

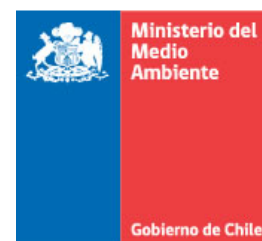
Generación de antecedentes para la evaluación técnica-económica a la aplicación de medidas de control para fuentes móviles en PPDA Región Metropolitana Informe Final

Licitación N°: 608897-44-LP15

Estudio Elaborado por:



Para :



Noviembre 2015



Página web: www.geasur.cl

Dirección: Almirante Gotuzzo 96

Teléfono: +562 – 2671 4795

Contacto: contacto@geasur.cl

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I: AGIES	13
1. EVALUACION DE IMPACTO ECONOMICO Y SOCIAL	13
2. MEDIDAS EN ANÁLISIS	13
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS MEDIDAS	13
2.2 PORTAFOLIO DE MEDIDAS Y ESCALAMIENTO	16
3. ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS	18
3.1 DAÑO MARGINAL	18
3.2 NIVEL DE ACTIVIDAD, VELOCIDAD Y COMPOSICIÓN TECNOLÓGICA	22
3.3 RESULTADOS	26
4. ESTIMACIÓN DE COSTOS	27
4.1 METODOLOGÍA COSTOS POR MEDIDA	27
4.2 RESULTADOS	32
5. INDICADORES ECONÓMICOS	33
6. INDICADORES DE GESTIÓN	35
7. CONCLUSIONES	41
8. ANEXOS	43
8.1 MODELACIÓN DE EMISIONES PARA MAQUINARIA FUERA DE RUTA	43
8.2 INFORMACIÓN UTILIZADA	45
8.3 ANÁLISIS DISTRIBUTIVO	49
CAPITULO II: ANTECEDENTES TECNICOS	50
9. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA GENERAL	50
9.1 PORTAFOLIO DE MEDIDAS	52
9.2 ELABORACIÓN TÉCNICA DE LAS MEDIDAS	53
9.3 INTERACCIONES Y EXTERNALIDADES	54
9.4 INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN	55
9.5 MODELACIÓN DE EMISIONES	55
9.6 EVALUACIÓN ECONÓMICA SOCIAL	63
9.7 INDICADORES CONTROL DE GESTIÓN	65
10. PORTAFOLIO DE MEDIDAS PARA EL SECTOR TRANSPORTE	66

10.1	MEDIDA 1: ZONA DE BAJA EMISIÓN	67
10.1.1	ANTECEDENTES	67
10.1.2	INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUACIÓN DE MEDIDA	84
10.2	MEDIDA 2: APLICACIÓN EURO VI/EPA2010 PARA BUSES DE TRANSANTIAGO	87
10.2.1	ANTECEDENTES.	88
10.2.2	INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUACIÓN DE MEDIDA	91
10.3	MEDIDA 3: TECNOLOGÍA DE CERO Y BAJA EMISIÓN PARA TRANSANTIAGO.	93
10.3.1	ANTECEDENTES	93
10.3.2	INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUACIÓN DE MEDIDA	95
10.4	MEDIDA 4: RESTRICCIÓN VEHICULAR	95
10.4.1	ANTECEDENTES	95
10.4.2	INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUACIÓN DE MEDIDA	97
10.5	MEDIDA 5: LÍMITES FINALES ASM	98
10.5.1	ANTECEDENTES	98
10.5.2	INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUACIÓN DE MEDIDA	101
10.6	MEDIDA 6: LÍMITES DE EMISIÓN CON RSD PARA VEHÍCULOS LIVIANOS Y PESADOS.	103
10.6.1	ANTECEDENTES	103
10.7	MEDIDA 7: PROGRAMA REDUCCIÓN EMISIONES PARA MAQUINARIA CONSTRUCCIÓN.	107
10.7.1	ANTECEDENTES	108
10.7.2	INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUACIÓN DE MEDIDA	109
10.8	MEDIDA 8: IMPLEMENTACIÓN CORREDORES TRANSPORTE PÚBLICO.	111
10.8.1	ANTECEDENTES	112
10.8.2	INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUACIÓN DE MEDIDA	119
11.	INTERACCIONES ENTRE MEDIDAS	119
12.	PROYECCIÓN DE EMISIONES	123
12.1	MEDIDA 1: ZONA DE BAJA EMISIÓN	123
12.1.1	ESCENARIOS DE EVALUACIÓN	123
12.1.2	MODELACIÓN DE EMISIONES	124
12.1.3	RESULTADOS	132
12.2	MEDIDA 2: APLICACIÓN EURO VI/EPA2010 PARA BUSES DE TRANSANTIAGO	133
12.2.1	ESCENARIOS DE EVALUACIÓN	133
12.2.2	MODELACIÓN DE EMISIONES	134
12.2.3	RESULTADOS	134
12.3	MEDIDA 3: TECNOLOGÍA DE CERO Y BAJA EMISIÓN PARA TRANSANTIAGO	136

12.3.1	ESCENARIOS DE EVALUACIÓN	136
12.3.2	MODELACIÓN DE EMISIONES	136
12.3.3	RESULTADOS	136
12.4	MEDIDA 4: RESTRICCIÓN VEHICULAR	140
12.4.1	ESCENARIOS DE EVALUACIÓN	140
12.4.2	MODELACIÓN DE EMISIONES	140
12.4.3	RESULTADOS	142
12.5	MEDIDA 5: LÍMITES FINALES ASM	146
12.5.1	ESCENARIOS DE EVALUACIÓN	146
12.5.2	MODELACIÓN DE EMISIONES	146
12.5.3	RESULTADOS	148
12.6	MEDIDA 6: LÍMITES DE EMISIÓN CON RSD PARA VEHÍCULOS LIVIANOS Y MEDIANOS	150
12.6.1	ESCENARIOS DE AVALUACIÓN	150
12.6.2	MODELACIÓN DE EMISIONES	150
12.6.3	RESULTADOS	150
12.7	MEDIDA 7: PROGRAMA REDUCCIÓN EMISIONES PARA MAQUINARIA CONSTRUCCIÓN	150
12.7.1	ESCENARIOS DE EVALUACIÓN	150
12.7.2	MODELACIÓN DE EMISIONES	151
12.7.3	RESULTADOS	153
12.8	MEDIDA 8: IMPLEMENTACIÓN CORREDORES TRANSPORTE PÚBLICO	154
12.8.1	MODELACIÓN DE EMISIONES	154
12.8.2	RESULTADOS	155
13.	IDENTIFICACIÓN DE COSTOS	156
13.1.	COSTOS DE INVERSIÓN	156
13.1.1.	PRECIO CAMIONES	156
13.1.2.	PRECIO BUSES	158
13.1.3.	COSTO FILTRO DE PARTÍCULAS	159
13.1.4.	PRECIO VEHÍCULOS LIVIANOS	159
13.1.5.	COSTO CORREDORES SEGREGADOS	162
13.2.	COSTOS OPERACIONALES	163
13.2.1.	COSTO CONSUMO DE COMBUSTIBLE	163
13.2.2.	COSTOS AD-BLUE CAMIONES Y BUSES CON SCR	167
13.2.3.	MANTENCIÓN FILTRO DE PARTÍCULAS	167
13.2.4.	COSTO BATERÍAS VEHÍCULOS HÍBRIDOS	170

13.3.	COSTOS DE FISCALIZACIÓN	170
14.	CONCLUSIONES	171
15.	BIBLIOGRAFÍA	172

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Límites RSD vehículos sucios México y California.	14
Tabla 2.2 Proyectos de corredor considerados en el PMTS 2025 (escenario base y con medida)	15
Tabla 2.3 Escalamiento entre medidas.	17
Tabla 3.1 Daño marginal por tipo de vehículo y norma de emisión (CLP/km)	21
Tabla 3.2 Programa de renovación de buses de Transantiago.	23
Tabla 3.3. Decisión de cambio modal con restricción	25
Tabla 3.4. Diferencial de beneficios por medida (reducción de emisiones)	26
Tabla 3.5. Análisis distributivo	27
Tabla 4.1. Costo incremental buses (USD/km)	30
Tabla 4.2. Costo incremental vehículo rechazado (USD/km)	31
Tabla 4.3 Costos corredores segregados.	32
Tabla 4.4. Diferencial de costos por medida	32
Tabla 5.1. Valor presente neto costos y beneficios (MMUSD)	33
Tabla 5.2. Valor presente neto costos y beneficios - escenarios alternativos (MMUSD)	34
Tabla 6.1 Descripción de indicadores	36
Tabla 6.2 Cumplimiento indicadores	37
Tabla 6.3. Reducción de emisiones esperada 2020 y 2025 [Ton/año]	38
Tabla 8.1 Precios sociales 2015 de automóviles livianos y medianos y motocicletas	45
Tabla 8.2 Precios 2015, Camiones por tipo y por Norma.	45
Tabla 8.3 Costo mantención Filtro Partículas vehículos Pesados.	45
Tabla 8.4 Precios 2015, Buses por tipo y por norma	46
Tabla 8.5 Costo consumo combustible por km.	46
Tabla 8.6 Costo de instalación filtro, por rango potencia del motor	47
Tabla 8.7 Costo mantención Filtro Partículas.	47
Tabla 8.8 Tasas de retiro. Situación base.	48
Tabla 8.9 Incremento de ingreso de vehículos nuevos al parque respecto a situación base. Año 2020.	48
Tabla 8.10. Relación entre tipo de agente, tipo de costo y previsión	49
Tabla 9.1 Ficha Resumen para cada Medida	51
Tabla 9.2 Portafolio de medidas	52
Tabla 9.3 Bibliografía de referencia para la elaboración técnica de las medidas	53
Tabla 9.4 Categorías vehiculares consideradas y su construcción en formato CCF8-MODEM, simplificado	56
Tabla 9.5: Composición tecnológica promedio para Vehículos Particulares.	59
Tabla 9.6: Composición tecnológica promedio para Camiones Livianos.	60

Tabla 9.7: Comparación de Factor de Ajuste y de Emisión para Vehículos Particulares	61
Tabla 9.8: Comparación de Factor de Ajuste y de Emisión para Camiones Livianos	61
Tabla 10.1 Portafolio de medidas presentadas en los TDR, oferta técnica y medidas seleccionadas.	67
Tabla 10.2 Zonas de Baja emisión definidas en distintos países.	68
Tabla 10.3 Distribución de viajes en Gran Santiago	70
Tabla 10.4 Distribución de tipos de carga que circulan en Gran Santiago	70
Tabla 10.5 Flota de camiones en base a datos de las PRT	71
Tabla 10.6 Flujos Interregionales estimados por región	72
Tabla 10.7 Análisis de ventas totales	72
Tabla 10.8 Bibliografía Adicional Revisada	73
Tabla 10.9 Normativa jurídica como antecedente para regulación de una ZBE.	74
Tabla 10.10 Distribución de Norma por Tramo	83
Tabla 10.11 Ventas por tramo	83
Tabla 10.12 Clasificación del parque de camiones por norma de emisiones (RM)	84
Tabla 10.13 Clasificación del parque de camiones por peso bruto vehicular	85
Tabla 10.14 Estadísticas de Flota por Norma	86
Tabla 10.15 Factores de Emisiones Camiones corregidos COPERT.	86
Tabla 10.16 Límites de Emisión por Norma	89
Tabla 10.17 Consumo de combustible comparación Euro V-VI 2015	91
Tabla 10.18 Proyección de renovación de Flota Transantiago	91
Tabla 10.19 Factores de Emisiones buses corregidos COPERT.	92
Tabla 10.20 Impacto de las nuevas tecnologías	93
Tabla 10.21 Impacto en las emisiones por año-modelo.	97
Tabla 10.22 Límites EPA Finales Por IE, Tabla ASM, según tipo de vehículo.	99
Tabla 10.23 Tasas de rechazo límites EPA Finales.	101
Tabla 10.24 Límites RSD vehículos sucios México y California.	105
Tabla 10.25: Fecha de entrada en vigencia Suiza	108
Tabla 10.26: Factores de emisión maquinaria fuera de ruta.	111
Tabla 10.27 Tasa de crecimiento de viajes EOD 2001-2012	113
Tabla 10.28 Partición modal Encuesta Origen-Destino 2012	113
Tabla 10.29: Detalle de los tres niveles de implementación propuestos por MAPS-Chile	114
Tabla 10.30 Corredores en operación	115
Tabla 10.31 Proyectos de corredor considerados en el PMTS 2025 (escenario base y plan)	116
Tabla 10.32: Comparación montos de inversión en corredores MAPS-Chile y PMTS 2025	117

Tabla 10.33: Cambio en partición modal PMTS 2025	118
Tabla 10.34: Fuentes de información necesarias para evaluar la medida	119
Tabla 11.1: Resumen interacción entre medidas	121
Tabla 11.2 Escalamiento entre medidas y supuestos de evaluación de emisiones.	122
Tabla 12.1 Ficha de Información Proyecto MODEM 2012 para el Gran Santiago	126
Tabla 12.2 Niveles de Actividad de Camiones en miles de kilómetros por CCF8 Distribuidos en: Afectos y No Afectos por la ZBE	131
Tabla 12.3 Resultados Zona Baja Emisión	132
Tabla 12.4 Resultados para Medida 2	134
Tabla 12.5 Resultados Medida 3 (Escenario 1)	136
Tabla 12.6 Resultados Medida 3 (Escenario 2)	138
Tabla 12.7 Resultados Restricción Vehicular a vehículos con año fabricación <2012.	142
Tabla 12.8 Resultados Restricción Vehicular a vehículos > 7 años de antigüedad.	144
Tabla 12.9 Límites Finales ASM	148
Tabla 12.10 MFR restricción 33% maquinarias sector público con potencias \geq 56kW.	153
Tabla 12.11 Corredores.	155
Tabla 13.1 Precios 2015, Camiones por tipo y por Norma.	158
Tabla 13.2 Precios 2015, Buses por tipo y por norma	158
Tabla 13.3 Costo de instalación filtro, por rango potencia del motor	159
Tabla 13.4 Precios 2015, Vehículos Livianos y Motocicletas	161
Tabla 13.5 Proyectos de corredor considerados en el PMTS 2025 (escenario base y plan)	163
Tabla 13.6 Costo consumo combustible por km, vehículos.	163
Tabla 13.7 Costo consumo combustible por hora, maquinaria.	166
Tabla 13.8 Costo consumo combustible por km.	167
Tabla 13.9 Costo mantención Filtro Partículas.	168
Tabla 13.10 Costo mantención Filtro Partículas vehículos Pesados.	168
Tabla 13.11 Costo mantención Filtro Maquinaria Construcción.	169

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Zona de baja emisión AAV, RM	13
Figura 4.1: Costos incrementales camiones según tecnología de base	28
Figura 6.1: Sistema de gestión PPDA	40
Figura 9.1 Esquema Metodológico	50
Figura 9.2 Enfoque general para cálculo de emisiones	56
Figura 9.3. Comparación FE para Vehículos Particulares Gasolineros.	62
Figura 9.4. Comparación FE para Camiones Livianos Diésel.	63
Figura 10.1 Estudios recientes demuestran que muchos ataques cardiacos se deben a la alta concentración de partículas cerca de las calles de tráfico denso	68
Figura 10.2 Zona de Baja emisión de Londres con cobertura en todo el Great London	69
Figura 10.3: Imagen cámara centro estratégico de fiscalización – PNFT.	77
Figura 10.4: Resultado de la consulta al Registro de Vehículos Motorizados.	78
Figura 10.5: Reporte Citación Juzgado Policía Local.	78
Figura 10.6: Resultados del programa en Santiago de Chile que muestra eficiencia de DPF certificados (VERT y CARB v/s otros)	79
Figura 10.7: Distribución Flota Revisiones Técnicas y Vía Pública	85
Figura 10.8: Mediciones de motores Euro III, Euro IV (con filtro de partículas) y Euro V, en ciclo de certificación ETC. Arriba MP en masa, abajo número de partículas (N), en el rango 30-1.000 nanómetros.	88
Figura 10.9: Temperaturas de los gases de escape en los ciclos NRTC, ETC y en realidad	90
Figura 10.10: Proyección costo de baterías	94
Figura 10.11: Participación de vehículos no catalíticos en el flujo y las emisiones de NOx.	96
Figura 10.12: Factor emisión promedio de NOx, según año de fabricación.	96
Figura 10.13: Equipo RSD en la vía pública	103
Figura 10.14: Correlación de mediciones promedio por año de fabricación, RSD v/s 2525, VLP, en campaña mediciones 2012.	104
Figura 10.15: Tasa de rechazo por año modelo para México y California	105
Figura 10.16: Limites Sensor Remoto	106
Figura 10.17: Caracterización Maquinaria fuera de ruta en la RM.	109
Figura 10.18: Curva de chatarrización.	110
Figura 10.19: Regresión lineal ajustada para la importación de maquinaria, por rubro.	110
Figura 10.20: Evolución anual de kilómetros de corredor construidos	115
Figura 10.21: Distribución de corredores de transporte público en la ciudad de Santiago	117
Figura 12.1: Zona de baja emisión AAV, RM	124
Figura 12.2 Tipos de Arcos Considerados para el Análisis de la ZBE.	128

