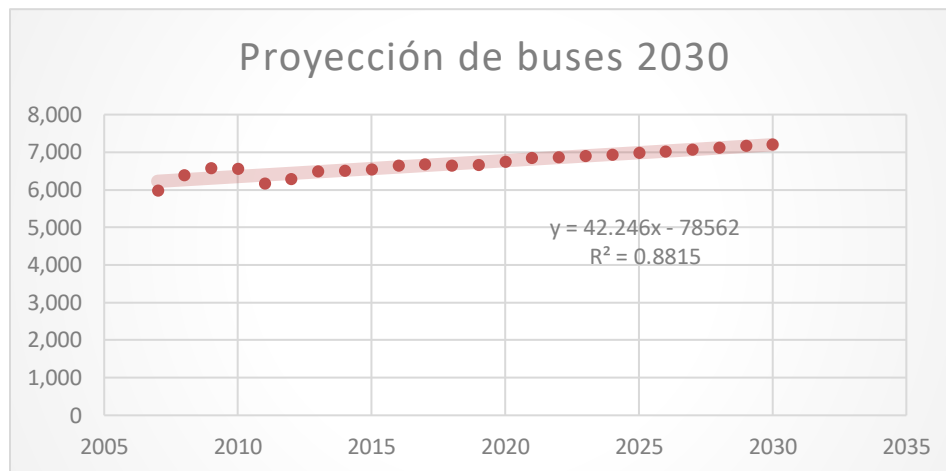


Gráfico 7: Proyección de flota buses totales del Sistema.  
Fuente: Elaboración Propia.

Se realizó apertura de la proyección basados en la renovación de buses considerando que existe un número importante de buses que se encuentra al límite de su vida útil. Los actuales contratos determinan la vida útil del bus a partir de los kilómetros comerciales y no por los kilómetros producto de los kilómetros realizados en vacío o no comerciales del bus, por lo tanto, que se estima que existe una cantidad de buses que sobrepasa largamente el millón de kilómetros operativos.

Unidad de Negocio	Años de Antigüedad
U1	<b>12 años</b>
U2	<b>10 años</b>
U3	<b>6 años</b>
U4	<b>9 años</b>
U5	<b>8 años</b>
U6	<b>7 años</b>
U7	<b>7 años</b>
Total del sistema	<b>8 años</b>

Tabla 19: Antigüedad promedio de flota de buses  
Fuente: Elaboración propia

En el siguiente gráfico se presente la apertura de la distribución de buses para los próximos años de acuerdo con la norma de emisión homologada de cada tipo de bus. El escenario presentado se basa en una apuesta conservadora y tendencial en la inclusión de buses eléctricos al sistema, no obstante, en los anexos



es posible visualizar al menos 2 escenarios más donde el ingreso de buses eléctricos al sistema es más agresivo con 50% y 75% de buses eléctricos al 2030.

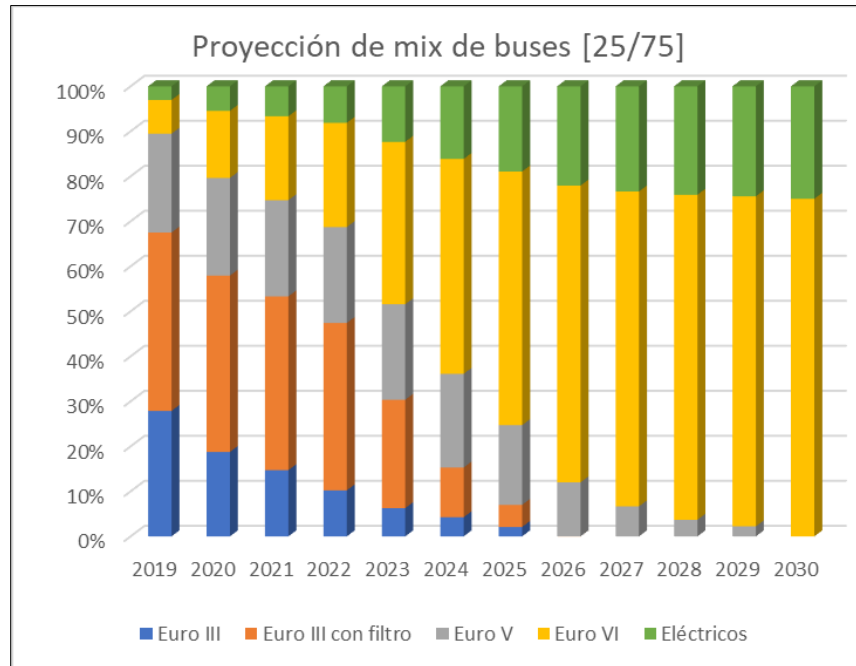


Gráfico 8: Proyección de flota buses con apertura de tecnología.  
Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se presenta la proyección con la apertura donde se consideró una Mix final de un 25% eléctricos y un 75% Euro VI al 2030 que se puede visualizar color gris. Para el caso de los Euro III o Euro V se asume que tienen una vida útil de 13,5 años.

Escenario I	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Euro III	1.859	1.266	1.008	702	433	295	146	0	0	0	0	0
Euro III con filtro	2.645	2.645	2.645	2.558	1.660	767	343	1	0	0	0	0
Euro V	1.465	1.465	1.465	1.465	1.465	1.445	1.236	842	471	263	160	0
Euro VI	500	1.007	1.278	1.591	2.488	3.315	3.935	4.628	4.947	5.145	5.256	5.402
Eléctricos	203	368	456	559	851	1.120	1.322	1.549	1.652	1.717	1.753	1.801
Total	6.672	6.751	6.852	6.875	6.897	6.942	6.982	7.020	7.070	7.125	7.169	7.203

Tabla 20: proyección de buses hasta el 2030 de flota de buses  
Fuente: Elaboración Propia

## 6.2. EXTERNALIDAD CALIDAD DEL AIRE DE SANTIAGO.

### 6.2.1. FACTORES DE EMISIONES POR TIPO BUS

En la actualidad Santiago posee más de 1,2 millones de vehículos particulares, 24 mil taxis particulares, 14.000 taxis colectivos y unos 6.681 buses para el transporte público urbano. Basados en estimaciones de viajes se estima que el 29.1% de los viajes diarios son realizado a través del transporte público y 28% a través de autos particulares. Basados en el cálculo de inventario de emisiones en el plan de descontaminación de Santiago el sector transporte emite un tercio de las emisiones de GEI y la mitad de las emisiones de NOX. Sólo Transantiago emite más de 450 mil toneladas de CO2 al año.

Sector	Emisiones de Contaminante [Ton/año]				
	MP10	MP2,5	SOx	NOx	NH <sub>3</sub>
Industria	911	874	1994	4895	-
Residencial Leña	2251	2191	36	214	178
Residencial no leña	100	95	294	1563	10
Agroindustria	-	-	-	-	17210
Quemas Agrícolas	131	118	28	81	1
Transporte	1109	1109	91	24954	548
Maquinaria Fuera de Ruta	1178	1143	35	9781	3
Otros	174	157	13	70	23
<b>Total</b>	<b>5854</b>	<b>5687</b>	<b>2491</b>	<b>41558</b>	<b>17973</b>

Tabla 21: Emisiones por contaminante  
Fuente: INE 2016

Para calcular las emisiones de los buses se utilizan los factores de emisiones promedio empleados en el modelo MODEM (2010), los cuales provienen del modelo COPERT (2014), A continuación, se presentan los factores de emisiones por kilómetro para los siguientes contaminantes CO, NOx y PM2.5

gr/km	CO	NOx	PM2,5
<b>Euro III</b>	2,67	9,38	0,207
<b>Euro IV</b>	0,223	5,42	0,0462
<b>Euro V</b>	0,223	3,09	0,0462
<b>Euro VI</b>	0,223	0,597	0,0023

Tabla 22: Emisiones por tipo de Norma  
Fuente: Copert (2014)

### 6.2.2. FACTOR DE EMISIÓN - CONCENTRACIÓN.

Se utilizó el modelo aproximado recomendado por DICTUC (2008) en el Análisis y Evaluación del Impacto Económico y Social del Plan de Descontaminación de la

Región Metropolitana mediante el modelo Rollback simplificado para calcular una estimación aproximada de la relación entre las emisiones y las concentraciones

Para cuantificar el impacto en la calidad del aire se utilizará la siguiente tabla de conversión para determinar los niveles de concentración en la calidad del aire de Santiago.