Figura 12.3 Shape de intersección de Arcos con la ZBE.	129
Figura 13.1 Precios camiones por años de uso.	157
Figura 13.2 Precios vehículos por años de uso.	160

ACRONIMOS

AAV	: Anillo Américo Vespucio
ASM	: Acceleration Simulation Mode
BRT	: Bus Rapid Transport
CARB	: Agencia Ambiental de California
CCF8	: Código de clasificación de fuentes móviles utilizado en el sistema MODEM 5.1 de SECTRA
CO2eq	: Dióxido de Carbono Equivalente
CT	: Composición tecnológica
EPA	: Environmental Protection Agency
HEV	: Vehículo Híbrido Eléctrico
INE	: Instituto Nacional de Estadísticas
MDL	: Mecanismo de Desarrollo Limpio
MP2,5	: Material particulado con diámetro aerodinámico inferior a 2,5 micrones
NA	: Nivel de Actividad del transporte. Habitualmente expresado en [km/año]
NER	: Niveles de Eficacia de la Reparación
NH4	: Amonio
NO2	: Dióxido de Nitrógeno
NO3	: Nitrato
NOx	: Óxidos de Nitrógeno
PMITP	: Plan Maestro de Infraestructura para el Transporte Público
PMTS	: Plan Maestro de Transporte Santiago
PRT	: Planta de Revisión Técnica
PVB	: Peso Bruto Vehicular
RM	: RM
RNSTPP	: Registro Nacional de Servicios de Transporte Público de Pasajeros
RSD	: Remote Sensing Device
SCR	: Selective Catalytic Reduction
TCP	: Tasa de Crecimiento poblacional
TI	: Tasa de Ingreso Vehicular
WHTC	: World Harmonization Transiente Cycle
ZBE	: Zona de Baja Emisión

CAPITULO I: AGIES

1. EVALUACION DE IMPACTO ECONOMICO Y SOCIAL

El presente capítulo ilustra la evaluación general del impacto económico y social de las medidas de descontaminación consideradas en el presente estudio. No es la intención de esta sección describir en detalle el análisis realizado, sino más bien presentar los principales supuestos, resultados y conclusiones obtenidas. Para mayor detalle sobre la metodología utilizada referirse a [MMA 2013]. A continuación, se describe de manera general las medidas evaluadas.

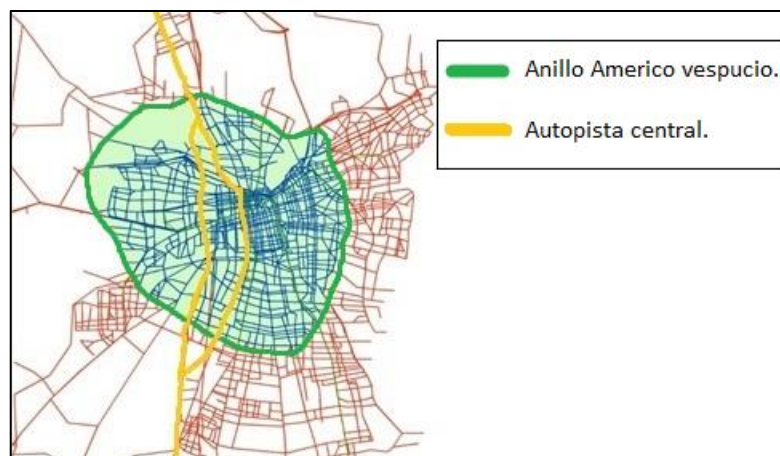
2. MEDIDAS EN ANÁLISIS

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS MEDIDAS

Zona Baja Emisión

La Zona afecta por la medida corresponde al área circunscrita por el Anillo Américo Vespucio (AAV), en la cual, a partir de 2018, se restringirá la circulación de camiones con una antigüedad de más de 12 años, o 18 para camiones con Filtro de Partículas y estándar mínimo Euro III. Se excluyen de la zona afectada las vías de paso de Autopista Centra y el Anillo Américo Vespucio con sus caleteras, es decir, sólo se verá afectada el área achurada tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 2.1: Zona de baja emisión AAV, RM



Fuente: Elaboración propia

Buses Euro VI - Cero y Baja Emisión

Se considera que los buses que se renuevan en la flota de Transantiago deberán cumplir como mínimo con un nivel de emisiones de Euro 6, a partir del año 2017. A su vez, de acuerdo con las bases técnicas, se evaluó el escenario que al año 2018 un 5% de la flota de Transantiago llega a ser híbrida (eléctrico-diésel), sobre la base de incentivos en las nuevas bases de licitación.

El incentivo propuesto debiera operar en base a una extensión de contrato por ahorro de combustible, en aquellas tecnologías cuyas reducciones de consumo se encuentren certificadas mediante procedimiento estandarizados de medición en el laboratorio de vehículos pesados del 3CV, bajo un ciclo de conducción urbano.

El mecanismo debe estar diseñado para garantizar una extensión de plazo de los contratos, que incorporen tecnología más eficiente, en un porcentaje equivalente al 5% de introducción de tecnología híbrida, la que se estima con un 30% de ahorro en consumo¹. Esto representa un 1,5% de ahorro total de combustible en la flota.

Restricción vehicular

Para esta medida se consideró que a partir del 2016 se incorporan a la restricción vehicular, entre el 01 de mayo al 31 de agosto de cada año, a los vehículos (motocicletas, automóviles livianos y medianos) de más de 7 años de uso, incluido aquellos con sello verde. Los vehículos que ingresen al parque deberán cumplir con el estándar de emisiones actual, es decir, Euro 5 para livianos y medianos, y Euro 3 para motocicletas.

Límites Finales ASM

En septiembre de 2008 comenzó a regir en la Región Metropolitana el control de las emisiones en las Plantas de Revisión Técnica bajo el método ASM, para lo cual se aplicaron los límites iniciales recomendados por la Agencia Ambiental de Estados Unidos (EPA)². No obstante, aún no se aplican los límites finales recomendados por la EPA. El actual Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica busca establecer los estándares finales para el ensayo ASM.

A su vez, las bases técnicas de este estudio consideran la evaluación de un límite máximo de emisiones por contaminante, que permita capturar a los altos emisores a través de sistemas de control remoto como Remote Sensing Device (RSD). Los vehículos identificados como altos emisores deberán acudir a una planta de revisión técnica (PRT), o bien serán multados tipo parte empadronado.

En la PRT deberán acreditar el cumplimiento del estándar ASM correspondiente. Se propone discriminar altos emisores según los límites utilizados en California o Ciudad de México siguiente:

Tabla 2.1 Límites RSD vehículos sucios México y California.

	ppmHC	%CO	ppmNO
México	1000	3	1500
California	1000	2	1500

Fuente: [Geasur 2013].

¹ [Sistemas Sustentables 2013]

² Acceleration Simulation Mode Test Procedures, Emission Standards, Quality Control Requirements, and Equipment Specifications. Technical Guidance

Esta medida aumentaría el cumplimiento de los límites ASM, por lo que se modeló como una medida de fiscalización.

Maquinaria de Construcción

Esta medida considera que las maquinarias del sector construcción pertenecientes a proyectos públicos - con potencias superiores o iguales a 56[kW] - son reacondicionadas con filtros de partículas en dos etapas: la primera al 2017 (un 50% del total) y la segunda al 2020 (100 % de la flota). Como línea base se asume que para el año 2017 la flota nueva debe cumplir con el estándar Stage IIIA/Tier 3, y para el 2020 con la norma Stage IIIB/Tier4 Interim.

Corredores segregados

Esta medida consiste en la implementación de infraestructura dedicada exclusivamente a servicios de transporte público de pasajeros, separados físicamente del flujo vehicular, y con paraderos con sistemas de pago eficientes, proporcionando una mejor y más densa red de corredores en las arterias viales de Santiago.

Respecto a los escenarios de evaluación, se consideró el Plan Maestro de Transporte Santiago 2025 (PMTS 2025) que el Gobierno dio a conocer el 2013, en el que se definió una cartera de proyectos de transporte que serían implementados al año 2025. Parte importante de este PMTS 2025 está conformado por un conjunto de corredores definidos anteriormente en el Plan Maestro de Infraestructura para el Transporte Público (PMITP). En la siguiente tabla se muestra el listado de corredores, diferenciando si son parte del escenario base (corredores contemplados en el PMITP), o con proyecto (corredores PMTS 2025 adicionales a PMITP).

Tabla 2.2 Proyectos de corredor considerados en el PMTS 2025 (escenario base y con medida)

Tipo	Proyecto	Km
BASE	Departamental Poniente Entre Ruta 5 y V. Mackenna	5,4
BASE	Santa Rosa Entre Lo Ovalle y Vespucio.	2,6
BASE	V. Mackenna Entre Av. Matta y Vicente Valdés	9,1
BASE	Dorsal Entre J.M. Caro y El Salto	3,1
BASE	Las Rejas Norte Entre Mapocho y Alameda	5,8
BASE	Rinconada Entre Las Naciones y Primera Transversal.	2,6
BASE	San Pablo Entre Vespucio y Antonio Ebner	7,9
BASE	Lo Espinoza Entre Mapocho y J. Hirmas	2
PMT2025	Gran Avenida Sur Entre Vespucio y Balmaceda	6,4
PMT2025	Alameda Entre Pajaritos y Vicuña Mackenna	7,6
PMT2025	Providencia Entre Vicuña Mackenna y Tobalaba	4
PMT2025	Gran Avenida Sur Entre Américo Vespucio y Placer	6,9
PMT2025	Melipilla Entre Esquina Blanca y Ciudad Satélite	8
PMT2025	Tobalaba Entre Departamental y Camilo Henríquez	7,8
PMT2025	Las Condes Entre Manquehue y La Dehesa	6,5
TOTAL		85,7

Fuente: PMTS 2025

2.2 PORTAFOLIO DE MEDIDAS Y ESCALAMIENTO

El análisis costo-beneficio se basa en la comparación de un escenario que contempla la implementación de medidas versus un escenario de línea base en ausencia de tales medidas.

Respecto al enfoque para la evaluación, en específico de los supuestos del orden de implementación y simultaneidad entre medidas, la

Tabla 2.3, permite identificar el escalamiento utilizado.

Mayor detalle del portafolio de medidas y los supuestos de modelación en el punto 11. Del Capítulo II del informe.

En efecto, las medidas que se presentan escaladas son la Medida 3 del portafolio (Buses con Tecnología Cero y Baja Emisión), que considera previamente la aplicación de la norma Euro VI (Medida 2); la Medida 5 del portafolio, Restricción Vehicular, que considera previamente la aplicación de los límites ASM (Medida 5); y la Medida 8, que considera previamente la aplicación de la Medida 3.

Tabla 2.3 Escalamiento entre medidas.

MEDIDA	ESCENARIO	DESCRIPCIÓN
Medida 1: ZBE	Línea Base	Flota camiones: Proyección 2015-2025 conforme tasas de renovación y retiro previstas.
	Escenario 1	Flota camiones: Antigüedad máxima de 12 años al 2018. Proyección 2015-2025 con retiro de flota antigua.
Medida 2: Euro VI Buses	Línea Base	Flota Buses: Programa renovación flota Transantiago con Euro V.
	Escenario 1	Flota Buses: Programa renovación flota Transantiago con Euro VI.
Medida 3: Buses cero y baja emisión.	Línea Base	Medida 2: Línea Base
	Escenario 1	Flota Buses: Programa renovación flota Transantiago con Euro VI y 5% Euro VI-HIBRIDO
Medida 5: Límite ASM final	Línea Base	Flota Motos, Livianos y Medianos: Proyección 2015-2025 conforme tasas de renovación y retiro previstas (históricas)
	Escenario 1	Flota Motos, Livianos y Medianos: Proyección 2015-2025 conforme tasas de renovación y retiro previstas (históricas). Factores de emisión modificados por límite ASM para vehículos a gasolina.
Medida 4: Restricción Vehicular	Línea Base	Medida 5 - Escenario 1 Flota Motos, Livianos y Medianos: Proyección 2015-2025 conforme tasas de renovación y retiro previstas (históricas). Factores de emisión modificados por límite ASM.
	Escenario 1	Flota Motos, Livianos y medianos: Proyección 2015-2025 conforme tasas de renovación y retiro aceleradas por Restricción Vehicular para vehículos >7 años de antigüedad. Factores de emisión modificados por límite ASM para vehículos a gasolina.
Medida 6: Límites RSD	Sólo incurre en costo de fiscalización	
Medida 7: Reacondicionamiento de Maquinaria fuera de ruta sector construcción.	Línea Base	Flota de Maquinaria fuera de ruta sector construcción, conforme a retiro y crecimiento estudio [Geasur 2014], con norma ingreso Stage 3A (2017) y Stage 3B (2020)
	Escenario 1	2017: 50% de la maquinaria de construcción >56kW, de proy. Públicos de la RM con DPF. 2020: 100% de la maquinaria de construcción >56kW de proy. Públicos de la RM con DPF.
Medida 8: Corredores	Línea Base	Medida 3: Escenario 1. Programa renovación flota Transantiago con Euro VI y 5% Euro VI-HIBRIDO
	Escenario 1	Reducción 1% NA motos, livianos y medianos. Para buses velocidad proyectada 2025 según modelación con Corredores

Fuente: Elaboración propia

3. ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS

Para la evaluación de la conveniencia social de las medidas evaluadas, en primer lugar, se recomienda identificar de manera cualitativa los beneficios sociales asociados a las reducciones de emisiones del portafolio de medidas propuesto. Esto incluye beneficios para la población, ecosistemas o especies directamente afectadas o protegidas conforme a lo dispuesto en el D.S. N° 39 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Posteriormente se procede a cuantificar y valorizar un subconjunto de los impactos identificados en función del estado del arte y el nivel de información disponible. Este estudio concentrará sus esfuerzos en valorizar los impactos identificados como significativos.

En el caso de las medidas en evaluación, la reducción de riesgos para la salud sin duda es el impacto más relevante. En el presente informe se utilizan como referencia los impactos cuantificados y monetizados por aumentos de riesgo de mortalidad prematura y morbilidad identificados en [MMA 2013]. Se incluirá adicionalmente beneficios en visibilidad del ambiente según lo propuesto por [Rizzi et al 2014]. A su vez, se analizará el beneficio asociado a reducciones en gases de efecto invernadero valorizado utilizando según lo propuesto [MDS 2013].

El modelo desarrollado se documenta según lo solicitado y además se capacitará a la contraparte técnica en su aplicación. En base a lo requerido por el Ministerio de Medio Ambiente se realizó una evaluación técnico-económica del portafolio de medidas seleccionadas. Para el cálculo cuantitativo de beneficios se utilizó la metodología conocida como función de daño [USEPA, 1991] extendida de acuerdo con [MMA 2013], en función de los daños marginales antes mencionados en CLP por kilómetro recorrido. La siguiente expresión describe la relación de los beneficios de la medida k , del contaminante i , para tipo de vehículo j :

$$\text{Beneficio} = \sum_j \sum_i \text{Dano Marginal (CLP/km)}_{ijk} \cdot \text{Nact (km/ano)}_{ijk}$$

Ecuación 1

3.1 DAÑO MARGINAL

En la presente sección se describen los impactos valorizados. Se reproduce textualmente parte de la metodología descrita en [Rizzi et al 2015].

Beneficios por reducción de riesgos a la salud de población

Según lo descrito en [MMA 2013] y [Rizzi et al 2015], los efectos en la salud de la población asociados a la contaminación del aire, se estiman usando funciones dosis-respuesta que relacionan niveles de concentración ambiental de contaminantes criterio (e.g. PM2.5 u O₃), con aumentos en riesgos a la salud. Comúnmente, esto se realiza mediante modelos log-lineales como el siguiente:

$$H_{jp} = B_j \exp(b_{jp} C_p) P_{jp} \quad \text{Ecuación 2}$$

H_{pj} : Efecto a la salud j concentración ambiental contaminante p ;

β_{pj} : Coeficiente de riesgo efecto a la salud j por unidad de concentración ambiental contaminante p ;

C_p : concentración ambiental contaminante;

B_j : tasa de incidencia efecto a la salud j ;

P_{jp} : población expuesta j al contaminante p .

Para un cambio marginal en la concentración ambiental (ΔC) es posible estimar cambios en efectos en salud (ΔH) de acuerdo al siguiente modelo lineal:

$$DH_{jp} = B_j \left(\exp(b_{jp} DC_p) - 1 \right) P_{jp} \approx B_j b_{jp} DC_p P_{jp} \quad \text{Ecuación 3}$$

De acuerdo con [Rizzi et al 2015] se utilizó como valor de la vida estadística una distribución uniforme con valores mínimo y máximo UF 3,900 y UF 39,200 por evento y un riesgo de muerte relativo de 0,93% por cada 10 [$\mu\text{g-m}^3$] de MP2,5. Finalmente, es necesario relacionar cambios en concentración ambiental del contaminante en estudio en función de cambios en emisiones contaminantes. Esto se realiza asumiendo una relación lineal, en base a los referidos como factores emisión concentración (FEC) que serán estimados mediante un modelo roll back simple (Chang and Winstock, 1975). En este estudio se enfocarán los esfuerzos en estimar el impacto de variaciones en MP2.5 y O3. Es relevante destacar que para ser consistente el cálculo de FEC debe realizarse en base a estimaciones de emisiones realizadas de manera endógena en el modelo de costos y beneficios, es decir, realizadas con los mismos supuestos con los que se estimara la reducción de emisiones del escenario con proyecto con respecto a la línea base.

$$FEC_i^p = \frac{\partial C_p}{\partial E_i} \approx \frac{DC_p}{DE_i} \quad \text{Ecuación 4}$$

FEC_i^p : factor emisión contaminante i concentración contaminante p ;

C^p : concentración contaminante p ;

E_i : emisión precursor contaminante i .

Siguiendo a [Rizzi et al 2015], en base a ecuaciones 3 y 4 y multiplicando por la valoración marginal subjetiva asignada a cada efecto en salud individual es posible estimar el impacto de la emisión de contaminante i en USD/Ton. A continuación, se agrega un paso adicional al estimar el impacto marginal por kilometro recorrido, el tipo de vehículo y norma de emisión. Esto se realiza, en función de factores de emisión COPERT IV [Rizzi et al 2015]. De acuerdo a la metodología presentada en COPERT IV, los vehículos experimentan deterioro en sus emisiones, debido a sus condiciones específicas de tecnología y mantenimiento. El modelo propuesto considera un factor de ajuste a los factores de Emisión por año de fabricación (FAD), según los resultados del estudio [Geasur 2015]. Para mayor detalle ver **Anexo A** en CD adjunto.

Adicionalmente se considera también otro factor de ajuste (FAR), que modifica los Factores de Emisión para aquellas medidas que afecten la condición de emisión de la flota, cual es el caso de ASM, mediante el rechazo y reparación de vehículos en uso (mayor detalle ver sección 11.5.1. del Capítulo II del Informe).

La siguiente ecuación describe el procedimiento aplicado:

$$FE_{i,j,k} = FE(v)_{i,j,k} * FAD_{i,j,k} * FAR_{i,j,k} \quad \text{Ecuación 5}$$

$FE(v)$: Factor de emisión de escape del motor COPERT, en función de la velocidad media v , para el tipo de vehículo i , de combustible j y de tecnología k .

FAD : Factor de ajuste por año fabricación según el tipo de vehículo i , de combustible j y de tecnología k .

FAR : Factor de ajuste por rechazo y reparación por estándar ASM según el tipo de vehículo i , de combustible j y de tecnología k .

Beneficios por visibilidad

En el caso de efectos estéticos como visibilidad del entorno. De acuerdo a lo detallado en [Rizzi et al 2015], se relaciona en aumento de días de alta visibilidad por aumentos/reducciones de un $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio anual de PM_{10} . Un $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} aumenta/disminuye aproximadamente 2 días al año de alta visibilidad. [Rizzi et al 2014] estima la valoración subjetiva de este impacto en hogares de Santiago, en el modelo más conservador se le asigna a un día extra de alta visibilidad de 7,736 UF [110 UF , 12,086 UF]. Siguiendo, el mismo proceso descrito para efectos en salud se estima en el beneficio por mejoras en visibilidad del entorno por kilómetro circulado, tipo de vehículo y norma de emisión.

Beneficios por gases de efecto invernadero

Para estimar los beneficios por reducciones de gases de efecto invernadero se utiliza la metodología propuesta por [MDS 2013] para el precio social del carbono en función de su valor de mercado. De acuerdo con este método [MDS 2013] estima el precio social del carbono en 2012 USD 4.5 por ton de CO_2 .

Co-Beneficios

De manera adicional, en el caso de medidas que reduzcan el nivel de actividad en la Región Metropolitana, se evaluarán co-beneficios asociados a reducciones en congestión, accidentes y ruido de acuerdo con la metodología simplificada propuesta por [Rizzi et al 2015]. Para evaluar el impacto de congestión, la metodología considera el valor subjetivo del tiempo propuesto por [MDS 2012]. Se incluye como co-beneficios el ahorro de combustible asociado a las medidas, valorizado a precios sociales según lo propuesto por [MDS 2012].

Resultados

La siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 3.1 Daño marginal por tipo de vehículo y norma de emisión (CLP/km)

Tipo de vehículo	Sin norma	Euro1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6	Congestión	Accidentes	Ruido
<i>Vehículo de pasajeros - Diesel (<2.5t)</i>	68 (24-160)	29 (10-62)	- -	21 (7-44)	19 (6-41)	12 (4-24)	6 (2-13)	120 (60-200)	130 (40-230)	3 (2-4)
<i>Vehículo de pasajeros - Gasolina (<2.5t)</i>	62 (20-132)	31 (10-66)	- -	6 (2-13)	4 (1-9)	4 (1-9)	4 (1-9)			
<i>Vehículo comercial - Diesel (<2.5t)</i>	102 (34-222)	43 (14-91)	43 (14-91)	41 (13-87)	30 (10-64)	11 (3-22)	6 (2-13)			
<i>Vehículo comercial - Gasolina (<2.5t)</i>	81 (27-174)	49 (16-105)	26 (9-56)	9 (3-19)	4 (1-9)	4 (1-8)	4 (1-8)			
<i>Vehículo comercial - Diesel (>2.5ty<3.5t)</i>	102 (34-222)	43 (14-91)	43 (14-91)	41 (13-87)	30 (10-64)	11 (3-22)	6 (2-13)		100 (30-180)	
<i>Vehículo comercial - Gasolina (>2.5ty<3.5t)</i>	81 (27-174)	49 (16-105)	26 (9-55)	9 (3-19)	4 (1-9)	4 (1-8)	4 (1-8)			
<i>Taxi-Colectivo - Diesel</i>	68 (24-160)	29 (10-62)	- -	21 (7-44)	19 (6-41)	12 (4-24)	6 (2-13)	140 (80-240)	180 (50-310)	
<i>Taxi-Colectivo - Gasolina</i>	29 (9-57)	15 (5-32)	- -	6 (2-13)	4 (1-9)	4 (1-9)	4 (1-9)			
<i>Taxi-Alquiler - Diesel</i>	68 (24-160)	29 (10-62)	- -	21 (7-44)	19 (6-41)	12 (4-24)	6 (2-13)			
<i>Taxi-Alquiler - Gasolina</i>	29 (9-57)	14 (5-30)	- -	6 (2-13)	4 (1-9)	4 (1-9)	4 (1-9)			
<i>Motocicleta - 2T</i>	3 (1-7)	3 (1-8)	3 (1-8)	3 (1-7)	- -	0 (0-0)	0 (0-0)	50 (30-80)	1790 (500-3080)	
<i>Motocicleta - 4T</i>	6 (2-13)	6 (2-12)	4 (1-9)	3 (1-8)	- -	0 (0-0)	0 (0-0)			
<i>Bus Urbano –Turismo (< 15t)</i>	372 (123-796)	177 (58-368)	146 (45-287)	135 (42-269)	69 (20-133)	87 (25-170)	8 (2-15)	440 (240-740)	740 (200-1270)	29 (24-37)
<i>Bus Urbano – Rígido (>15t y <18t)</i>	- -	245 (80-509)	198 (61-393)	179 (56-360)	95 (28-184)	118 (34-230)	12 (4-24)			
<i>Bus Urbano – Articulado (>18t)</i>	- -	- -	- -	221 (69-445)	123 (36-239)	118 (35-227)	11 (4-23)			
<i>Camión - Liviano (>7.5ty<16t)</i>	182 (59-380)	113 (37-235)	94 (29-186)	80 (25-163)	47 (14-90)	42 (12-81)	7 (2-14)	250 (140-420)	-10 (-10-0)	6 (5-8)
<i>Camión - Mediano (>3.5ty<7.5t)</i>	128 (43-273)	101 (33-216)	86 (28-179)	55 (18-114)	27 (8-53)	24 (7-46)	5 (2-11)			
<i>Camión - pesado (>16t)</i>	262 (86-546)	194 (63-403)	156 (48-310)	132 (42-272)	74 (22-143)	74 (22-144)	10 (3-21)			

Fuente: En base a [Rizzi et al 2015] - Buses Euro V con sistema SCR.

3.2 NIVEL DE ACTIVIDAD, VELOCIDAD Y COMPOSICIÓN TECNOLÓGICA

El nivel de actividad corresponde al obtenido en las simulaciones Modem para cada categoría vehicular (codificación CCF6 de MODEM), proyectado para los años del periodo de evaluación, y distribuido, según la composición tecnológica de la flota que define MODEM mediante la codificación CCF8, como sigue:

$$NA_{i,j,k,l} = NA_{i,k} * CT_{i,k,l} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde,

$NA_{i,j,k,l}$	Nivel de Actividad en [km/año], para el tipo de vehículo i (clasificado según codificación CCF6 de MODEM), de la tecnología j (clasificada según codificación CCF8), y para el año de proyección k, bajo la medida l.
$NA_{i,k}$	Nivel de Actividad en [km/año], para el tipo de vehículo i (clasificado según codificación CCF6 de MODEM), y año de proyección k. Valor obtenido de las simulaciones MODEM 2012 y 2025 y proyectado para años intermedios.
$CT_{i,j,k,l}$	Composición Tecnológica, como la fracción de participación de la tecnología j, clasificada según codificación CCF8, para el año de proyección k, en el tipo de vehículo i, bajo la medida l.

Zona Baja Emisión

Considerando que la corrida 2025 disponible del modelo de transporte ESTRAUS no considera camiones, los valores para el nivel de actividad (NA) y velocidades de éstos fueron obtenidos de la simulación del modelo MODEM en la corrida 2012. Para obtener los valores de nivel de actividad para el año base 2015, como también para los años de proyección hasta el 2025, se consideró un crecimiento del 2% anual del nivel de actividad ([Sistemas sustentables 2012]).

A su vez la composición tecnológica (CT), de línea base, fue obtenida a través de los datos de flota de Revisiones Técnicas y fiscalización en la vía pública, años 2014. La proyección de la flota considera, para la elaboración de línea base, la tasa de retiro del 4% anual, conforme la estimación de la tasa de retiro histórica verificada con datos de PRT 2011-2014, y un crecimiento neto de la flota del 2% anual, acoplado con el crecimiento del Nivel de Actividad del sector. Esto resulta en una tasa de venta del 6% en línea base.

El nivel de actividad (NA) del transporte de carga se distribuye dentro de la ciudad a partir de los viajes que realizan los camiones dentro y fuera de la ZBE. Esta medida establece una restricción técnica (emisiones, antigüedad, reacondicionamiento, etc.), a los camiones que quieren circular dentro de la ZBE. Esta restricción técnica afecta a toda la flota cuyos viajes tengan Origen y/o Destino en la Zona. En este sentido todo el flujo de camiones (o actividad), dentro de la zona afecta estará sujeto a los cambios de la Composición Tecnológica y por ende de emisiones, impulsados por dicha restricción. Por otra parte, esta medida afectará también a la actividad que estos mismos camiones realizan fuera de la ZBE, en tanto modifican de manera permanente su tecnología.

Para evaluar de manera simplificada el impacto de la medida dentro y fuera de la ZBE, y con el fin de orientar de forma adecuada los escenarios de modelación, se utiliza una metodología de evaluación de impacto con los siguientes antecedentes: i) Matriz Origen-Destino de transporte de carga proporcionada por SECTRA y ii) Nivel de actividad del transporte de carga en el área de estudio, desagregada por tipo de tecnología, según Modelo de Emisiones MODEM de SECTRA.

La matriz origen-destino (OD) proviene de la actualización de las simulaciones de transporte de carga año 2012 que fue abordada en el estudio, “Análisis y Desarrollo de Redes de Transporte Masivo en el Gran Santiago” de SECTRA, específicamente, en el desarrollo de la Tarea N°1 “Actualización y Validación de la Situación Base”³. Mediante el uso de esta información se determina sobre un Sistema de Información Geográfica, el NA afecto o no afecto por la medida, por cada comuna de la Región Metropolitana. Para más detalles ver 5.1.2 del Capítulo II del informe.

Para los escenarios con proyecto, se modifica la composición tecnológica según las restricciones impuestas por la medida, afectando ésta al nivel de actividad afecto total y por comuna de la RM.

Buses Euro VI y Buses Cero y Baja Emisión

Para esta categoría se cuenta con el NA 2012-2025 y velocidades medias, de las simulaciones MODEM respectivas. La composición tecnológica de línea base es obtenida a partir de la información provista por DTPM para la flota vigente y la renovación prevista hasta el 2023, considerando el reemplazo por el actual estándar EURO V.

Tabla 3.2 Programa de renovación de buses de Transantiago.

Unidad de negocio	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	TOTALES
U1			532	67	30	17	43	5	694
U2		2	605	46	212	104	1	48	1.018
U3			4	10	75	24	387	192	692
U4			211	305	72	25	177	14	804
U5			7	17	376	151	170	1	722
U6					7	53	254	34	348
U7	8	13	32	70	72	22	167	9	393
TOTALES	8	15	1.391	515	844	396	1.199	303	4.671

Fuente: Elaboración propia

Los cambios en la CT, con escenario, suponen renovación por EURO IV y EURO VI HÍBRIDO, según especificado para la medida.

³ Mini Actualización del Transporte de Carga Camión en la Red de ESTRAUS año 2012 25/06/2015 SECTRA

Restricción vehicular

Para esta medida se consideran las siguientes categorías de vehículos: Livianos de pasajeros, livianos comerciales, medianos y motocicletas. El nivel de actividad y las velocidades medias fueron obtenidos de simulaciones del modelo MODEM en las corridas 2012-2025. Para estimar el nivel de actividad y velocidad de los años intermedios de proyección (2015-2025), se realiza una interpolación lineal.

La **composición tecnológica**, proveniente del estudio [Geasur 2013], fue obtenida a través de **mediciones del Programa Nacional de Fiscalización (PNF)**, realizadas principalmente el año 2012, con el equipo Remote Sensing Devices (**RSD**), con el cual se tuvieron **196.161** registros de placas patentes con información de año, marca modelo y tipo.

Para la proyección de la composición tecnológica (CT) base hasta el 2025, se utilizan los porcentajes de retiro por tipo de vehículo y años de uso provenientes del estudio **"Elaboración de una Estrategia Nacional para Reducir la Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes del Sector Transporte"**, Anexo C, [Estrategia 2012].

Las ventas fueron ajustadas para alcanzar un **crecimiento neto del parque en promedio de 5,4%**, tal como predicho en el estudio [Estrategia 2012], **que estima el mismo 5,4%**, para vehículos particulares, al 2% de crecimiento del PIB.