Ciudad	PM2.5	SOx	NOx	PRS
Calama	2.160	86.100	866	71.700
Tocopilla	32	11.000	3.530	0
Región 05-All	892	46.200	2.950	50.200
Gran Valparaíso	98	1.300	1.610	59.100
Ventanas	35	16.800	824	840
Región 06-All	919	57.500	2.700	48.000
Gran Concepción	1.080	7.170	2.250	6.250
Gran Temuco	125	0	0	10.100

Tabla 23: Factores de Emisiones – Concentración para Santiago.  
Fuente: AGIES MP2.5 (2009).

### 6.2.1. INCIDENCIA DOSIS – RESPUESTA.

Utilizando las tablas de Dosis - Respuestas (ver anexos) se calcula los efectos debido a la variación de la concentración de la calidad aplicado a los escenarios futuros presentados en este trabajo. Para llevar a cabo este cálculo se utiliza la tasa de incidencia aplicada a la ecuación de cambio de incidencia de efectos la dosis de respuesta. n

$$IR_{ij} = \frac{E_{ij}}{Pop_j}$$

Donde,  
 $E_{ij}$ : Número de efectos i en la población j.  
 $Pop_j$ : Grupo de población j bajo análisis.  
 $IR_{ij}$ : Tasa incidencia del efecto i en la población j.

Figura 15: Tasa de incidencia.  
Fuente: AGIES Guía Metodológica de Calidad del Aire.

$$\Delta E_{ij}^k = [\exp(\beta_{ij}^k \cdot \Delta C^k) - 1] Pop_j^k IR_{ij}$$

Donde,

$\Delta E_{ij}^k$ : Cambio en el número de efectos i debido al cambio de concentraciones del contaminante k en la población j.

$\beta_{ij}^k$ : Coeficiente de riesgo unitario del efecto i en la subpoblación j producto del contaminante k.

$\Delta C^k$ : Cambio de concentración del contaminante k.

$Pop_j^k$ : Número de personas del grupo j que está expuesta al contaminante k.

$IR_{ij}$ : Tasa incidencia del efecto i en la población j.

Figura 16: Ecuación de cambio de Incidencia en efectos.  
Fuente: AGIES Guía Metodológica de Calidad del Aire.

Utilizando la ecuación de Dosis – Respuesta es posible calcular los posibles casos de enfermedades y efectos en la restricción de actividades debido a la variación de la concentración del material particulado 2.5 en la ciudad de Santiago. En el gráfico es posible visualizar una sostenida baja de casos debido a la mejora en la calidad del aire, se estima que 38 mil personas pueden verse beneficiadas producto del ingreso de buses Euro VI y Eléctricos, cabe señalar que esta proyección estima un mix de un 25% de eléctricos y un 75% de buses operativos con tecnología Euro VI, este último de emisiones bastante menores que los actuales Euro III con y sin filtro.

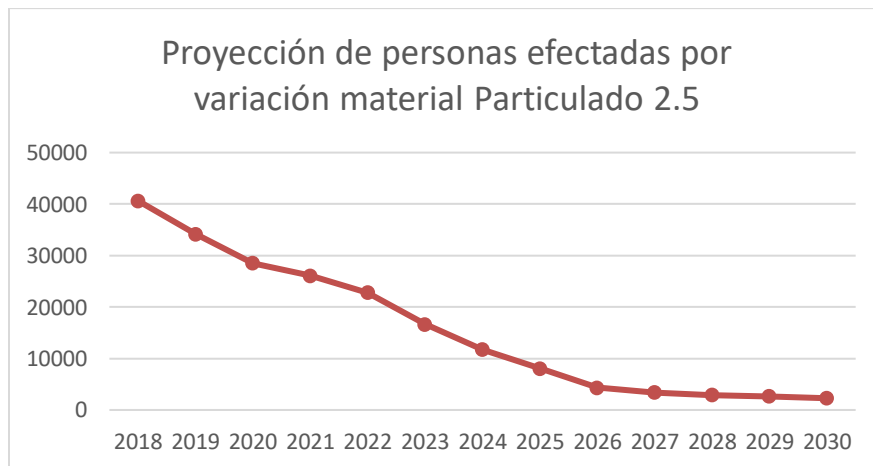


Gráfico 9: Proyección de personas afectadas al 2030 el 25% son buses eléctricos.  
Fuente: Elaboración propia

### 6.3. EXTERNALIDAD CAMBIO CLIMÁTICO (GEI)

Para calcular los beneficios del proyecto producto de cambio climático, se deben calcular las emisiones Directas e Indirectas:

Emissiones indirectas: Corresponden a emisiones que se generan producto de la generación de energía eléctrica y se calculan basando la matriz energética y se utilizan tablas del modelo Maps que proyectan el mix anual hasta el 2030. El factor de emisión va disminuyendo debido al cambio de fuentes que producen energía eléctrica, bajo el supuesto que las regulaciones y avance tecnológicos permitirán que los procesos sean cada vez más limpias.

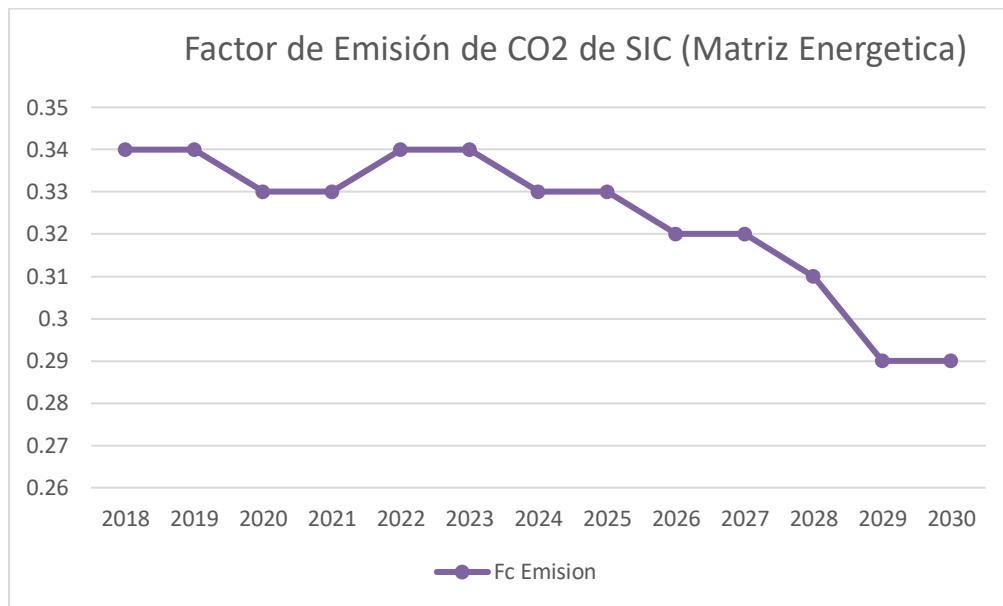


Gráfico 10: Proyección de Emisión de CO2 de Sistema interconectado Central (SIC).

Fuente: Ministerio de Energía

Emissiones directas: corresponde a las emisiones de CO2 que dejarían de emitir los buses producto del ingreso de buses eléctricos al sistema. Para este el siguiente escenario se contempla un escenario conservador donde el mix final de buses al año 2030 es de 75% buses con diésel y 25% buses eléctricos.

El cálculo realizado para las emisiones indirectas es:

$$Energia\left[\frac{kW}{anual}\right] = consumo\left(\frac{kW}{km}\right) * Utilización\left[\frac{km}{anual}\right]$$

$$Emisión\ de\ CO2\ \left[\frac{ton}{anual}\right] = Energia\left[\frac{kW}{anual}\right] * Fc\ Emisión\left[\frac{tonCO2}{mW}\right]$$

El cálculo realizado para las emisiones Directas es:

$$Emisión\ de\ CO2\left[\frac{Ton}{m3}\right] = Utilización\ \left[\frac{Lt\ Diesel}{anual}\right] * fc\ Emisión\ \left[\frac{kg\ CO2}{Lt\ Diesel}\right]$$

A continuación, se presenta las emisiones por tipo de tecnología las emisiones calculadas para el año 2019, donde se observa que el 1% se de CO2 será emitido de forma indirecta por los 203 buses eléctricos que circularán en Santiago.