Para el desarrollo del escenario con proyecto se considera que el periodo de restricción representa un 6,7% del nivel de actividad total de la flota afecta. A partir del estudio [HNC 2012]⁴, se obtuvo que de los ciudadanos que se encuentran con restricción, un 63,8% utiliza transporte público el día de la restricción, un 13,8% desplaza su viaje a otro día, un 8,3% utiliza taxi, el 3,9% comparte ruta.

Para la proyección de la CT con proyecto se consideró el resultado del estudio [HNC 2012], que para una restricción por antigüedad de 8 años, **se tiene una flota vehicular que en promedio es 4 años más joven que la de otras ciudades del País, con igual o similares indicadores socioeconómicos** (este rejuvenecimiento fue logrado 20 años después de comenzada la implementación de la restricción). Para la simulación del escenario con restricción vehicular, se ha supuesto entonces, que **al 2025 Santiago contará con una flota 2 años más joven⁵ respecto a la línea base**, esto quiere decir que se ajustarán las tasas de venta y retiro de vehículos conforme el objetivo señalado. Dicho ajuste se refiere a un aumento en las tasas de retiro de los vehículos de más de 7 años de uso, no afectos a la actual restricción vehicular (con sello verde).

Para simular cambios en partición modal, se modeló la decisión que toma el conductor al enfrentarse a la restricción vehicular, en base al estudio [HNC 2012]⁶ que utiliza como referencia el programa hoy no circula de Ciudad de México. A modo de comparación se presentan los resultados de una encuesta similar desarrollada por la Universidad del Desarrollo en la Región Metropolitana entre el 29 y 30 de julio de 2015⁷.

⁴ Evaluación del Programa Hoy No Circula en la Zona Metropolitana del Valle de México, Centro Mario Molina, 2012. Preferencias reveladas.

⁵ Esto considera la mitad de lo obtenido por el programa HNC durante sus cerca de 20 años de implementación. También se simula para 1 y 3 años.

⁶ Evaluación del Programa Hoy No Circula en la Zona Metropolitana del Valle de México, Centro Mario Molina, 2012.

⁷ Se prefirió la información de Mario Molina (2012) debido a que la metodología de evaluación correspondió a preferencias reveladas versus la de preferencias declaradas de la Universidad del Desarrollo.

Tabla 3.3. Decisión de cambio modal con restricción

Decisión	Programa Hoy No Circula - México	Encuesta Universidad Del Desarrollo - Chile	Observación
Usa transporte público	63,8%	70%	Nivel de actividad evitado
Cambia Horario	13,8%	9%	
Utiliza taxi	8,3%	2%	
Compra otro vehículo	4,5%	0%	No se consideró segundo vehículo en la evaluación ⁸
Comparte ruta	3,9%	6%	Nivel de actividad evitado
Bicicleta o a pie	0%	3%	Nivel de actividad evitado
No acata	0%	1%	
Otros	5,7%	9%	

Fuente: Elaboración propia

Limites finales ASM

Esta medida afecta únicamente los factores de emisión de los vehículos existentes. Para Niveles de Actividad, Velocidades Medias y CT, se consideró el escenario base sin proyecto, sobre el que se aplican ajustes a los factores de emisión por reparación de vehículos rechazados con el nuevo estándar ASM. La metodología de cálculo para el Factor de Ajuste por efectos del nuevo estándar se expone en el 5.5.2 del Capítulo II del Informe.

Maquinaria fuera de ruta

Para el cálculo de beneficios de maquinaria fuera de ruta se utilizó una metodología alternativa. Para este caso se utilizó para línea base el nivel de actividad estimado en el estudio “Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país”, elaborado por [Geasur 2014]. Las emisiones para el escenario con proyecto se estimaron aplicando un factor de ajuste al factor de emisión de material particulado, por implementación de filtro de partícula, según lo establecido en la definición de la medida.

Para la estimación del nivel de actividad se contempla un parque de maquinarias fuera de ruta pertenecientes a proyectos públicos de cerca de 5.000 máquinas al 2015 (33 % del total de la flota construcción RM), en base a [Geasur 2014]⁹, mientras que el crecimiento de la flota se calculó mediante una regresión lineal en base a registros históricos de importaciones de Aduanas. Finalmente, la modelación de emisiones con sus fórmulas correspondientes se presenta en anexos. La metodología básica se resume en la siguiente ecuación:

$$E_i = N \cdot NA \cdot POT \cdot LF \cdot EF_i \quad \text{Ecuación 7}$$

⁸ El estudio “Adopting a cleaner technology: The effect of driving restrictions on fleet turnover” (Montero 2015) establece que el efecto de compra de segundo vehículo es marginal al largo plazo, siendo relevante el incremento de las tasas de renovación y retiros debido a la restricción.

⁹ “Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país”. [GEASUR 2014].

E_i : Emisiones del contaminante i durante el período, en [g],

N : Población (unidades),

NA : Nivel de Actividad (horas de uso en el periodo), [hr]

POT : Potencia nominal promedio de la población, [kW],

LF : Factor de carga típica (Load Factor, LF). Representa la fracción de la potencia nominal a la que típicamente opera la maquinaria.

EF_i : Promedio de emisiones del contaminante i por unidad de trabajo, [g /kW-hr].

Corredores segregados

La implementación de esta medida generará impactos en el nivel de servicio del transporte público, aumentando su velocidad de desplazamiento, afectando la partición modal y por tanto el nivel de actividad del transporte privado, lo que se reflejará finalmente en el flujo vehicular. Estos efectos simulados simultáneamente entregan el impacto de la medida. Respecto a la magnitud del cambio en la partición modal, se utilizó como referencia información del Plan Maestro de Transporte Santiago 2025, para los viajes en punta mañana, y que considera un cambio de partición de hasta un 3% a favor del transporte público, considerando un ambicioso plan de inversiones. Se consideró un valor conservador de cambio modal hacia el transporte público de 1%, con la correspondiente reducción del NA para los modos privados. El escenario con proyecto corresponde a una variación proporcional en el nivel de actividad del transporte privado según los niveles de actividad ESTRAUS-MODEM 2012-2025 disponibles.

Esta medida afecta la velocidad media de los buses y de los automóviles por reasignación de espacio vial. Las velocidades medias simuladas fueron las entregadas por el modelo de Transporte 2012-2025, en sus escenarios con corredores y sin corredores. Las composiciones tecnológicas utilizadas corresponden al escenario de renovación de la flota con buses EURO VI y un 5% de buses Híbridos.

3.3 RESULTADOS

Tabla 3.4. Diferencial de beneficios por medida (reducción de emisiones)

Medida	Anualizado (MMUSD/año)	Valor Presente (MMUSD)	Supuestos considerados
Medida 1: Zona baja emisión	30	237	Reducción de emisiones por recambio tecnológico.
Medida 2: Euro VI buses	31	247	Reducción de emisiones por recambio tecnológico.
Medida 3: Buses cero y baja emisión.	31	247	Reducción de emisiones por recambio tecnológico.
Medida 4: Restricción vehicular	115	904	Reducción de emisiones por renovación de la flota. Reducción de nivel de actividad transporte privado por aumento de costos no pecuniarios de automóvil.

Medida	Anualizado (MMUSD/año)	Valor Presente (MMUSD)	Supuestos considerados
Medida 5: Límite ASM final	37	290	Reducción de emisiones por mayor tasa de rechazos en revisión técnica.
Medida 6: Maquinaria fuera de ruta	60	470	Reducción de emisiones por recambio tecnológico.
Medida 7: Corredores segregados	5	43	Reducción de nivel de actividad transporte privado por mejora nivel de servicio transporte público.

Nota: Tasa de descuento: 6%; Tipo de cambio: 680; Periodo: 2015-2025. Valores respecto a línea base.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se desglosan los beneficios del plan según agente económico (Población, Salud privada y Estado) y previsión (sistema de salud público, sistema de salud privado, particulares u otro). La siguiente tabla presenta dicha distribución y en Anexo 9.3, se presenta mayor detalle de la metodología aplicada.

Tabla 3.5. Análisis distributivo

Previsión	Agente			
	Estado	Población	Salud privada	Total
Sistema de salud público	1%	80%	0%	82%
Sistema de salud privado	0%	10%	1%	11%
Particulares	0%	1%	0%	1%
Otros	0%	6%	0%	6%
Total	1%	98%	1%	100%

Fuente: Elaboración propia.

4. ESTIMACIÓN DE COSTOS

La siguiente sección presenta los resultados para la estimación de costos de las medidas en análisis. En primer lugar, se presenta la metodología utilizada para luego describir los resultados agregados de su aplicación.

4.1 METODOLOGÍA COSTOS POR MEDIDA

A continuación, se presenta la metodología de estimación de costos utilizadas para cada medida en evaluación.

Zona Baja Emisión

Para estimar el costo de esta medida se asume que las empresas afectadas adquirirán vehículos nuevos para evitar la restricción de circulación en la zona de baja emisión. De esta manera el costo de la medida corresponde al costo incremental de adquirir un vehículo con un estándar tecnológico Euro V, de acuerdo a la normativa vigente. De acuerdo con esto, a nivel unitario el costo de la medida corresponde al costo

incremental de renovar un camión de estándar j por uno de tecnología Euro V. Se asume que el vehículo a renovar será utilizado en otras funciones productivas.

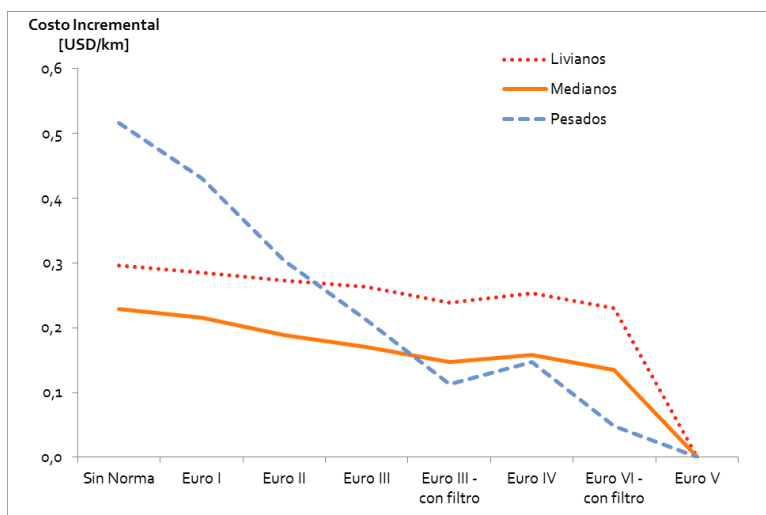
Para estimar el costo incremental se conformó una muestra de 341 precios de venta de camiones, los cuales fueron agrupados en las categorías livianos, medianos y pesados. El precio fue asignado a cada estándar de tecnología a través de una regresión lineal simple en función de la antigüedad. En la **Tabla 8.2**, se presentan los precios estimados según tecnología. Los precios fueron ajustados para reflejar precios sociales descontando IVA y la tasa arancelaria¹⁰, tal como recomienda Ministerio de Desarrollo Social (2015)¹¹. Para anualizar la inversión requerida se consideró una vida útil de 12 años.

Se asume que los camiones con tecnología Euro III o Euro IV que cuenten con filtro de partículas requerirán un costo de mantención anual de USD 600 para livianos y medianos y USD 1,070 para pesados. A su vez, camiones pesados, medianos y livianos con tecnología Euro V requerirán un costo de operación anual de USD 7,500, USD 4700 y USD 1,100 respectivamente por suministro de aditivo necesario para la correcta operación del sistema de control de emisiones SCR. El precio estimado para el aditivo es de USD 1,2/lt¹² y el consumo es proporcional al consumo de combustible a una tasa del 5%. Para el consumo de combustible se utilizó el valor de FC (Fuel Consumption), reportado por COPERT según los factores de emisión [COPERT IV 2013].

La medida solo aplica al nivel de actividad circulado en la Región Metropolitana. Para estos efectos, se requiere asignar el costo de renovación al nivel de actividad en la Región Metropolitana. Si se asume que la flota de camiones livianos medianos y pesados, en esta Región, circulan aproximadamente, 30,000, 31,000 y 12,000 kilómetros por año respectivamente, es posible calcular el costo por kilómetro circulado. La Figura 2.2 presenta los costos incrementales por kilómetro circulado dependiendo de la tecnología a reemplazar.

Finalmente, se estima que el costo de fiscalización de la medida corresponde a una inversión de MMUSD 12 en un sistema de cámara de monitoreo del Centro Estratégico del Programa Nacional de Fiscalización del Ministerio de Transportes más MM USD 1,4 por año por concepto de administración del sistema.

Figura 4.1: Costos incrementales camiones según tecnología de base



Fuente: Elaboración propia

¹⁰ Se asume la tasa general de internación de 6%

¹¹ Precios Sociales Vigentes 2015. Ministerio de Desarrollo Social.

¹² [Sistemas Sustentables 2013].

Buses Euro VI - Cero y Baja Emisión

El costo de la aplicación de esta medida corresponde al costo incremental de adquirir un vehículo con un estándar tecnológico superior a la normativa vigente Euro V. De acuerdo con esto, a nivel unitario el costo de la medida corresponde al costo incremental de renovar un bus de estándar Euro V por uno de tecnológico Euro VI o Euro VI- Híbrido según corresponda. Para obtener los precios de buses según estándar tecnológico se desarrollaron entrevistas con profesionales de Kaufmann, Volvo y Subus (ver **Tabla 8.4** en Anexos). Se sume una vida útil de 8 años para buses nuevos.

Para buses usados se consideró un valor residual cero, toda vez que no hay un mercado para buses usados de Transantiago. Para buses con filtro de partículas se consideró, como parte de los costos de inversión, el costo de instalación y precio de esta tecnología de control según el modelo desarrollado por el [TTM Mayer]. El modelo de costo propuesto considera un precio para el filtro dependiente de la potencia del motor en [kW], como sigue:

$$\text{Precio}/kW = 1044 * kW^{-0,4911} * FA \quad [\text{USD } \$/kW] \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde FA es un factor de ajuste para el caso de aplicaciones fuera de ruta (FA=1) o aplicaciones en ruta (FA=0,5). Este último factor de ajuste ha sido incorporado por el consultor considerando que para el caso de Santiago se conocen los precios para aplicaciones en buses. Para estimar el costo de instalación se ha considerado la estimación del mismo modelo de precios antes citado, que establece valores por rango de potencia (ver **Tabla 8.6**). Dado que estos costos están determinados principalmente por costos de mano de obra en Suiza, se ajustaron estos valores según ingreso per cápita.

El filtro de partículas es un componente destinado a retener el hollín que produce el motor diésel y regenerarlo mediante un proceso de oxidación cuyos residuos son principalmente CO₂ y ceniza. Dado que la ceniza es incombustible esta se acumula en el tiempo hasta que se hace necesaria una limpieza. Los valores de mantenimiento y limpieza se presentan en la **Tabla 8.7**.

Para el caso de buses con norma Euro V y Euro VI, se requiere el suministro de aditivo para la correcta operación del sistema de control de emisiones SCR. El precio estimado para el aditivo es de USD 1,2/lit¹³ y el consumo es proporcional al consumo de combustible a una tasa del 5%. Para el consumo de combustible se utilizó el valor de FC (Fuel Consumption), reportado por COPERT según los factores de emisión [COPERT IV 2013].

Para buses híbridos se incluyó un costo de operación adicional por arriendo de las baterías. Este costo corresponde al modelo de negocio considerado, principalmente por Volvo, para la comercialización de buses con esta tecnología. Este costo se ha estimado en 0,137 USD \$/km, conforme estudio [Sistemas Sustentables 2013]. Se considera que un bus urbano recorre aproximadamente 70,000 km por año. A continuación, se presentan los costos por kilómetro correspondientes a este concepto:

¹³ [Sistemas Sustentables 2013].

Tabla 4.1. Costo incremental buses (USD/km)

Tipo de bus	Euro VI	Euro VI-Híbrido
Articulado	0.099	0.45
B2	0.072	0.43
B1	0.073	0.36

Fuente: Elaboración propia.