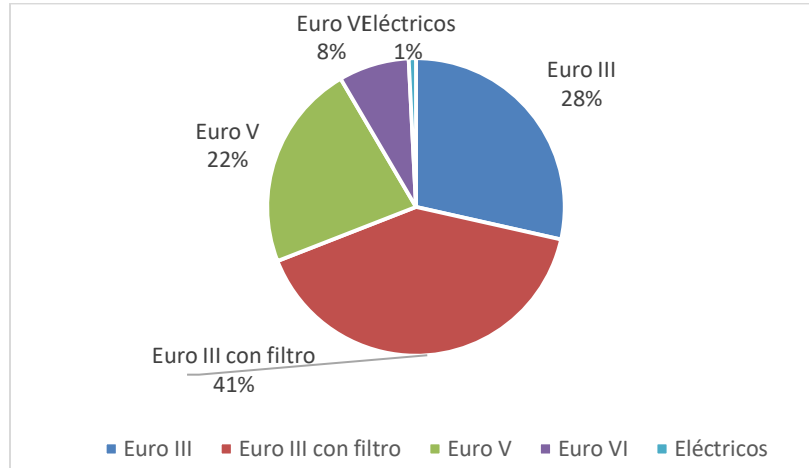


Gráfico 11: Porcentaje de emisiones de CO2 por tipo de bus.  
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente y utilizando la proyección buses al 2030 indicada anteriormente, se estima las emisiones de CO2 para el 2030, el efecto de incluir buses eléctricos de forma progresiva con un total del 25% de la flota podrían reducir en 42 mil toneladas de CO2 equivalente a una 8% de las emisiones totales anuales de CO2.

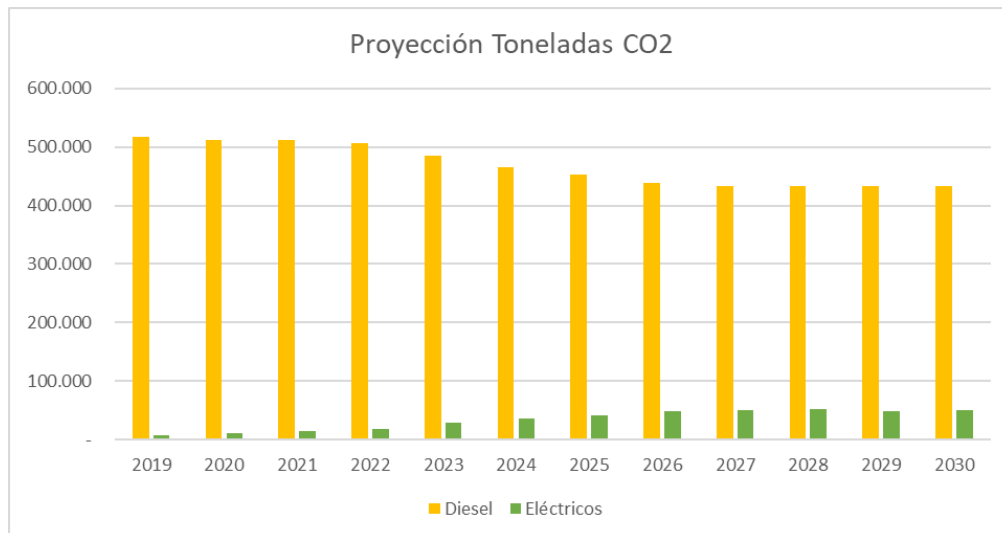


Gráfico 12: Proyección de Emisión de CO2  
Fuente: Elaboración Propia

## 6.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL

La evaluación social de proyectos busca maximizar el bienestar de todos los agentes involucrados en su conjunto, a diferencia de la evaluación de proyectos privados que busca maximizar solo el del ejecutor del proyecto, por lo tanto, es en este sentido, se incorporan variables externas que impactan socialmente, como es el caso de la calidad del aire y el impacto al medio ambiente.

Como se mencionó en este trabajo se procede a adaptar metodologías de evaluación social bajo el enfoque de eficiencia, comparando el ahorro de costos que se obtiene producto de la incorporación de buses eléctricos versus la incorporación de buses nuevos con tecnología Euro VI.

Las categorías principales de costos son el precio de compra inicial y los costos de operación del autobús. El precio de compra inicial del autobús eléctrico presentado incluye la infraestructura de recarga, manuales y cualquier entrenamiento de usuario que se requiere. Los costos operativos incluyen el costo del combustible (electricidad frente a la gasolina diésel) y el mantenimiento de autobuses.

Posteriormente se realizará una comparación entre los diferentes escenarios indicando los impactos que se obtienen producto del ingreso progresivo de buses eléctricos versus buses que cumplen con el estándar tecnológico EURO VI

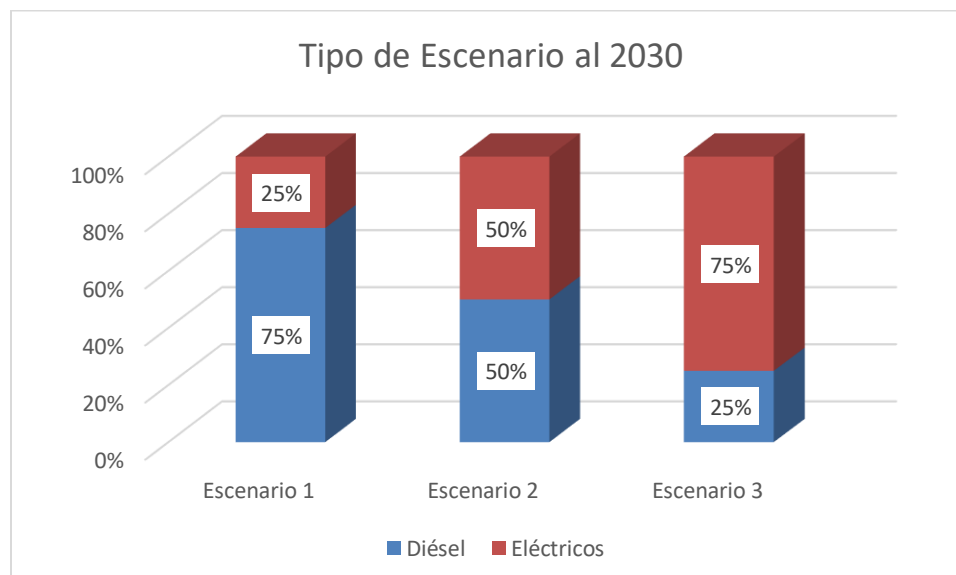


Gráfico 13: Tres escenarios de composición de buses eléctricos al 2030  
Fuente: Elaboración Propia

### 6.4.1. DATOS GENERALES.

El valor de la energía y el combustible es muy variable por lo que realizar una proyección, en especial el petróleo resulta difícil de determinar, es en esta línea y

para efectos prácticos se considerará un precio promedio constante para el cálculo de la evaluación económica, de igual forma en el caso del costo de energía, el valor puede variar dependiendo del tipo contrato que posea el terminal, con la compañía eléctrica, dado el costo de la energía (kWh) varía dependiendo de la franja horaria en que se realice la carga.

Dólar a Peso (Conversión)	\$	670
Energía (kw) Pesos	\$	100
Diésel (Lt) Pesos	\$	650

Tabla 24: Valores promedio de la energía y diésel (a diciembre 2018)

Fuente: Elaboración Propia

➤ Costos Unitario Bus Diésel.

En capítulo donde se realiza la comparación de las tecnologías se presentaron diferentes marcas de buses que compiten fuertemente en el mercado de buses, no obstante, para facilitar el análisis de este estudio se estandarizó los costos unitarios de rendimiento y mantenciones acorde a un bus tipo rígido de dimensiones entorno a los 12 metros y que se encuentre homologado a la normativa Euro VI. Hay que indicar que como parte de la compra de buses realizados durante 2018 y para entrar a operar el 2019 también se incorporarán a la flota actual, buses del tipo articulados o mejor llamados popularmente orugas, no obstante, y para facilitar este análisis no será parte del análisis comparativo.

Bus Tipo Diésel Euro VI	
Rendimiento Diésel (Lt/km)	<b>0,54</b>
Costo de combustible (pesos por km)	<b>\$ 350</b>
Mantenciones Diésel (pesos/km)	<b>\$ 167</b>
CU (USD)	<b>\$ 200.000</b>
Costo combustible anual (\$ Pesos)	<b>\$31.502.250</b>
Costo Mantenciones Anual (\$ Pesos)	<b>\$15.034.500</b>

Tabla 25: Valores promedio Bus Diésel

Fuente: Elaboración Propia

➤ Costos Unitario Bus Eléctrico.

El sistema utilizará durante el 2019, dos tipos buses eléctricos correspondiente a las marcas BYD y Yutong, por lo que se estandarizó los costos unitarios de rendimiento y mantenciones de ambos. Estos costos unitarios son valores referenciales y pueden ajustarse acorde al tipo de conducción en la ciudad de Santiago. A continuación, se presenta costos unitarios de un bus tipo eléctrico.



Bus Tipo Eléctrico	
Rendimiento (kw/km)	\$ 1,075
Costo energía (\$ Pesos por km)	\$ 107,50
Mantenciones (pesos/km)	\$ 50,1
CU (USD) aprox.	\$ 300.000
Bus	\$ 135.000
Baterías	\$ 150.000
Cargadores	\$ 15.000
Capacitaciones (3 conductores)	\$ 5.000
Costo Energía Anual (\$ Pesos)	\$ 9.675.000
Costo Mantenciones Anual (\$ Pesos)	4.510.350

Tabla 26: Valores promedio bus eléctrico  
Fuente: Elaboración Propia

#### 6.4.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Utilizando los costos unitarios, se realiza la evaluación económica a través de la diferencia obtenida por los costos resultantes en la compra de los 200 buses eléctricos versus los buses Euro VI. Se incluye la diferencia más importante es la correspondiente a la inversión inicial del orden de 67 millones de pesos por cada bus comprado, correspondiente a un 50% más el costo promedio de un bus nuevo con estándar Euro VI. En términos globales la compra de los 200 buses eléctricos representa un costo adicional en inversión inicial por 13 mil millones de pesos, sin embargo, el ahorro de combustible y de mantención permiten economizar 38 mil millones de pesos y el costo adicional pagado por los buses eléctricos es posible recuperar la inversión inicial entre 2 y 3 años adicionales a la compra de buses diésel.

Años	2019	2020	2021	2022	...	2027	2028
Diferencia en costo de bus	-13.400		-	-		-	-
Costo Capacitaciones	-670		-	-		-	-
Ahorro en combustible		4.946	4.946	4.946	...	4.946	4.946
Ahorro en mantenciones		2.105	2.105	2.105	...	2.105	2.105
Flujo Total	-14.070	7.051	7.051	7.051	...	7.051	7.051
VPN	37.824						
Payback	3						

Tabla 27: VAN en 10 años (en millones de pesos)  
Fuente: Elaboración Propia

## 6.4.2. VALORIZACIÓN POR EFECTOS DE GEI

Para determinar el beneficio ambiental debido a la incorporación progresiva de buses eléctricos, se valoriza la reducción de emisión de CO2 en 34 mil UF aproximadamente USD 1,4 millones de dólares anuales utilizando la proyección más conservadora de un 25% de buses eléctricos en el año 2030.

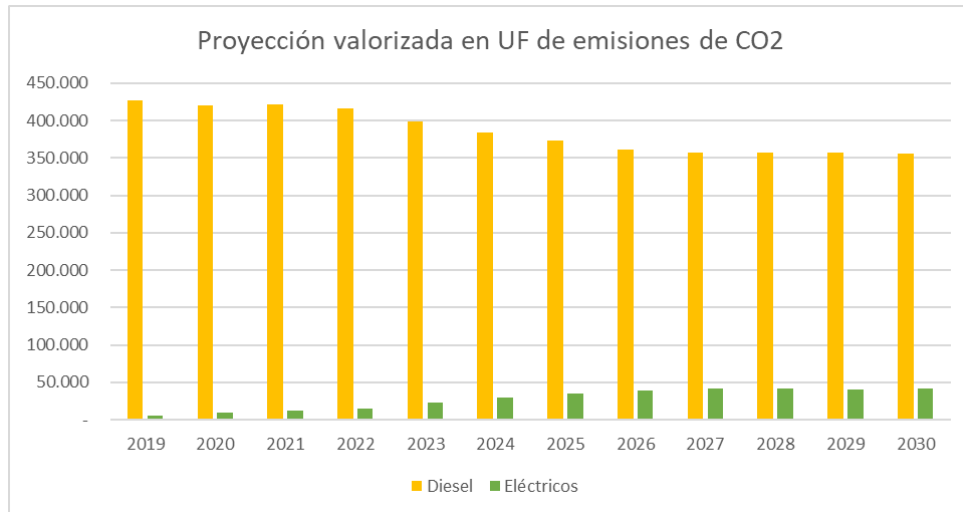


Gráfico 14: Proyección de Emisión de CO2 con 25% de buses eléctricos al 2030  
Fuente: Elaboración Propia

Con el objetivo de visualizar los beneficios del resto de los escenarios, a continuación, se presentan los resultados totales entre el 2019 y 2030 de la disminución de CO2 emitido por el sistema y los costos (UF) sociales de cada uno de los escenarios planteados.

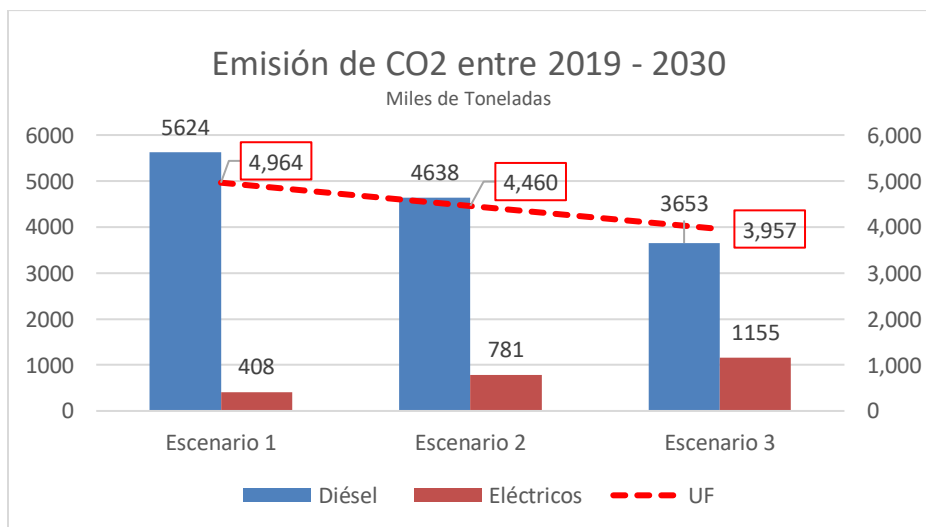
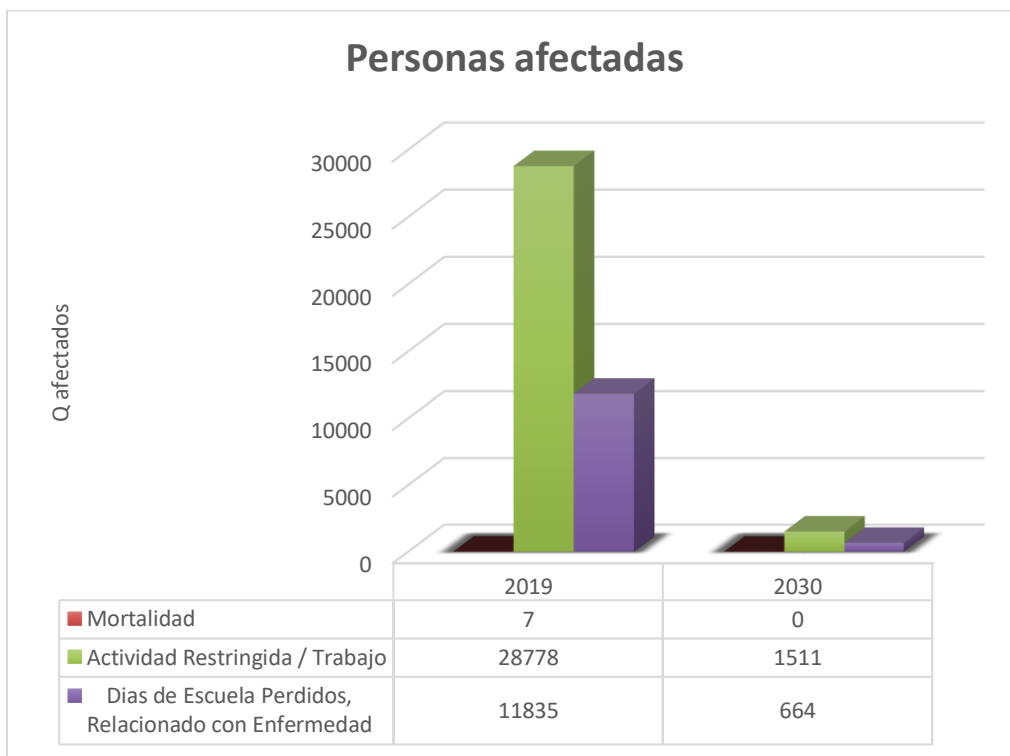


Gráfico 15: Proyección de Emisión de CO2  
Fuente: Elaboración Propia

### 6.4.3. VALORIZACIÓN DE EFECTOS SOBRE LA SALUD

Utilizando el escenario más conservador en la incorporación de buses eléctricos, se observa que el impacto es beneficioso socialmente, dado que disminuye el número casos de enfermedades respiratorias y mortalidad a causa de mala calidad del aire en el valle de Santiago. Se estima que las reducciones de casos son del orden de 7 personas fallecidas desde el 2019 y va disminuyendo a medida que se incorporan cada día más buses eléctricos y Diésel Euro VI. Los casos progresivamente decrecen a medida que el aporte de emisiones disminuye y mejora la calidad del aire producto del cambio tecnológico. En el caso de actividades restringidas y ausencias escolares debido a enfermedades respiratorias, se observa un impacto mayor en términos de cantidad de casos, no obstante, el costo unitario social es muy menor respecto a la mortalidad (ver anexos). Se espera que las actividades restringidas disminuyan en 38 mil personas afectadas entre el 2019 y el 2030 bajo el escenario I.