Restricción vehicular

Los costos considerados para esta medida corresponden a la compra de vehículos nuevos, según precios sociales de **Tabla 8.1**, asociados a una renovación acelerada del parque vehicular. Para determinar el precio de motocicletas y vehículos livianos se contó con una muestra de 234 datos de precios de venta de vehículos y con la base de datos de avalúo del Servicio de Impuestos Internos. Para estimar el precio de los vehículos, se elaboraron regresiones lineales en función de la antigüedad, los que fueron transformados a precios sociales (ver **Tabla 8.1**), luego de descontar el IVA y la tasa arancelaria¹⁴, tal como recomienda Ministerio de Desarrollo Social (2015)¹⁵. Para anualizar el valor de venta del vehículo nuevo se consideró una vida útil de 8 años, una tasa de descuento del 6 %, y un valor residual del orden del 20% del valor inicial al final de su vida útil (20 años).

Esto según el supuesto de que en 10 años (al 2025) Santiago contará con una flota 2 años más joven respecto a la situación base. Este escenario es concordante con la experiencia de Ciudad de México (HNC 2012) que cuenta con restricción por antigüedad y, luego de 20 años de funcionamiento, tiene una flota vehicular en promedio 4 años más joven que la de otras ciudades del México con igual o similares indicadores socioeconómicos. Además, esta aproximación está en línea con las conclusiones de Montero (2015) respecto a que el efecto relevante de la restricción vehicular tiene que ver con un aumento en las tasas de retiro y la consecuente renovación del parque.

Para dar cuenta de este fenómeno sería necesario incrementar un 250 % las tasas de retiro base (ver **Tabla 8.8**) de los vehículos de más de 7 años de uso con sello verde, de manera de obtener una disminución de la antigüedad promedio del parque de 2 años. Lo anterior redundaría en un aumento en la venta de vehículos nuevos cercano al 28 % al 2020. Mayor detalle respecto al aumento porcentual de ingreso de vehículos nuevos al parque en **Tabla 8.9**.

Limites finales ASM

El costo de esta medida corresponde al costo de reparación de vehículos rechazados adicionalmente producto del nuevo estándar. Para estimar las tasas de rechazo adicionales que implicaría el nuevo estándar se estimó,

¹⁴ Se asume la tasa general de internación de 6%

¹⁵ Precios Sociales Vigentes 2015. Ministerio de Desarrollo Social.

en base a la información disponible de plantas de revisión técnica (PRT) del año 2014, el número de vehículos que sería rechazo con el límite final propuesto por el Ministerio del Medio Ambiente¹⁶.

El costo de reparación para los vehículos rechazados adicionalmente, corresponde al costo de diagnóstico y el costo de reparación. Para la reparación se ha considerado típicamente el recambio del convertidor catalítico, como la implicancia más probable del rechazo. Los valores utilizados provienen de [Geasur 2011-1]¹⁷ y [Geasur 2011-2]¹⁸. Los costos del convertidor catalítico se actualizaron según tipo de cambio y los costos de mano de obra y diagnóstico según ingreso per cápita. Para obtener el precio social se considera el valor del convertidor sin impuestos.

Tabla 4.2. Costo incremental vehículo rechazado (USD/km)

Costos del rechazo	Valor
Convertidos catalítico de reposición	\$121
Mano de obra (Cambio convertidor catalítico)	\$17
Costo de diagnóstico	\$37
Total	\$147

Fuente: Elaboración propia.

A su vez, la medida implica mayores costos de fiscalización con respecto a la situación base. Se considera que la implementación y administración de un programa de monitoreo remoto (RSD) implicaría MMUSD 2,2 por año si se contempla cinco unidades adicionales a la ya disponible.

Maquinaria fuera de ruta

La estimación de costos de esta medida consideró la inversión, instalación y mantención de filtros además del aumento en el consumo de combustible esperado. Respecto a la inversión e instalación se utilizó la **Ecuación 8** (con un factor FA de 1) y la **Tabla 8.6** respectivamente. Para los costos de mantenimiento y limpieza del filtro se recurrió a los valores de la **Tabla 8.7** (con un factor FA de 1). Por otro lado para estimar el delta de consumo de combustible se utilizó el valor de FC (Fuel Consumption), reportado por [COPERT IV 2013]. El precio social del combustible se obtuvo según lo publicado por Ministerio de Desarrollo Social (2015)¹⁹.

Corredores segregados

Para estimar el costo de esta medida se utilizó la información de costos sociales del Plan Maestro de Transporte Santiago 2025 (**Tabla 4.3**), considerando como situación con proyecto sólo los corredores

¹⁶ http://www.mma.gob.cl/transparencia/mma/doc/RES_402Anteproyecto_RNORMAEMISIoN_NO_HC_CO_NOX_CHISPA.pdf

¹⁷ "Elaboración de propuestas de mejoramiento y apoyo a la implementación de la nueva norma ASM y diagnóstico del sistema de reparación y recambio de convertidores catalíticos"

¹⁸ "Análisis técnico-económico de la aplicación de la nueva norma de emisión ASM en Plantas de Revisión Técnica"

¹⁹ Precios Sociales Vigentes 2015. Ministerio de Desarrollo Social.

adicionales a lo establecido en el Plan Maestro de Infraestructura para el Transporte Público (PMITP) para el período 2011-2015.

Tabla 4.3 Costos corredores segregados.

Proyecto	Km	Inversión MM\$	MM\$/Km
Gran Avenida Sur Entre Vespucio y Balmaceda	6,4	\$ 33.412	\$ 5.221
Alameda Entre Pajaritos y Vicuña Mackenna	7,6	\$ 69.915	\$ 9.199
Providencia Entre Vicuña Mackenna y Tobalaba	4	\$ 22.509	\$ 5.627
Gran Avenida Sur Entre Américo Vespucio y Placer	6,9	\$ 7.813	\$ 1.132
Melipilla Entre Esquina Blanca y Ciudad Satélite	8	\$ 28.086	\$ 3.511
Tobalaba Entre Departamental y Camilo Henríquez	7,8	\$ 43.511	\$ 5.578
Las Condes Entre Manquehue y La Dehesa	6,5	\$ 32.734	\$ 5.036

Fuente: Plan Maestro de Transporte Santiago 2025

Ciclo vías

De acuerdo a información provista por la contraparte, construcción de 308 km de ciclo vías en el Gran Santiago, con 65% vías multipropósito y 35% vías alto estándar, implicaría un costo de MM CLP 130 y MM CLP 200 por kilómetro lineal respectivamente.

4.2 RESULTADOS

A partir de los costos identificados en la sección anterior, se calcularon los valores presentados en la **Tabla 4.4** . Estos costos representan el diferencial entre la línea base y los escenarios con proyecto y sin proyecto según corresponda.

Tabla 4.4. Diferencial de costos por medida

Medida	Anualizado (MMUSD/año)	Valor presente (MMUSD)	Costos considerados
Medida 1: Zona baja emisión	-16	-126	Inversión, instalación mantención incremental por recambio tecnológico.
Medida 2: Euro VI buses	-12	-93	Inversión, instalación mantención incremental por recambio tecnológico.
Medida 3: Buses cero y baja emisión.	-17	-136	Inversión, instalación mantención incremental por recambio tecnológico.
Medida 4: Restricción vehicular	-310	-2,444	Costo esperado de recambio tecnológico por aumento de probabilidad de retiro.
Medida 5: Límite ASM final	-31	-246	Costo esperado de falla por límites más exigentes.
Medida 6: Maquinaria fuera de ruta	-21	-164	Inversión, instalación mantención y operación de filtros y diferencial de gastos en combustible
Medida 7: Corredores segregados	-47	-371	Inversión en infraestructura
Medida 8: Ciclo vías	-7	-56	Inversión en infraestructura

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Tasa de descuento: 6%; Tipo de cambio: 680; Periodo: 2015-2025. Valores respecto a línea base.

5. INDICADORES ECONÓMICOS

Los resultados de la evaluación técnico-económica se presentan en la siguiente tabla consolidados, incluyendo los distintos indicadores de desempeño requeridos por la contraparte.

Tabla 5.1. Valor presente neto costos y beneficios (MMUSD)

	Zona baja emisión	Buses Euro VI	Restricción vehicular	ASM	Maquinas fuera ruta	Corredores
Beneficios y Costos						
<i>Beneficios</i>	240	250	900	290	470	40
<i>IC90</i>	[70-440]	[70-450]	[260-1,720]	[80-540]	[140-930]	[10-80]
<i>Costos</i>	130	90	2,440	250	160	370
<i>IC90</i>	[70- 130]	[70- 130]	[1,680- 3,120]	[140- 260]	[140- 260]	[280- 520]
<i>B/C</i>	1.85	2.77	0.36	1.2	2.9	0.1
Co-Beneficios						
<i>Congestión</i>	140	-	600	-	-	440
<i>Accidentes</i>	-10	-	1,160	-	-	490
<i>CO2</i>	-	~1	20	-	10	-
<i>Ruido</i>	-	-	10	-	-	10
<i>Ahorro combustible</i>	10	7	820	-	-	200
Totales						
<i>Beneficios + Co-Beneficios</i>	380	258	3,510	290	480	1180
<i>IC90</i>	[150-690]	[50-440]	[1,770-5,570]	[80-540]	[140-960]	[610-1,900]
<i>B/C</i>	2.9	2.9	1.44	1.2	3.0	3.2
<i>Reducción MP2.5 [ug/m3 promedio anual]</i>	0.18	0.16	0.92	0.14	0.60	0.04
<i>Costo anualizado (MMUSD)/ ug-m3 MP2.5</i>	-90	-72	-335	-40	-35	-1156

Fuente: Elaboración propia. Nota: Tasa de descuento: 6%; Tipo de cambio: 680; Periodo: 2015-2025. Valores respecto a línea base. Valores con 2 cifras significativas. Intervalo de confianza al 90% (IC90) costos considera rango estudios de pre factibilidad de $\pm 30\%$.

A continuación, se presentan dos escenarios adicionales: incorporación de vehículos de cero y baja emisión y restricción vehicular para vehículos con año modelo anterior al 2012. Este último ha sido agregado a petición de la contraparte.

Tabla 5.2. Valor presente neto costos y beneficios - escenarios alternativos (MMUSD)

	Buses Euro VI más Cero y baja emisión	Restricción vehicular
Beneficios y Costos		
<i>Beneficios</i>	250	1,070
<i>IC90</i>	[70-450]	[270-2,030]
<i>Costos</i>	140	2,540
<i>IC90</i>	[70- 130]	[1,780- 3,300]
<i>B/C</i>	1.79	0.42
Co-Beneficios		
<i>Congestión</i>	-	720
<i>Accidentes</i>	-	860
<i>CO2</i>	~1	19
<i>Ruido</i>	-	18
<i>Ahorro combustible</i>	15	870
Totales		
<i>Beneficios + Co-Beneficios</i>	256	3,560
<i>IC90</i>	[50-440]	[1,790-5,640]
<i>B/C</i>	1.8	1.40
<i>Reducción MP2.5 [ug/m3 promedio anual]</i>	0.17	1.04
<i>Costo anualizado (MMUSD)/ ug-m3 MP2.5</i>	-104	-313

Fuente: Elaboración propia. Nota: Tasa de descuento: 6%; Tipo de cambio: 680; Periodo: 2015-2025. Valores respecto a línea base. Valores con 2 cifras significativas. Intervalo de confianza al 90% (IC90) costos considera rango estudios de pre factibilidad de $\pm 30\%$.

6. INDICADORES DE GESTIÓN

Como se requiere en los términos de referencia se propone un esquema de sistema de control de gestión de las medidas contempladas en el portafolio y sus futuras actualizaciones, que simplifique su seguimiento, proponiendo indicadores, medios de verificación y metas de cumplimiento para los sectores y servicios responsables. En base a la propuesta metodológica para el control de gestión del PPDA desarrollada por DICTUC SA (2008) "Análisis y evaluación del impacto económico y social del plan de descontaminación de la Región Metropolitana (AGIES)". Estudio encargado por CONAMA, Santiago, diciembre de 2008, se establecieron tres niveles de control: procesos relevantes en la operación de la medida, efectividad de reducción de emisiones y calidad del aire.

En el caso de procesos relevantes, se identificaron los procesos necesarios para la operación idónea de cada medida, su objetivo, plazo, forma de medición (indicadores), meta a alcanzar y sus responsables. En base a estas definiciones, se establecieron indicadores y metas de cumplimiento en etapas intermedias de operación. Las metas intermedias incluyen insumos claves para la implementación de la medida. La Tabla 7.1 describe los indicadores seleccionados. La tabla 7.2 describe las metas y los medios de verificación requeridos.

Tabla 6.1 Descripción de indicadores

Medida	Descripción indicador	Fuente
1.- Zona de baja emisión	Mediante el control aleatorio en vía pública que realiza el Programa Nacional de Fiscalización, en los puntos de control que se encuentren dentro de la Zona de Baja Emisión, y/o del resultado del seguimiento por cámaras, mediante muestras aleatorias, se determinará el porcentaje de cumplimiento de la medida (fracción de camiones > 12 años, o Euro III+DPF > 18 años).	Programa Nacional de Fiscalización
2.- Aplicación Euro VI/EPA2010 para buses de Transantiago	Mediante el Registro de Transporte Público de la RM es posible conocer la flota de Buses Urbanos del Transantiago, con el detalle de la norma de emisiones que éstos cumplen.	Secretaría Regional de Transportes RM Dirección de Transporte Público Metropolitano.
3.- Exigencia de un porcentaje de tecnología de cero y baja emisión para el total de la flota del sistema de transporte público (Transantiago)	Mediante el Registro de Transporte Público de la RM es posible conocer la flota de Buses Urbanos del Transantiago con el detalle de la norma de emisiones que éstos cumplen.	Secretaría Regional de Transportes RM Directorio de Transporte Público Metropolitano
4.- Restricción vehicular para vehículos con sello verde	A diferencia de los camiones, no existe un programa de control permanente por parte del MTT, para vehículos livianos. Se propone utilizar las mediciones de RSD, que permiten detectar entre 2.000 a 4.000 PPU diarias, y cruzar con el Registro Civil, para determinar el % de cumplimiento de la medida. Para ello se deberá acordar con el Programa Nacional de Fiscalización un programa de seguimiento con RSD cada año, donde se mida el comportamiento del flujo en los 18 puntos de control que existen para este efecto.	Programa Nacional de Fiscalización
5.- Aplicación límites finales ASM	Como parte de un mismo programa de medición con el equipo RSD, de propiedad del Programa Nacional de Fiscalización, es posible medir los Factores de Emisión de los vehículos afectos por los nuevos estándares de ASM y evaluar los impactos de la medida en las emisiones en ruta.	Programa Nacional de Fiscalización
6.- Límites de emisión con RSD ("limpio y sucio") para vehículos livianos y pesados	No aplica, pues se considera el método de fiscalización y control de la medida ASM.	
7.- Programa reducción emisiones para Maquinaria Construcción.	Para tener un control de la evolución de esta medida, es necesario crear una instancia de fiscalización y registro de la maquinaria reacondicionada. Dicho registro permitirá conocer el detalle la flota de la maquinaria con DPF. Se propone como instancia del control de este registro a la Superintendencia de Medio Ambiente.	RETIC y Superintendencia de Medio Ambiente.
8.- MAPS-Chile: Implementación corredores Transporte Público	Para monitorear el desarrollo de esta medida se propone el uso de las estadísticas de infraestructura disponibles por el Directorio de Transporte Público Metropolitano.	Directorio de Transporte Público Metropolitano

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.2 Cumplimiento indicadores

Medida	Indicador	Medio de Verificación	Frecuencia de control	Meta Indicador
1.- Zona de baja emisión	%cumpl: Porcentaje de Cumplimiento en ZBE (camiones ≤ 12 años o ≤ 18 años si es Euro III+DPF).	Control aleatorio en Vía Pública	Reporte Anual	2015: 81% (Línea Base)
				2020: 100%
				2025: 100%
2.- Aplicación Euro VI/EPA2010 para buses de Transantiago	%Flota Euro VI: Porcentaje de la flota Transantiago con tecnología Euro VI o superior.	Mediante el Registro de Transporte Público RM	Reporte Anual	2015: 0%
				2020: 40%
				2025: 70%
3.- Exigencia de un porcentaje de tecnología de cero y baja emisión para la flota de Transantiago.	%Flota Híbrido: Porcentaje de la flota Transantiago con tecnología Euro VI-HIBRIDO.	Mediante el Registro de Transporte Público RM	Reporte Anual	2015: 0%
				2020: 2%
				2025: 5%
4.- Restricción vehicular para vehículos con sello verde.	%cumplimiento: Porcentaje cumplimiento restricción vehicular permanente vehículos con sello verde.	Control aleatorio en Vía Pública con RSD	Reporte Anual	2015: 0%
				2020: 100%
				2025: 100%
5.- Aplicación límites finales ASM	%reducciónFE_{NOx} %reducciónFE_{HC}: Reducción de los FE de vehículos Euro 1 a Euro 3 en 25% para NOx y 35% para HC, medidos con RSD, respecto de los valores RSD-2012.	Control aleatorio en Vía Pública con RSD	Reporte Anual	2015: 0%
				2020: 25% NOx – 35% HC
				2025: 25% NOx – 35% HC
6.- Límites de emisión con RSD ("limpio y sucio") para vehículos livianos y pesados	No aplica, pues se considera el método de fiscalización y control de la medida ASM.			
7.- Programa reducción emisiones para Maquinaria Construcción.	N° Reacond. Número de máquinas de construcción reacondicionadas en la RM.	Registro de maquinarias con filtro de partículas	Reporte Anual	2015: 0
				2020: 3.400
				2025: 8.900
8.- MAPS-Chile: Implementación corredores Transporte Público	Km constr. Kilómetros construidos desde el 2015 (incluido)	Reporte de infraestructura DTPM	Reporte Anual	2020: 40 km
				2025: 85 km

Fuente: Elaboración propia.

A su vez, se propone definir metas de cumplimiento de la medida específica, a saber, reducción de emisiones esperada con respecto a la reducción de emisiones en régimen. La Tabla 8.3 describe, para el NOx y MP2.5, la reducción de emisiones esperada en toneladas por año con respecto los años de referencia 2020 y 2025. El

indicador en cuestión, corresponde entonces a la reducción de emisiones del contaminante i , de la medida k , en el año j con respecto por la reducción de emisiones esperada al año de referencia:

$$\text{Reduccion de emisiones esperada año } j (\%) = \text{Red. emisiones }_{ijk} / \text{Red. emisiones }_{ik \text{ ano referencia}}$$

Ecuación 9

Tabla 6.3. Reducción de emisiones esperada 2020 y 2025 [Ton/año]

	Medida	NOX	MP2.5
2020	Medida 1: Zona baja emisión	1.007,6	89,4
	Medida 2: Euro VI buses	1.557,5	11,4
	Medida 3: Buses cero y baja emisión.	5,9	0,05
	Medida 4: Restricción vehicular*	2.131,6	242,6
	Medida 5: Límite ASM final	1.888,0	0
	Medida 6: Maquinaria fuera de ruta	0	249,9
	Medida 7: Corredores segregados	348,6	6,8
	Medida 8: Ciclo vías	68	11
2025	Medida 1: Zona baja emisión	561,0	40,7
	Medida 2: Euro VI buses	2.987,3	20,6
	Medida 3: Buses cero y baja emisión.	7,6	0,06
	Medida 4: Restricción vehicular*	2.065,1	227,0
	Medida 5: Límite ASM final	1.356,2	0
	Medida 6: Maquinaria fuera de ruta	0	159,7
	Medida 7: Corredores segregados	441,5	5,3
	Medida 8: Ciclo vías	69	12

* Reducciones corresponden a restricción a vehículos con antigüedad mayor a 7 años.
Para restricción de vehículos con año de fabricación menor a 2012: MP2.5 : 246,7 (2020) y 228,5 (2025)
NOx : 2.133,7 (2020) y 1.969,7 (2025)

Fuente: Elaboración propia.

Para estimar dicho indicador, se requiere realizar un seguimiento de la efectividad de las medidas propuestas en alcanzar dicha reducción de emisiones de manera anual. Para cumplir con este objetivo se propone exigir el reporte anual de emisiones a los sectores regulados, a través del sistema de ventanilla única del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) establecido en el D.S. 1/2013 del MMA, ya sea directamente o a través del organismo público responsable. La ley 19.300 modificada por la ley 20.417 entrega atribuciones al Ministerio del Medio Ambiente (MMA) que permiten, registrar, sistematizar y estimar, la naturaleza, caudal y concentración de emisiones de contaminantes que sean objeto de una norma de emisión. En este caso, en el plan de prevención y descontaminación establecería límites de emisión a fuentes del sector transporte. Mediante un sistema de cálculo de emisiones simplificado, como el desarrollado en el presente informe sería posible estimar los avances de la medida en función del cumplimiento de indicadores de procesos relevantes. De incumplirse este indicador en el año de referencia, es necesario revisar el diseño de las medidas propuestas.

A su vez, es necesario relacionar cambios en concentración ambiental del contaminante en estudio en función de cambios en emisiones contaminantes. Se propone estimar anualmente el porcentaje de cumplimiento de la norma de calidad ambiental de MP2.5 asociada a la reducción de emisiones esperada del contaminante i y medida k . Esto se puede realizar asumiendo una relación lineal, en base a los referidos como factores emisión concentración (FEC) del contaminante i . Cabe destacar que este indicador penaliza el aumento de en la concentración ambiental de MP2,5 en año j al fijar como referencia el año 2015. Si este indicador se incumple se debe iniciar la revisión de diseño del PPDA y proponer mayores exigencias.

$$\text{Meta concentración MP2.5 en } j \text{ [\%]} = \frac{\text{Concentración MP2.5 2015} - \sum_k \sum_i \text{FEC}_i \cdot \text{Red. emisiones}_{ijk}}{\text{Norma anual de calidad ambiental MP2.5}}$$

Ecuación 10

Finalmente, se requiere realizar un seguimiento de la concentración ambiental de MP2.5 con respecto a la mejora en la calidad del aire esperada. Si bien es posible que los indicadores de procesos relevantes, de reducción de emisiones y de cumplimiento de la norma de calidad estimada sean cumplidos a cabalidad, esto puede no traducirse en mejoras en calidad del aire reales. Se propone, estimar la diferencia entre la reducción de concentración de MP2,5 observado y la concentración de MP2,5 estimado en promedio anual. Si esta diferencia es positiva implica que las medidas han sido menos efectivas de lo planificado, si este indicador es negativo indica que las medidas han sido más exitosas que lo esperado. Cabe destacar que este análisis debiera incluir a otras medidas contempladas en el plan de descontaminación de tal manera de no confundir su desempeño con el éxito de otras medidas del plan. Si este indicador es positivo por tres años consecutivos se debe iniciar la revisión del PPDA de manera formal.

$$\Delta \text{Conc. MP2.5 real vs. esperada en } j = \text{Conc. MP2.5 en } j - (\text{Conc. MP2.5 2015} - \sum_k \sum_i \text{FEC}_i \cdot \text{Red. em.}_{ijk})$$

Ecuación 11

La siguiente figura describe esquema del sistema de gestión en base al modelo propuesto:

Figura 6.1: Sistema de gestión PPDA



Fuente: Elaboración propia.

7. CONCLUSIONES

En el presente informe se evaluaron con éxito las medidas indicadas por la contraparte técnica. Como ya fue detallado, se estimaron los costos y beneficios de cada medida según los escenarios propuestos. La metodología desarrollada incluyó la valoración de los daños marginales del sector transporte por kilómetro recorrido y tipo de vehículo. A su vez, se presentaron en este informe los valores estimados para los costos de inversión, operación y fiscalización para cada medida.

Los resultados de la evaluación técnico-económica muestran que las medidas seleccionadas por la contraparte para su evaluación son socialmente rentables si se consideran sus co-beneficios. En cambio, si se considera solo beneficios directos por reducciones en riesgos de morbilidad y mortalidad y mejoras en visibilidad del entorno, medidas como restricción vehicular y corredores de buses según el esquema de implementación propuesto, presentan mayores costos que beneficios. Esto demuestra que dichas medidas tienen un menor costo eficiencia en la reducción de la contaminación.

Por otra parte, medidas de comando y control como la restricción vehicular, si bien incluyen incentivos no pecuniarios para la renovación de la flota implican un alto costo social. Combinar estas medidas con un sistema de subsidios a la renovación del parque, permitiría mitigar los efectos regresivos de esta medida en familias con menores niveles de ingreso. Recientemente, se establecieron incentivos económicos para la reducción de emisiones en vehículos nuevos en la reforma tributaria del año 2012. Esta medida permite incluir en la decisión de compra el impacto ambiental de la operación del vehículo. En el caso de vehículos existentes, sería conveniente considerar la introducción de incentivos económicos de índole similar para incentivar la reducción de emisiones en forma eficiente como alternativa a medidas más gravosas como la restricción vehicular.

Sin embargo, en el caso de la restricción vehicular, esta corresponde a la medida más efectiva de las propuestas por la contraparte, con la mayor reducción esperada en la concentración ambiental de MP2.5. El objetivo último del plan de prevención y descontaminación es reducir los niveles de contaminación a niveles considerados seguros. Es relevante entonces no solo realizar esta tarea de manera eficiente, sino también de manera efectiva y así lograr el objetivo del plan en un plazo razonable. La mejora en la calidad del aire asociada a esta medida tiene relación con la renovación anticipada de vehículos catalíticos más antiguos (Euro 1, Euro 2 y Euro3). Este tipo de vehículos presenta altas tasas de emisión con respecto a vehículos con tecnologías de control de emisiones modernas, tales como Euro 5 o de estándares superiores. Conforme a mediciones realizadas en la ruta con equipamiento de sensor remoto (RSD), se han detectado diferencias de hasta 13 veces en el nivel de emisiones (e.g. NO_x)²⁰. Estas diferencias en los niveles contaminación de los vehículos catalíticos más antiguos no ha sido reflejada históricamente en inventarios de emisión de la Región Metropolitana, que se basan en factores de emisión europeos, elaboradas a partir de mediciones en laboratorio, para caracterizar las emisiones del parque. Dichos factores de emisión no incorporan efectos locales de mantención, deterioro, tecnológicos o incluso de operación real en la vía por lo que las emisiones de vehículos más antiguos habría sido sucesivamente subestimada [Geasur 2015].

²⁰ [Geasur 2015]

Con respecto al diseño de la medida de restricción vehicular cabe destacar que si bien una definición por año de antigüedad o año de fabricación, puede facilitar la fiscalización en la vía pública, esta podría implicar exigencias distintas para vehículos con tecnologías y niveles de emisión similares. En contraste, una medida que establece restricción por estándar de emisión puede resultar más equitativa, ya que afectaría a vehículos con similar impacto ambiental con exigencias equivalentes. Se debe considerar que, vehículos que no queden sujetos a restricción vehicular acrediten su condición de vehículos exentos mediante un sistema “clean screening”²¹, que permita su fiscalización en la vía pública con equipos de sensor remoto (RSD), a mínimo costo.

La introducción de un estándar Euro VI en buses del Transantiago presenta una alta costo eficiencia, debido a los considerables perfeccionamientos en el control de NOx en comparación a buses más antiguos Euro V y a la incorporación de filtros de partículas. Sin embargo, para aprovechar las ventajas de esta tecnología es necesario incorporar en la regulación, además de los límites de emisión otras definiciones normativas tales como diagnóstico a bordo, durabilidad, medición de emisiones en ruta (PEMS), entre otros. Por otra parte, es evidente que mayores exigencias como la introducción de un porcentaje de buses de cero y baja emisión en la flota, no es socialmente conveniente desde la perspectiva económica. Si bien es cierto que esta tecnología permite una mayor reducción de emisiones, los costos de inversión y operación aún son altos con respecto a tecnologías convencionales. Una introducción acotada podría aportar a la difusión de las medidas del plan, demostrar las prestaciones de esta tecnología en condiciones locales y promover en la población una mayor conciencia ambiental, sin embargo, no se recomienda su uso extendido como medida de descontaminación.

Por último, la aplicación de los límites finales de ASM y maquinaria fuera de ruta, corresponde a las medidas más eficientes del plan. En este caso se justifica su aplicación anticipada. Cabe destacar, que los resultados de la evaluación técnico-económica dependen del cumplimiento de las medidas propuestas por lo que la fiscalización eficiente es especialmente relevante. En particular, para ASM se debe tener en cuenta las vulnerabilidades del sistema de inspección y mantenimiento, como la calidad de los convertidores de reposición, reparaciones momentáneas para aprobar la revisión, entre otros. Mediciones en ruta con RSD revelaron, en los vehículos catalíticos más antiguos, mayores emisiones que las observadas en sus pruebas ASM [Geasur 2013]. En opinión del consultor, sistemas como el control en ruta a través de RSD son necesarios para asegurar que medidas como ASM cumpla con los objetivos previstos.

En cuanto a maquinaria fuera de ruta, la gran eficiencia de esta medida radica en que se trata de un sector históricamente no regulado en previos planes de descontaminación. Altas tasas de emisión, correspondientes a tecnologías obsoletas en países de referencia para esta industria como Europa o Estados Unidos, explican el alto impacto de este sector emisor. Un programa de reacondicionamiento como el propuesto, a pesar del alto costo que involucra, representa una solución costo eficiente.

²¹ Programas “Clean Screening” se han implementado en Estados Unidos y permiten eximir de la Inspección de Emisiones a los vehículos limpios medidos con RSD.

8. ANEXOS

8.1 MODELACIÓN DE EMISIONES PARA MAQUINARIA FUERA DE RUTA

Para el cálculo de las emisiones provenientes de la maquinaria fuera de ruta se utilizó la siguiente expresión para el factor de emisión (EF):

$$EF_{aj}(HC, CO, NOx) = EF_{EE} \cdot TAF \cdot FD \quad \text{Ecuación 12}$$

Dónde:

EF_{aj} : Factor de Emisión ajustado por operación transiente y deterioro, [g/kW-hr],

EF_{EE} : Factor de Emisión en estado estacionario de un equipo nuevo (hora cero), [g/kW-hr],

TAF : Factor de ajuste transiente para Tier 1 a Tier3, depende del tipo de operación de la maquinaria. (Tier 4 TAF = 1)

FD : Factor de Deterioro depende del envejecimiento del motor [adimensional].

En la expresión anterior EF_{EE} , corresponde típicamente al valor de certificación del motor, al valor límite de la norma o a valores experimentales. Para EPA se usa típicamente el valor de certificación de las emisiones medidas en las pruebas de dinamómetro de motor.

Para el material particulado se considerará una corrección por el contenido de azufre como sigue:

$$EF_{aj}(MP) = EF_{EE} \cdot TAF \cdot FD - S_{MPaj} \quad \text{Ecuación 13}$$

Dónde:

S_{MPaj} : Ajuste del MP por el contenido de azufre en el combustible [gr/kW-hr].

Este ajuste representa la variación del contenido de azufre en el combustible comercial respecto del utilizado para la certificación, el que se utiliza para obtener los valores de EF de los equipos nuevos (EF_{EE}).

A su vez la expresión para el ajuste por contenido de azufre S_{MPaj} , se entrega a continuación.

$$S_{MPaj} = BSFC \cdot TAF \cdot 7,0 \cdot soxcnv \cdot 0,01 \cdot (soxbas - soxds) \quad \text{Ecuación 14}$$

Dónde:

$BSFC$: Consumo específico de Combustible al Freno, [g/kW-hr]

7,0 : Gramos de sulfato de MP / gramos de azufre en MP

$soxcnv$ ²² : Gramos de Azufre en MP/gramos de Azufre en combustible Consumido.

0.01 : Conversión Porcentaje a Fracción

$soxbas$ ²³: Contenido de azufre usado en el combustible de Certificación [%].

$soxds$ ²⁴: Contenido de Azufre en el Combustible de Evaluación [%].