**Gráfico 16: Proyección de Emisión de CO2**  
Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente gráfica N°17 se observa una disminución sostenida de los costos sociales debido al ingreso de buses eléctricos, no obstante, esa cantidad no sólo es debido a la electromovilidad, sino que se encuentra apalancado por las tecnologías Euro VI que al final del 2030 serían un 75% es decir 5.400 buses (escenario I) que aportarían para la mejora de la calidad del aire producto la reducción de emisiones de PM2.5.

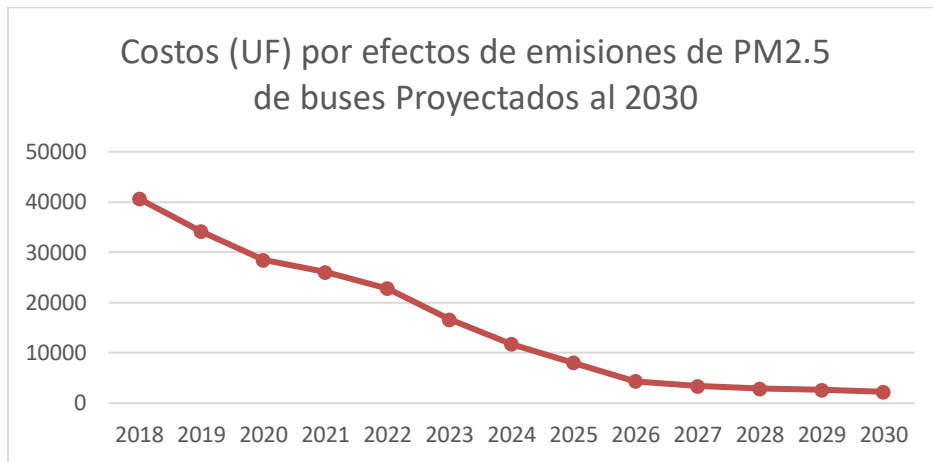


Gráfico 17: Costo social por la emisión de MP2.5, (25% buses eléctricos al 2030).  
Fuente: Elaboración Propia.

En términos globales, los tres escenarios son positivos para la calidad del aire, no obstante, la diferencia entre el escenario más conservador (Escenario I) y el más más riesgoso permite acumular una diferencia de 7.600 UF, aproximadamente 210 millones de peso.

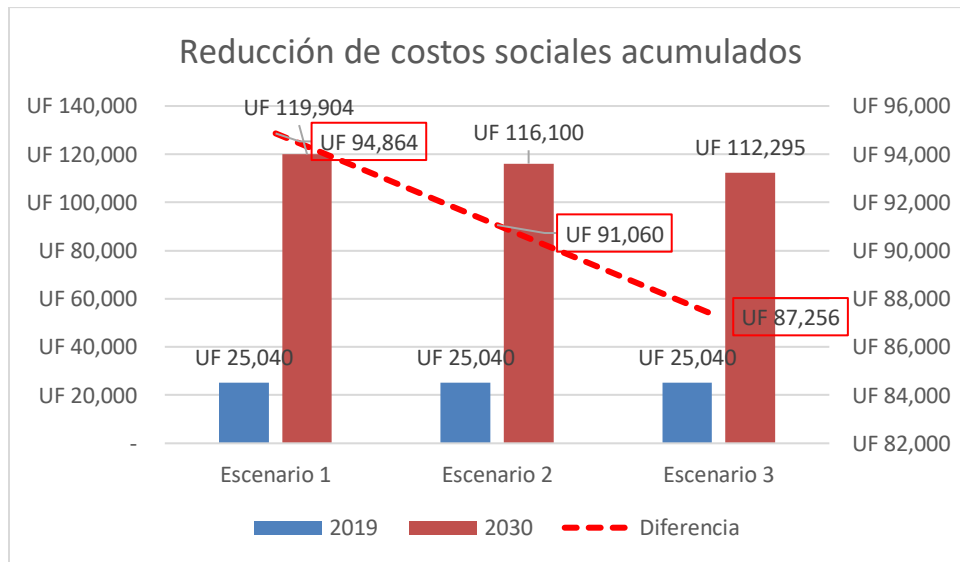


Gráfico 18: Costo social por la emisión de MP2.5, (25% buses eléctricos al 2030).  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 6.4.4. EVALUACIÓN SOCIAL

A continuación, se presenta la evaluación social contrastando la compra de 200 buses Diésel versus 200 buses eléctricos, en el cual se observa ahorro total de 39 mil millones de pesos debido principalmente al ahorro de combustible y mantenciones, no obstante, en externalidades positivas debido a la mejora de la calidad del aire y la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, se observa un ahorro de

1.5 mil millones de pesos. Los costos adicionales por compra de buses eléctricos, más los costos debido a las capacitaciones de mecánicos y conductores, se estima que pueden ser recuperados en sólo dos años. A continuación, se presenta un VAN a 10 años por la compra de 200 buses eléctricos.

Años	2019	2020	2021	2022	...	2027	2028
Diferencia en costo de bus	-13.400		-	-			
Costo Capacitaciones	-670		-	-			
Ahorro en combustible		4.946	4.946	4.946	...	4.946	4.946
Ahorro en mantenciones		2.105	2.105	2.105	...	2.105	2.105
Reducción Enfermedades		2	2	2	...	2	2
Reducción de GEI		214	214	214	...	214	214
Flujo Total	-14.070	7.267	7.267	7.267	...	7.267	7.267
VPN	39.419						
Payback	2						

Tabla 28: VAN en 10 años  
Fuente: Elaboración Propia

Las externalidades influyen de manera positiva en el VAN, principalmente por la reducción de emisiones de CO2. Para complementar a continuación se presenta gráficamente la evaluación con y sin externalidades para los 200 buses eléctricos comprados en el año 2018.

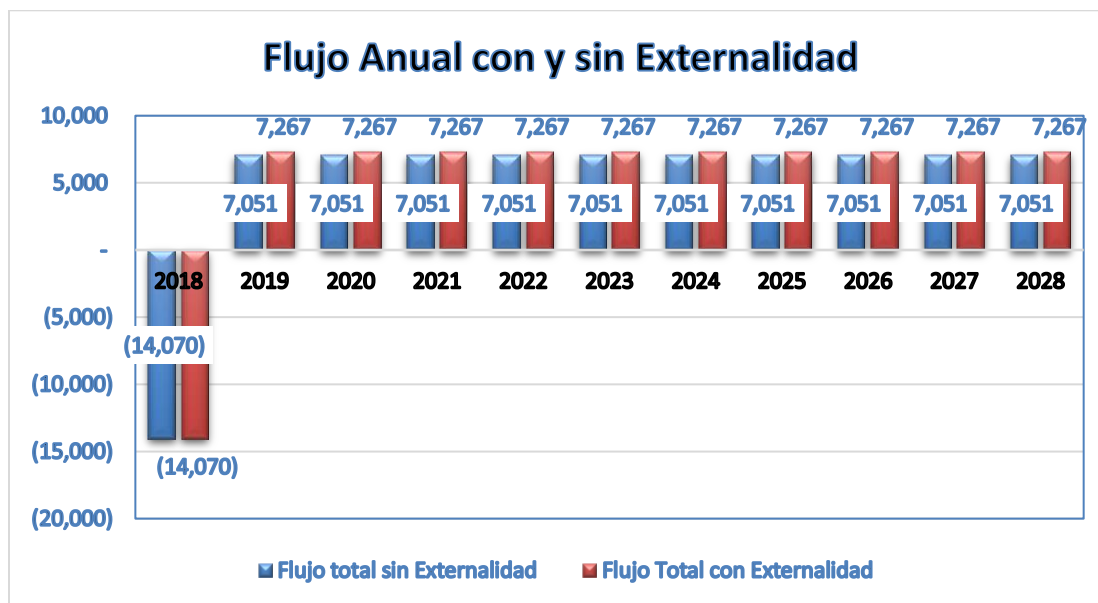


Gráfico 19: Evaluación Económica con y sin Externalidad  
Fuente: Elaboración Propia