²² $soxcnv = 0,02247$ (Tier 0 a Tier 4A); $soxcnv = 0,3$ (Tier 4)

²³ $soxbas = 0,33\%$ (Tier 0 a Tier 1); $soxbas = 0,2\%$ (Tier 2 a Tier 3); $soxbas = 0,05$ (Tier 4N); $soxbas = 0,0015$ (Tier 4)

Los factores de emisión de CO₂ y SO₂, por lo general son calculados en base al consumo de combustible específico del freno (BSFC). A continuación se presentan las ecuaciones para el cálculo de los factores de emisión:

$$EF(CO_2) = (BSFC_{adj} - HC_{adj}) \cdot 0,87 \cdot (44/12) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$EF(SO_2) = (BSFC_{adj} \cdot (1 - soxcnv) - HC_{adj}) \cdot 0,01 \cdot soxdsl \cdot 2 \quad \text{Ecuación 16}$$

EF(CO ₂)	: Factor de emisión de CO ₂ en [g/kW-hr]
BSFC _{adj}	: consumo de combustible ajustado por factor transiente en [g/kW-hr]
HC _{adj}	: Factor de emisión de HC ajustado por factor transiente en [g/kW-hr]
0,87	: Fracción de masa de carbono del diésel
44/12	: Proporción de CO ₂ en masa a la masa de carbono
EF(SO ₂)	: Factor de emisión de SO ₂ en [g/kW-hr]
Soxcnv	: Gramos de Azufre en MP/gramos de Azufre en combustible Consumido.
0,01	: Factor de conversión de porcentaje a fracción
Soxdsl	: Contenido de Azufre en el Combustible de Evaluación [%]
2	: Gramos de SO ₂ formados a partir de un gramo de azufre

²⁴ Soxdsl = 0,0015 (Región Metropolitana); Soxdsl = 0,005 (Resto del país)

8.2 INFORMACIÓN UTILIZADA

Tabla 8.1 Precios sociales 2015 de automóviles livianos y medianos y motocicletas

Tipo Vehículo	Diesel	Gasolinero
Automóviles medianos	15,200	13,200
Automóviles livianos	13,000	8,800
Motocicletas	0	3,500

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.2 Precios 2015, Camiones por tipo y por Norma.

Tipo	Norma	Precio [CLP \$]
Camiones-Liviano	Sin Norma	\$ 3.212.821,00
	Euro I	\$ 5.020.225,00
	Euro II	\$ 7.322.139,00
	Euro III	\$ 9.158.188,00
	Euro IV	\$ 10.853.477,00
	Euro V	\$ 12.767.218,00
Camiones-Mediano	Sin Norma	\$ 5.911.945,00
	Euro I	\$ 8.525.613,00
	Euro II	\$ 13.273.107,00
	Euro III	\$ 16.591.000,00
	Euro IV	\$ 18.925.000,00
	Euro V	\$ 20.151.000,00
Camiones-Pesado	Sin Norma	\$ 6.977.000,00
	Euro I	\$ 13.000.000,00
	Euro II	\$ 21.998.000,00
	Euro III	\$ 28.386.000,00
	Euro IV	\$ 33.000.000,00
	Euro V	\$ 36.666.667,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.3 Costo mantención Filtro Partículas vehículos Pesados.

CCF8 (Simple)	Combustible	Norma	MANTENIMIENTO
			CLP \$/km
Buses Urbanos-Articulado	Diesel	Euro III con filtro	\$ 8,30
Buses Urbanos-Articulado	Diesel	Euro VI	\$ 8,30
Buses Urbanos-Articulado	Diesel	Euro VI - HIBRIDO	\$ 8,30
Buses Urbanos-Rígido	Diesel	Euro III con filtro	\$ 4,68
Buses Urbanos-Rígido	Diesel	Euro VI	\$ 4,68
Buses Urbanos-Rígido	Diesel	Euro VI - HIBRIDO	\$ 4,68
Buses Urbanos-Turismo	Diesel	Euro III con filtro	\$ 4,68

Buses Urbanos-Turismo	Diesel	Euro VI	\$	4,68
Buses Urbanos-Turismo	Diesel	Euro VI - HIBRIDO	\$	4,68
Camiones-Liviano	Diesel	Euro III con filtro	\$	9,80
Camiones-Mediano	Diesel	Euro III con filtro	\$	8,97
Camiones-Pesado	Diesel	Euro III con filtro	\$	12,67

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.4 Precios 2015, Buses por tipo y por norma

TIPO COMBUSTIBLE	NORMA	LARGO	TIPO BUS	USD ⁽¹⁾
DIESEL	EURO III	12 MT	RIGIDO	USD 180.000
DIESEL	EURO III	18 MT	ARTICULADO	USD 250.000
DIESEL	EURO V	12 MT	RIGIDO	USD 200.000
DIESEL	EURO V	18 MT	ARTICULADO	USD 270.000
DIESEL / ELECTRICO (HIBRIDO)	EURO V - HIBRIDO	12 MT	RIGIDO	USD 280.000
DIESEL / ELECTRICO (HIBRIDO)	EURO V - HIBRIDO	18 MT	ARTICULADO	USD 350.000
DIESEL	EURO VI	12 MT	RIGIDO	USD 230.000
DIESEL	EURO VI	18 MT	ARTICULADO	USD 310.500
DIESEL / ELECTRICO (HIBRIDO)	EURO VI - HIBRIDO	12 MT	RIGIDO	USD 322.000
DIESEL / ELECTRICO (HIBRIDO)	EURO VI - HIBRIDO	18 MT	ARTICULADO	USD 402.500

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.5 Costo consumo combustible por km.

CCF8 (Simplificado)	Combustible	Norma	UREA
			CLP \$/km
Buses licitado urbanos-Articulado	Diésel	Euro V	\$ 18,1
Buses licitado urbanos-Articulado	Diésel	Euro V - HIBRIDO	\$ 12,7
Buses licitado urbanos-Articulado	Diésel	Euro VI	\$ 17,4
Buses licitado urbanos-Articulado	Diésel	Euro VI - HIBRIDO	\$ 12,2
Buses Urbanos-Rígido	Diésel	Euro V	\$ 14,0
Buses Urbanos-Rígido	Diésel	Euro V - HIBRIDO	\$ 9,8
Buses Urbanos-Rígido	Diésel	Euro VI	\$ 13,5
Buses Urbanos-Rígido	Diésel	Euro VI - HIBRIDO	\$ 9,4
Buses Urbanos-Turismo	Diésel	Euro V	\$ 10,3
Buses Urbanos-Turismo	Diésel	Euro V - HIBRIDO	\$ 7,2
Buses Urbanos-Turismo	Diésel	Euro VI	\$ 9,9
Buses Urbanos-Turismo	Diésel	Euro VI - HIBRIDO	\$ 14,1
Camiones-Liviano	Diésel	Euro V	\$ 4,3
Camiones-Mediano	Diésel	Euro V	\$ 6,9
Camiones-Pesado	Diésel	Euro V	\$ 11,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.6 Costo de instalación filtro, por rango potencia del motor

Rango potencia (kW)	< 18	18 - 37	37 - 75	75 - 130	130 - 560
Costos (USD)	1127	1353	1691	2029	2818
Ajustados (USD)	564	676	845	1015	1409

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.7 Costo mantención Filtro Partículas.

Rango potencia (kW)	< 18	18 - 37	37 - 75	75 - 130	130 - 560
Mantenimiento (USD)	225	338	564	676	845
Limpieza DPF (USD)	113	169	338	564	1.353
Total (USD/1000 horas)	338*FA	507*FA	902*FA	1.240*FA	2.198*FA

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.8 Tasas de retiro. Situación base.

Antigüedad	Automóviles-Comerciales	Automóviles-Pasajeros	Motocicletas
0	0.0%	0.0%	0.0%
1	0.0%	0.0%	0.0%
2	5.4%	4.7%	20.8%
3	5.4%	4.7%	20.8%
4	5.4%	4.7%	20.8%
5	6.3%	3.0%	18.7%
6	6.3%	3.0%	18.7%
7	6.3%	3.0%	18.7%
8	6.3%	3.0%	18.7%
9	6.3%	3.0%	18.7%
10	6.3%	3.0%	18.7%
11	6.3%	3.0%	18.7%
12	7.0%	5.3%	7.6%
13	7.0%	5.3%	7.6%
14	7.0%	5.3%	7.6%
15	7.0%	5.3%	7.6%
16	7.0%	5.3%	7.6%
17	7.0%	5.3%	7.6%
18	7.0%	5.3%	7.6%
19	7.0%	5.3%	7.6%
20	7.0%	5.3%	7.6%
21	7.0%	5.3%	7.6%
22	13.3%	15.6%	14.8%
23	13.3%	15.6%	14.8%
24	13.3%	15.6%	14.8%
25	13.3%	15.6%	14.8%
26	13.3%	15.6%	14.8%
27	13.3%	15.6%	14.8%
28	13.3%	15.6%	14.8%
29	13.3%	15.6%	14.8%
30	13.3%	15.6%	14.8%
31	13.3%	15.6%	14.8%
32	15.7%	16.2%	12.8%
33	15.7%	16.2%	12.8%
34	15.7%	16.2%	12.8%
35	15.7%	16.2%	12.8%
36	15.7%	16.2%	12.8%
37	15.7%	16.2%	12.8%
38	15.7%	16.2%	12.8%
39	15.7%	16.2%	12.8%
40	15.7%	16.2%	12.8%
>40	7.2%	13.0%	2.7%

Fuente: Elaboración propia en base a partir de [Estrategia 2012]

Tabla 8.9 Incremento de ingreso de vehículos nuevos al parque respecto a situación base. Año 2020.

	Disminución años de antigüedad		
	1	2	3
Automóviles-Comerciales-Liviano	13%	34%	55%
Automóviles-Comerciales-Mediano	10%	27%	47%
Automóviles-Pasajeros-Liviano	11%	29%	49%
Motocicletas	6%	14%	20%

Fuente: Elaboración propia

8.3 ANÁLISIS DISTRIBUTIVO

El análisis distributivo requirió de la siguiente información:

- Valoración (UF por $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de beneficios según grupo de edad (niños, adultos y adultos mayores), previsión (FONASA, Isapre, particular u otro) y efecto (p. ej. admisiones hospitalarias, mortalidad prematura).
- Asignación de tipo de costo (disutilidad, costos médicos y productividad perdida) según grupo de edad y efecto.
- Relación entre tipo de agente (población, salud privada y Estado), tipo de costo y previsión (ver **Tabla 8.10**)

A partir de la información anterior se estimó la distribución de beneficios en salud presentada en el capítulo de análisis distributivo

Tabla 8.10. Relación entre tipo de agente, tipo de costo y previsión

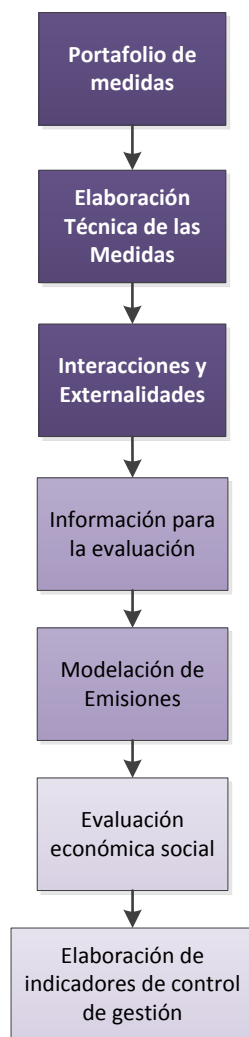
Previsión	Costos Médicos			Disutilidad			Productividad Perdida		
	Estado	Población	Salud privada	Estado	Población	Salud privada	Estado	Población	Salud privada
FONASA	100%	0%	0%	0%	100%	0%	70%	30%	0%
ISAPRE	0%	0%	100%	0%	100%	0%	0%	30%	70%
OTRO	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%
PARTICULAR	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%

CAPITULO II: ANTECEDENTES TECNICOS

9. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA GENERAL

Para el desarrollo metodológico se han definido los siguientes seis pasos, agrupados en tres áreas de trabajo, conforme se señalan en la siguiente Figura:

Figura 9.1 Esquema Metodológico



Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de esta metodología se generará una ficha con el resumen de los aspectos relevantes de la medida como la que se muestra a continuación:

Tabla 9.1 Ficha Resumen para cada Medida

Elaboración Técnica
ZONA DE BAJA EMISIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Anillo de restricción. • Estándar de emisión mínimos. • Cargo por entrar a la ZBE. • Mecanismos de control por incumplimiento e impugnaciones. • Tecnologías de abatimiento que se permitan en la ZBE. • Sistemas de certificación de las tecnologías de abatimiento • Requerimientos de fiscalización. • Mecanismos de financiamiento. • Fuentes de Información.
Información para la Evaluación
<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de reemplazo camiones ($\Delta FE(v)_{ikl}, \Delta C_{jkl}$, Red Vial afectada). • Tasa de reacondicionamiento ($\Delta FE(v)_{ikl}$, Red Vial afectada). • Tasa de reasignación de flujo arcos zona y arcos no zona ($\Delta F_{jkl}, \Delta C_{jkl}$, Red Vial, velocidad). • Sensibilidad al estándar de emisiones (mínimo y exigente) • Sensibilidad al cargo (alto, regular y bajo). • Sensibilidad al perímetro (grande/pequeño). • Sensibilidad tipo vehículos (camiones, buses no urbanos). • Sensibilidad a los supuestos. • Costos incrementales inversión ($\Delta cost_m$). • Costos incrementales operación y mantenimiento ($\Delta cost_m$). • Costos de recaudación ($\Delta cost_m$). • Costos de Fiscalización ($\Delta cost_m$). • Modelo simplificado de Costos.
Proyección Emisiones
<ul style="list-style-type: none"> • E_{ijkq} Línea Base para el año de proyección q (2015-2025). <p>Análisis de Escenarios y sensibilidad con proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • E'_{ijknpq} Emisiones con Medida n escenario p. • ΔE_{ijknpq} • Selección de escenario a Evaluar para la medida n. • Análisis de sensibilidad de los supuestos para la medida n.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describe cada paso metodológico.

9.1 PORTAFOLIO DE MEDIDAS

Para alcanzar el propósito del presente estudio se requiere primeramente consolidar el portafolio de medidas a evaluar. Conforme las Bases Técnicas del Estudio se plantean 6 medidas mínimas, 4 de las cuales están previamente definidas, mientras que las otras dos deben ser propuestas por el Consultor a partir del proyecto MAPS-Chile. Adicionalmente es posible proponer otras medidas por parte del consultor.

Respecto de las medidas seleccionadas de MAPS-Chile, estas deben considerar niveles de factibilidad y promedios anuales de reducción de CO_{2eq} medio y alto. El Consultor considera que un criterio de selección adicional debiera ser el impacto o co-beneficio en contaminantes locales.

En cuanto a una medida adicional, hace sentido para el Consultor considerar la regulación o el control de las emisiones de Maquinaria Móvil Fuera de Ruta (MMFR), como una medida a evaluar por sí misma y no como parte de la Zona de Baja Emisión. En la tabla que sigue se explican las medidas finalmente seleccionadas en el portafolio.

Tabla 9.2 Portafolio de medidas

Medida ²⁵	Descripción
1.- Zona de baja emisión	Mínima Requerida en las Bases de Licitación
2.- Aplicación Euro VI/EPA2010 para buses de Transantiago	Mínima Requerida en las Bases de Licitación
3.- Exigencia de un porcentaje de tecnología de cero y baja emisión para el total de la flota del sistema de transporte público (Transantiago)	Mínima Requerida en las Bases de Licitación
4.- Restricción vehicular para vehículos con sello verde	Adicional acordada con la contraparte
5.- Aplicación límites finales ASM	Adicional acordada con la contraparte
6.- Límites de emisión con RSD ("limpio y sucio") para vehículos livianos y pesados	Mínima Requerida
7.- Programa reducción emisiones para Maquinaria Construcción.	Mínima Requerida
8.- MAPS-Chile: Implementación corredores Transporte Público	Ofrecida por el Consultor

Fuente: Elaboración propia.

En línea con lo anterior, el consultor aborda, por las razones expuestas en cada caso, el análisis de estas ocho medidas, abordadas con el nivel de profundidad solicitado en las Bases de Licitación y expuesto en la oferta técnica.

²⁵ Las medidas MAPS-Chile 1: Vehículos de Cero y Baja emisión, fue comprometida por el Consultor pero finalmente no considerada por la Contraparte en el portafolio final de medidas para el estudio.