#### 6.4.5. ESCENARIOS

A continuación, se presentan tres escenarios considerando diferentes mix de flota para el año 2030, como se ha indicado anteriormente estos escenarios abordan el ingreso progresivo de buses eléctricos con diferente intensidad. El escenario pesimista considera para el 2030, sólo un 25% de buses eléctricos, mientras que el escenario optimista espera un 75% de buses eléctricos, cada uno de los escenarios da cuenta del ahorro total que percibe el sistema, desde una mirada del Ministerio de Transporte, debido a la compra de buses eléctricos versus la compra de buses Diésel con estándar Euro VI, por lo tanto, los montos indicados en la siguiente tabla son valores absolutos y corresponden un ahorros directo al sistema de transporte de superficie. Respecto al escenario más beneficioso para el sistema corresponde al escenario III, donde el sistema ahorra 641 mil millones de pesos más que el escenario I. En cuanto ítem que más aporta a la reducción de costos es el ahorro de combustible acumulado donde se observa que aporta el 55% del ahorro acumulado.

Escenario 2019 - 2030			
	I	II	III
N° Euro VI en el 2030	5.402	3.602	1.801
N° Eléctricos en el 2030	1.801	3.601	5.402
Total buses en el 2030	7.203	7.203	7.203
Δ Costo en buses (\$)	-88.142	-173.226	-257.899
Δ Capacitaciones (\$)	-4.407	-8.661	-12.895
Ahorro en combustible (\$)	195.496	370.981	546.694
Ahorro en mantenciones (\$)	83.196	157.877	232.654
Reducción Enfermedades (\$)	92	175	257
Reducción de GEI (\$)	8.472	16.077	23.692
<b>VAN (\$)</b>	<b>358.788</b>	<b>679.098</b>	<b>1.000.270</b>

Tabla 29: Ahorro acumulado al 2030 en Millones de Peso.

Fuente: Elaboración Propia

## **7. CONCLUSIONES**

Este trabajo aporta argumentos cuantitativos a la discusión de si es o no beneficioso incluir progresivamente buses eléctricos a la flota operativa de Transantiago. Basados en los resultados obtenidos, se corrobora la ganancia económica de adquirir nuevos buses eléctricos. Hace algunos años (5 años) era más bien impensado establecer que durante el 2019 un 3% de la flota podía corresponder a buses eléctricos y que en mediano plazo (2030) la nueva flota de buses eléctricos podría representar el 25% de la flota total, la razón principal era el alto costo de los vehículos eléctricos y la incertidumbre operacional en el uso de la nueva tecnología, sin embargo, esto está cambiando y permitiendo romper el paradigma en la alta dirección de las empresas operadoras que electrificar el transporte público es un tema de muy largo plazo

La disminución del costo inicial de los buses eléctricos ha permitido estrechar las diferencias con los buses tradicionales, sin embargo, el real apalancamiento corresponde a los bajos costos operacionales, por lo que esta es la razón que ha estimulado a los operadores a dar el primer paso a la transformación tecnológica.

Adicionalmente ha existido un interés de los gobiernos de los presidentes Michelle Bachelet y Sebastián Piñera para promover e incentivar en las empresas operadoras del sistema, la ejecución de pilotos durante el 2017 y 2018, que permitieron elaborar una traza y registro de los costos reales de electrificar la flota, en otras palabras, comprobar que la operación es factible y que los beneficios económicos son significativos. Por lo que es esperable que las empresas proveedoras para la próxima licitación incluyan entre sus ofertas un gran número de buses eléctricos.

A pesar de que este tema no se encuentra abordado en este trabajo es importante señalar que el cambio de tecnología y el impacto mediático permite dar una gran oportunidad a las autoridades para realizar un cambio de imagen, y un reposicionamiento de la marca del transporte público de buses de Santiago.

### **7.1. RESPECTO A LAS EXTERNALIDADES**

En este trabajo se abordaron las externalidades de calidad del aire y reducción de emisiones de gases invernadero (GEI) y se cuantificaron monetariamente ambas externalidades.

Respecto al cambio climático, el resultado de la estimación de beneficios presenta la siguiente aseveración: la diferencia de emisión de CO<sub>2</sub> que genera el proyecto (3%) no es relevante para la magnitud del proyecto y solidez que genera el ahorro de combustible y operacional para la toma de decisiones. La razón de la baja importancia que tiene actualmente esta externalidad en el país, se refleja en el precio que tiene el CO<sub>2</sub>. Se espera que debiese aumentar con el paso del tiempo la importancia de esta externalidad, de forma que este sí sería una variable relevante en todo tipo de proyectos que involucren emisiones de carbono.

En cuanto a la mejora de calidad del aire es importante señalar los efectos y reducción de emisiones de material particulado 2.5, se ven bastante opacados, debido a que los buses con tecnología Euro que son bastante eficientes en el control emisiones, no obstante, los buses Euro VI presentan un problema de deterioro de los filtros en un plazo de 3 a 5 años de operación, cuestión que no ha sido cuantificado en este trabajo.

En la actualidad existe una gran diferencia entre las normas de emisiones aplicadas a los buses, debido a la evolución de los motores y tecnologías en el tratamiento de las emisiones. El cálculo de emisiones es variable para cada una de las tecnologías, por lo que es importante realizar una renovación continua de los buses que poseen tecnología más antigua. DTPM debe incentivar la tenencia de una flota moderna de buses que cuenten con normas de emisión y tecnologías que propendan lograr posicionar al Transantiago como un sistema moderno, eficiente y sustentable.

## **7.2. RESPECTO A LA EVALUACIÓN SOCIAL**

La evaluación social del proyecto debe hacerse comparando contra una situación base optimizada por lo que el escenario base corresponde al caso que no exista un el proyecto. En este trabajo se utilizó la comparación con buses diésel, adicionalmente se elaboraron 2 escenarios adicionales con diferentes Mix de buses eléctricos al 2030. El objetivo fue determinar el ahorro total al sistema que permite recaudar la incorporación progresiva de buses eléctricos. Entre las medidas resultantes, es el sugerir a las autoridades el escenario más ventajoso para el sistema es el que permite incluir de más agresivamente el ingreso de buses eléctricos.

## **7.3. RESPECTO A LOS DATOS UTILIZADOS**

Se recomienda para futuras evaluaciones incluir el deterioro de los filtros de los buses Euro VI, que se estima que su duración no supera los 5 años de operación. En consecuencia, surge la necesidad de tener una forma controlar las emisiones producto del deterioro del filtro, dado que la actual fiscalización con los actuales instrumentos utilizados no permite detectar el deterioro del filtro.

La variación de los precios unitarios del CO2 permite aumentar la incertidumbre en el cálculo de las externalidades, por lo que sugiere estimar un precio razonable y estable en el tiempo.



## 8. BIBLIOGRAFÍA.

[1] Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Plan Maestro de Transporte 2025 Santiago. Chile, 2012.

[2] Ministerio de Desarrollo Social, Metodología para la evaluación socioeconómica de proyectos de transporte ferroviario. Chile, 2013.

[3] INFRAS/IWW, External Cost of Transport Update Study. UE: University of Karlsruhe, 2004.

[4] Luis Ignacio Rizzi, Costos Externos del Transporte Automotor Vial en la RM de Santiago. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2008.

[6] Empresa de Ferrocarriles del Estado, Servicio Ferroviario Suburbano de Transporte de Pasajeros Mapocho - Batuco. Chile, 2013.

[7] Eduardo Contreras, Evaluación social de inversiones públicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica. Santiago de Chile: CEPAL, 2004.

[9] Ministerio del Medio Ambiente, Guía metodológica para la elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire. 2014.

[10] Luis Rizzi, Guía metodológica para la elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire. 2014.

[11] CONAMA, análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustionan con leña y otros combustibles de biomasa, 2007.

[12] José Barbero y Rodrigo Rodríguez, Transporte y cambio climático: hacia un desarrollo sostenible y de bajo carbono. Buenos Aires, Argentina. 2012.

[13] DICTUC (2010a). “Actualización Metodológica MODEM – MODEC para el Gran Santiago”.

[14] GIAN DE LOS REYES (2018). “Evaluación del sistema de control del estado físico y mecánico de los buses del Transporte Público de Santiago”.

## 9. ANEXOS

### 9.1. PROYECCIÓN DE COSTOS DEL SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL (SIC)

Año	SIC	SING	Nacional
2013	0,31	1,03	0,5
2014	0,31	0,98	0,48
2015	0,33	0,97	0,49
2016	0,35	1,04	0,53
2017	0,33	0,94	0,5
2018	0,34	0,92	0,5
2019	0,34	0,91	0,5
2020	0,33	0,9	0,49
2021	0,33	0,88	0,48
2022	0,34	0,87	0,49
2023	0,34	0,86	0,48
2024	0,33	0,84	0,48
2025	0,33	0,83	0,47
2026	0,32	0,82	0,45
2027	0,32	0,81	0,45
2028	0,31	0,79	0,43
2029	0,29	0,77	0,41
2030	0,29	0,74	0,41

Tabla 30: Proyección de costos del Sistema Interconectado Central  
Fuente: Análisis Metodológico Modec (Sectra)

### 9.2. PROYECCIÓN DE EMISIÓN DE CO2 POR TIPO DE BUS.

Miles ton. CO2	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Euro III	149	101	81	56	35	24	12	-	-	-	-	-
Euro III con filtro	212	212	212	205	133	61	27	0	-	-	-	-
Euro V	117	117	117	117	117	116	99	67	38	21	13	-
Euro VI	40	51	57	63	82	100	113	128	135	139	141	144
Eléctricos	7	18	24	32	52	69	82	95	102	103	98	101
Total	525	499	490	473	419	369	334	290	274	262	252	245

Tabla 31: Proyección en miles de toneladas de CO2 con 25% buses eléctricos al 2030

Fuente: Elaboración propia

### 9.3. TABLA DE DOSIS RESPUESTA MATERIAL PARTICULADO.

Año	Edad	Edad	BETA	SIGMA	Función	Incremento
2009	30	99	0,0094	0,00095	Log-Lineal	9,80%
2009	0	99	0,0013	0,00005	Log-Lineal	1,30%
2009	65	99	0,0011	0,0002	Log-Lineal	1,10%
2009	18	64	0,0021	0,00041	Log-Lineal	2,10%
2009	65	99	0,0042	0,00089	Log-Lineal	4,30%
2009	65	99	0,001	0,00019	Log-Lineal	1,00%
2009	65	99	0,0017	0,00113	Log-Lineal	1,70%
2009	65	99	0,0038	0,00072	Log-Lineal	3,80%
2009	65	99	0,0013	0,00062	Log-Lineal	1,30%
2003	0	64	0,0039	0,001235	Log-Lineal	4,01%
1999	0	17	0,0165	0,00349	Log-Lineal	18,00%
1999	8	12	0,0379	0,023806	Logística	46,07%
1989	18	64	0,0074	0,0007	Log-Lineal	7,70%
1987	18	64	0,0046	0,00036	Log-Lineal	4,70%
2001	9	10	0,0055	0,00939	Log-Lineal	5,70%

Tabla 32: Dosis –Respuesta efectos de Material Particulado  
Fuente: Análisis Metodológico Modec O3 (Sectra)

### 9.4. TABLA DE VALORES MONETARIOS POR ENFERMEDAD.

Categoría General de Efecto	Detalle	Edad	Edad	Valor en UF Unitario (2011)
		Mínima	Máxima	
MORTALIDAD LP	Mortalidad LP - Todas Las Causas	30	99	3456,4
MORTALIDAD CP	Mortalidad CP - No Accidental	0	99	3456,4
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Enfermedad Pulmonar Crónica	65	99	34,2
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Enfermedad Pulmonar Crónica	18	64	34,9
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Neumonía	65	99	37,7
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Todas Cardiovasculares (Menos infartos al Miocardio)	65	99	53,7
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Disritmia	65	99	53,1
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Falla Congénita Cardíaca	65	99	34,9
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Enfermedad Isquémica	65	99	26,9
ADMISIONES HOSPITALARIAS	Asma	0	64	26,6
ERV	Asma	0	17	24,4
ERV	Bronquitis	8	12	0
Efectos Menores (Agudos)	Días de Actividad Restringida Menores	18	64	0
Efectos Menores (Agudos)	Work Loss Days	18	64	0,8
Efectos Menores (Agudos)	Días de Escuela Perdidos, Relacionado con Enfermedad	9	10	0,2

Tabla 33: Valores Monetarios de las enfermedades.  
Fuente: Análisis Metodológico Modec PM2.5 (Sectra).

## 9.5. TABLA DE CANTIDAD DE POBLACIÓN POR GRUPOS DE EDAD.

Rango por grupos de edad	Q. de personas
0-4	507.748
5-9	503.879
10-14	473.385
15-19	488.121
20-24	555.198
25-29	628.328
30-34	627.035
35-39	573.237
40-44	530.097
45-49	508.571
50-54	502.568
55-59	469.054
60-64	375.421
65-69	287.871
70-74	218.394
75-79	147.814
80 y + años	168.136
	7.564.857

Tabla 34: Valores Monetarios de las enfermedades.  
Fuente: Análisis Metodológico Modec O3 (Sectra).

## 9.6. PROYECCIÓN ESCENARIO I

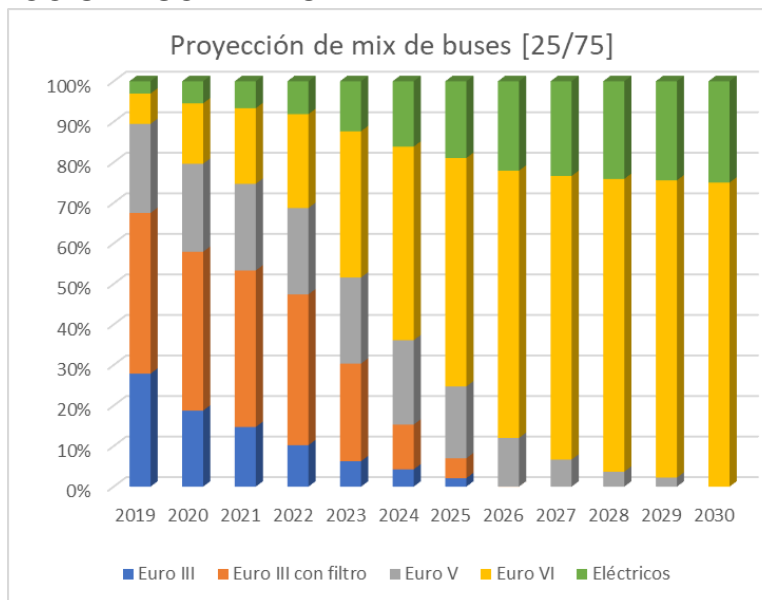


Gráfico 20: Escenario I de Buses Eléctricos 25% y Euro VI 75% al 2030  
Fuente: Elaboración Propia.

## 9.7. PROYECCIÓN ESCENARIO II

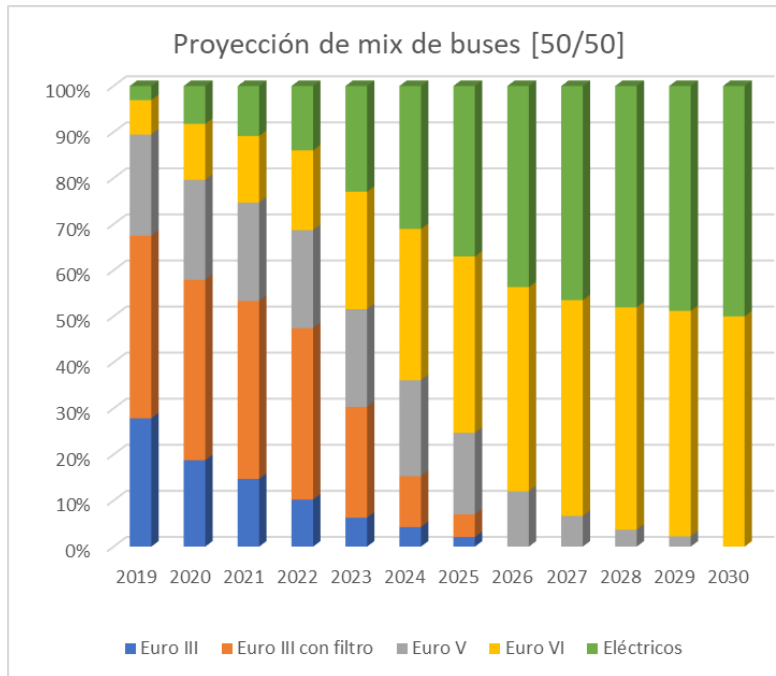


Gráfico 21: Escenario II de Buses Eléctricos 50% y Euro VI 50% al 2030  
Fuente: Elaboración Propia.

## 9.8. PROYECCIÓN ESCENARIO III

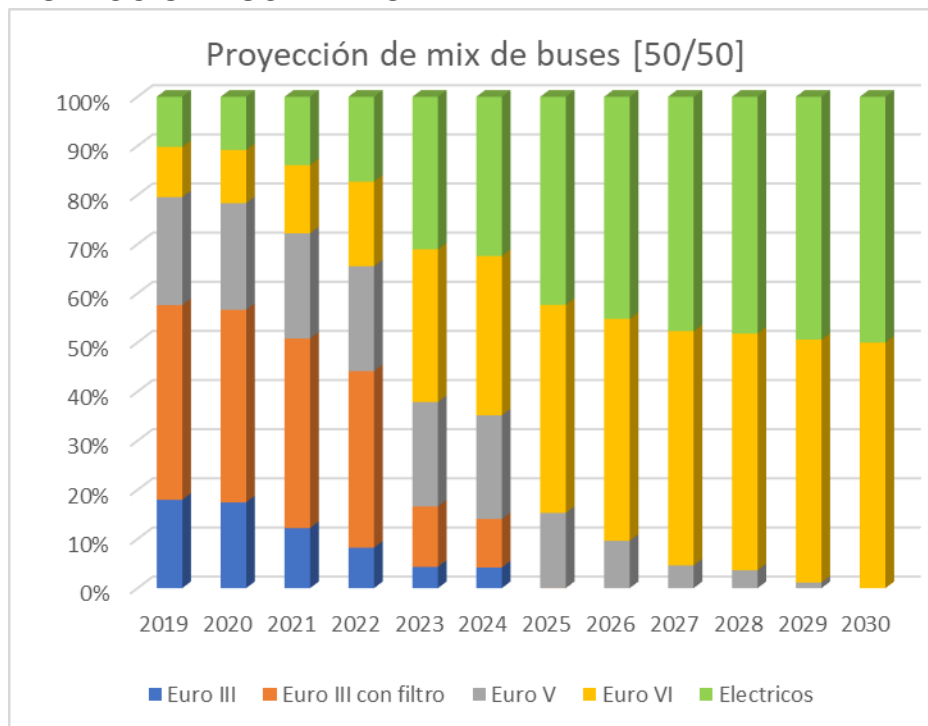


Gráfico 22: Escenario III de Buses Eléctricos 75% y Euro VI 25% al 2030  
Fuente: Elaboración Propia

## 9.9. VAN ESCENARIO I

Tipo	2018	2019	2020	2021	...	2028	2029	2030
Euro VI	10	500	1007	1278	...	5145	5256	5402
Eléctricos	3	203	368	456	...	1717	1753	1801
Nuevos Euro VI	10	490	507	271	...	198	111	146
Nuevos Eléctricos	3	200	165	88	...	65	36	48
Dif. costo de bus	-13.400	-11.067	-5.912	-6.851	...	-2.421	-3.195	-
Capacitaciones	-670	-553	-296	-343	...	-121	-160	-
Ahorro en combustible	74	5.020	9.105	11.287	...	42.458	43.352	44.531
Ahorro en mantenciones	32	2.136	3.875	4.803	...	18.069	18.449	18.951
Reducción Enfermedades	0	2	4	5	...	20	20	21
Reducción de GEI	3	218	395	489	...	1.840	1.879	1.930
Valor Residual								809
Flujo Total	-13.961	-4.244	7.171	9.392	...	59.845	60.345	65.432
6%	-13.961	-4.004	6.382	7.885	...	33.417	31.789	32.518
VPN	358.788							

Tabla 35: Escenario I de Buses Eléctricos 25% y Euro VI 75% en Millones  
Fuente: Elaboración Propia

## 9.10. VAN ESCENARIO II

Tipo	2018	2019	2020	2021	...	2028	2029	2030
Euro VI	10	500	821	992	...	3439	3509	3602
Eléctricos	3	203	554	742	...	3423	3500	3601
Nuevos Euro VI	10	490	321	171	...	126	70	93
Nuevos Eléctricos	3	200	351	188	...	137	77	101
Dif. costo de bus	-13.400	-23.539	-12.575	-14.571	...	-5.149	-6.795	-
Capacitaciones	-670	-1.177	-629	-729	...	-257	-340	-
Ahorro en combustible	74	5.020	13.708	18.350	...	84.648	86.549	89.057
Ahorro en mantenciones	32	2.136	5.834	7.809	...	36.023	36.832	37.900
Reducción Enfermedades	0	2	6	9	...	40	41	42
Reducción de GEI	3	218	594	795	...	3.668	3.751	3.859
Valor Residual								1.721
Flujo Total	-13.961	-17.339	6.939	11.662	...	118.973	120.037	130.858
	-13.961	-16.358	6.176	9.792	...	66.434	63.234	65.032
VPN	679.098							

Tabla 36: Escenario II de Buses Eléctricos 50% y Euro VI 50% en Millones  
Fuente: Elaboración Propia

### 9.11. VAN ESCENARIO III

Tipo	2018	2019	2020	2021	...	2028	2029	2030
Euro VI	3	500	634	706	...	1732	1762	1801
Eléctricos	10	203	741	1028	...	5130	5247	5402
Nuevos Euro VI	3	497	134	72	...	53	29	39
Nuevos Eléctricos	10	193	538	287	...	210	118	155
Dif. costo de bus	-12.931	-36.015	-19.240	-22.295	...	-7.878	-10.397	-
Capacitaciones	-647	-1.801	-962	-1.115	...	-394	-520	-
Ahorro en combustible	247	5.020	18.313	25.415	...	126.853	129.761	133.599
Ahorro en mantenciones	105	2.136	7.793	10.816	...	53.985	55.222	56.855
Reducción Enfermedades	0	2	9	12	...	60	61	63
Reducción de GEI	11	218	794	1.101	...	5.497	5.623	5.790
Valor Residual								2.633
Flujo Total	-13.214	-30.439	6.707	13.934	...	178.123	179.751	196.307
	-13.214	-28.716	5.969	11.699	...	99.463	94.690	97.558
VPN	1.000.270							

Tabla 37: Escenario III de Buses Eléctricos 75% y Euro VI 25% en Millones  
Fuente: Elaboración Propia

### 9.12. EVOLUCIÓN PRECIO PROMEDIO DEL COMBUSTIBLE 2018.

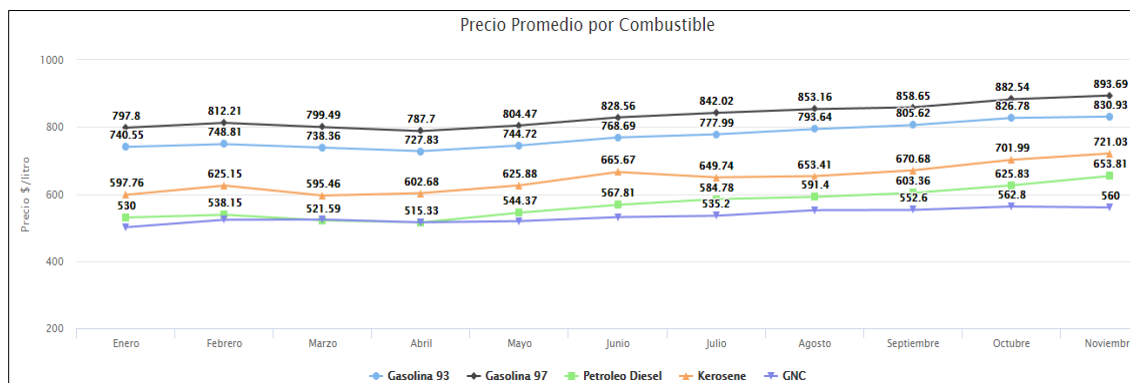


Gráfico 23: Precio promedio del combustible 2018.

Fuente: <http://reportes.cne.cl>