9.2 ELABORACIÓN TÉCNICA DE LAS MEDIDAS

Para la elaboración técnica de las medidas se considera la discusión con la contraparte del estudio, la experiencia del equipo consultor en anteriores estudios vinculados a la evaluación técnica y también económica de buena parte del portafolio de medidas definido, agregando la revisión de los antecedentes existentes de la experiencia internacional mediante la siguiente bibliografía disponible por el Consultor, la que se detalla a continuación:

Tabla 9.3 Bibliografía de referencia para la elaboración técnica de las medidas

N°	TITULO
1	"Análisis de la Eficacia Energética en el Transporte Interurbano de Carga", CIMA Ingeniería, 2007
2	"Análisis de Regulación sobre el Transporte de Carga Urbana y su Impacto en la Cadena Logística", 3er Informe de avance, DICTUC 2009.
3	"DOCUMENTO DE TRABAJO Nº16, EVALUACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LA RESTRICCIÓN AL TRANSPORTE DE CARGA EN EL ANILLO AMÉRICO VESPUCCIO, DOÑA-DIAZ, CCHC.
4	"Low Emission Zone", Lucy Sadler, Air-Quality Lead Officer.
5	How TfL determine whether your vehicle meets the emissions standards for LEZ", www.Tfl.gov.uk/LEZ
6	Emissiones Transporte de carga en Vía Pública, Área operaciones, sede Centro, PNFT, Subtrans, 2009
7	LEC Adaptation Technical Requirements, Mayor of London, 2007
8	The London Low Emission Zone Feasibility Study Phase I Report of The Steering Group". Grater London Authority
9	The London Low Emission Zone Feasibility Study, Summary of The Phase II Report, Grater London Authority
10	CARB (2009-A). California's Zero Emission Vehicle Program. California Air Resources Board. June 2009
11	CARB (2009-B). California Exhaust Emission Standards And Test Procedures For 2009 And Subsequent Model Zero-Emission Vehicles And Hybrid Electric Vehicles, In The Passenger Car, Light-Duty Truck And Medium-Duty Vehicle Classes. California Air Resources Board.
12	CARB (2009-C). Informational Update On Zero Emission Vehicle Regulation Revisions. California Air Resources Board.
13	CARB (2010). Preliminary Discussion Paper – Amendments To California's Low- Emission Vehicle Regulations For Criteria Pollutants – Lev III. State Of California Air Resources Board. 2010
14	EPA (2010-A). Interim Joint Technical Assessment Report (2010). Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards for Model Years 2017-2025. EPA
15	NRC (2010). Assessment of Fuel Economy Technologies for Light-Duty Vehicles. National Research Council
16	Technical Assessment Report (2010). Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards for Model Years 2017-2025. Interim Joint Technical Assessment Report. EPA, NHTSA, CARB
17	Guidance on Use of Remote Sensing for Evaluation of I/M Program Performance, [EPA 2002].
18	Sajal S. Pokharel, Gary A. Bishop and Donald H. Stedman. Fuel-Based On-Road Motor Vehicle Emissions Inventory for the Denver Metropolitan Area. [Inventory RSD].
19	Denver Colorado. On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in the Denver Area: Year 6. Gary A. Bishop and Donald H. Stedman. [University of Denver 2007]
20	RSD-ASM Correlation, N. Vescio et al. [ESP2007]
21	CAMPAÑAS DE MONITOREO AMBIENTAL A DISTANCIA DE VEHÍCULOS, [GOBIERNO DISTRITO FEDERAL 2006].
22	Analysis of a Remote Sensing Clean Screen Program in Arizona, [University of California 2008].
23	A Decade of On-road Emissions Measurements, GARY A . BISHOP, [EST 2008].

N°	TITULO
24	Use of remote sensing measurements to evaluate vehicle emission monitoring program ASM, [Elsevier 2003].
25	Evaluation of the COPERT III emission model with on-road optical remote sensing measurements, M. Ekström, [Elsevier 2004].
26	Worldwide remote sensing activity, [ESP 2012].
27	User Guide and Description For Interim Remote Sensing Program Credit Utility, [EPA 1996].
28	BASES DE DATOS MAQUINARIA FUERA DE RUTA IMPORTADA. ADUANAS 2000-2012
29	DANISH MINISTRY OF ENVIRONMENT. FUEL USE AND EMISSION FROM NON ROAD MACHINE IN DENMARK. 2006
30	DIRECTIVA 97/68/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO.
31	EXHAUST AND CRANKCASE EMISSION FACTORS FOR NONROAD ENGINE MODELING COMPRESSION-IGNITION, [EPA 2004]
32	INFORME MACROECONOMÍA Y CONSTRUCCIÓN, [CCHC 2013].
33	MEDIAN LIFE, ANNUAL ACTIVITY, AND LOAD FACTOR VALUES FOR NONROAD ENGINE EMISSIONS MODELING, [EPA 2004A]
34	NON-ROAD MOBILE SOURCES AND MACHINERY, [CORINAIR 2010].
35	REGISTRO, CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE CONTROL DE EMISIONES PARA LA MAQUINARIA FUERA DE RUTA EN LA RM, [CDT 2012].

Fuente: Elaboración propia.

En el punto 3.2 NIVEL DE DETALLE METODOLÓGICO, se precisan las consideraciones específicas en la elaboración de cada medida del portafolio. El resultado en este paso metodológico es el conjunto de especificaciones que para cada medida definirán los escenarios a evaluar.

9.3 INTERACCIONES Y EXTERNALIDADES

Como parte de la discusión técnica para la modelación del impacto de emisiones de cada medida es necesario considerar el impacto de la medida en la fuente y la relación de esta con las otras fuentes móviles. Un ejemplo, es la construcción de corredores de transporte público que agregan espacio vial exclusivo a los buses y pueden restar espacio al transporte privado, generando un impacto en las velocidades medias de éstos últimos y en las emisiones.

A su vez, una medida puede impactar en otro modo de transporte modificando la demanda y modificando la partición modal. Es el caso también de los corredores de transporte público que afectan al número de viajes en transporte privado.

Así también la superposición o sinergia de medidas implementadas es un efecto que se debe considerar. Es decir, medidas que aplicadas simultáneamente pueden resultar menos o más que la suma de sus efectos individuales, de tal suerte de hacer consideraciones específicas por ejemplo entre aquellas medidas que apliquen a la misma fuente y que combinadas representen una disminución del potencial de reducción de emisiones con respecto al caso base. Para esto efecto, la información recabada de eficiencia en reducción de

emisiones de cada medida por separado se ajustará suponiendo un orden lógico en su implementación, a acordar con la contraparte técnica. Esto obliga a la simulación combinada y desagregada de dichas medidas para obtener los valores netos de impacto para el portafolio en cualquiera de sus combinaciones.

Otro caso lo representan aquellas medidas que en su implementación producen efectos no deseados o externalidades negativas o positivas en un ámbito distinto del problema que se desea abordar.

Como resultado de esta etapa se obtendrá el cuadro general de interacciones y externalidades de las medidas que permita incorporar estas consideraciones, hasta donde sea posible, en la estimación de costos, en la modelación de emisiones y en la evaluación final del portafolio de medidas.

9.4 INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN

En este paso metodológico se detallarán los antecedentes requeridos para la evaluación económica, por una parte aquellos antecedentes de factores de emisión, composición tecnológica, niveles de actividad, etc. para la modelación de emisiones, y por otra los costos de las medidas.

9.5 MODELACIÓN DE EMISIONES

Para el desarrollo de la estimación de emisiones cada uno de las medidas, se utilizará el siguiente modelo simplificado:

$$E_{i,j,k} = \sum_{i,j,k} (NA_i * CT_{i,j,k} * FE(v)_{i,j,k} * FA_{i,j,k}) \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

E : Emisiones según tipo de vehículo *i* (*i* = vehículos particulares, vehículos comerciales de uso de empresas, camiones livianos, etc.), de combustible *j* (*j* = Diesel, gasolina, híbrido, etc.) y nivel de emisiones *k* (*k* = Euro I, Euro II, etc.)

NA : Nivel de Actividad total del tipo de vehículo *i*.

CT : Composición tecnológica según el tipo de vehículo *i*, de combustible *j* y de emisiones *k*.

FE(v) : Factor de emisión de escape del motor, en función de la velocidad media *v*, para el tipo de vehículo *i*, de combustible *j* y de emisiones *k*.

FA : Factor de ajuste por año fabricación según el tipo de vehículo *i*, de combustible *j* y de emisiones *k*.

El nivel de actividad corresponde al obtenido en las simulaciones Modem, proyectado para cada uno de los años del periodo de evaluación, el cual es distribuido según la composición tecnológica de la flota en cada una de las categorías vehiculares CCF8 de MODEM.

Tabla 9.4 Categorías vehiculares consideradas y su construcción en formato CCF8-MODEM, simplificado

Categoría Vehículos (CCF6-MODEM)	Combustible	Norma	CCF8-MODEM
Camiones livianos	gasolineros	sin norma	(CCF6)x(Combustible)x(Norma)
Camiones medianos	diésel	no catalítico	
Camiones pesados		Euro1	
Motocicletas de cuatro tiempos		Euro2	
Motocicletas de dos tiempos		Euro3	
Vehículos comerciales de uso de empresas		Euro4	
Vehículos comerciales de uso particular		Euro5	
Vehículos de alquiler		Euro6	
Vehículos particulares			
Buses licitados urbanos			
Buses licitados urbanos Rígidos			
Buses licitados urbanos Articulados			

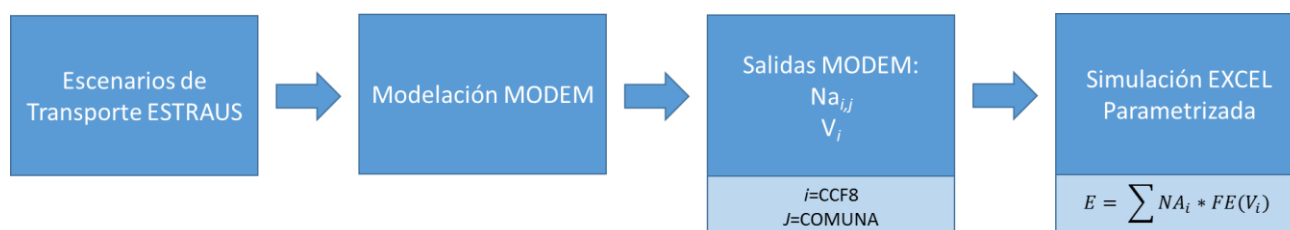
Fuente: Elaboración propia.

Dado que en la operación real los vehículos presentan deterioro en sus emisiones y condiciones específicas de mantenimiento que difieren de las condiciones de emisión establecidos en COPERT, el modelo propuesto considera un factor de ajuste a los Factores de Emisión, según los resultados del estudio [Geasur 2015]. Para mayor detalle ver Anexo A en CD adjunto

La propuesta principal es desarrollar un modelo propio construido en planilla Excel que permita generar cambios en la información de entrada a partir de la parametrización de las medidas y sus valores construidos a partir de los criterios técnicos de emisiones y de transporte, permitiendo de esta forma aplicar sensibilización a las medidas y evaluar su impacto en las variables técnicas del modelo de emisiones y su proyección (composición tecnológica, factores de emisión, nivel de actividad, etc.).

Para lo anterior se utilizarán las modelaciones de MODEM como una herramienta que entregue las variables básicas del modelo tales como Nivel de Actividad por tecnología (CCF8) y comuna, y velocidades medias por tecnología. Para ello se considerarán las modelaciones de transporte ESTRAUS disponibles, que correspondan a los escenarios de evaluación de las medidas.

Figura 9.2 Enfoque general para cálculo de emisiones



Fuente: Elaboración propia.

Contaminantes

Se considera la simulación de las emisiones de escape de los vehículos para los siguientes contaminantes:

- MP10/MP2,5/PTS (Partículas)
- CO (Monóxido de Carbono)
- NOx (Óxidos de Nitrógeno)
- SOx (Óxidos de Azufre)
- NH3 (Amoníaco)
- CO2 (Dióxido de Carbono)
- CE (Carbono Elemental)

Factores de emisión

Se utilizan en la simulación los Factores de Emisión en la versión [COPERT IV 2013]²⁶, que es la versión más reciente de COPERT IV.

Se consideran también los factores de ajuste obtenidos para dichos factores, en el estudio GEASUR 2015, donde se estimaron correcciones producto de las mediciones con RSD realizadas en la Región Metropolitana por el Programa Nacional de Fiscalización del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Lo anterior considerando las emisiones reales de los vehículos en ruta y según norma y año de fabricación.

Composiciones tecnológicas

La participación de las distintas tipologías CCF6 y CCF8 en el flujo, fue estimada según las observaciones realizadas en la vía pública durante las mediciones con RSD realizadas por el Programa Nacional de Fiscalización del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, y según los resultados del estudio GEASUR 2015. Esto constituye una mejora por cuanto evalúa la real participación en el flujo y no a través del registro histórico en Planta de Revisión Técnica o Permisos de Circulación.

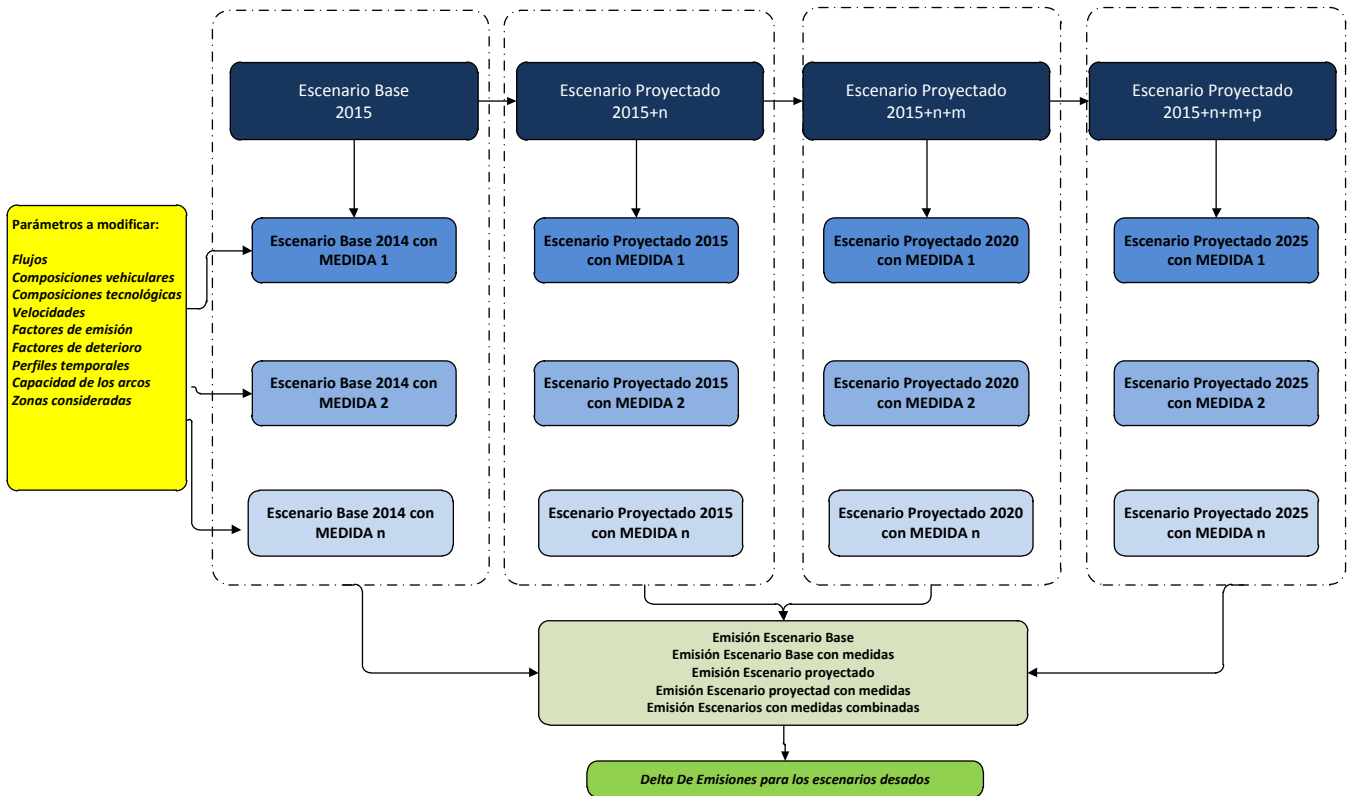
Construcción de escenarios

Para la evaluación de las medidas se construirán los escenarios a partir de una línea base que resulte de la proyección de la flota sin medida hasta el año 2025, considerando como año base el 2015. Básicamente se proyectarán los Niveles de Actividad, las Velocidades Medias, la Flota y la Composición Tecnológica, que constituyen la base del cálculo de emisiones.

A su vez, los escenarios con proyecto se construirán considerando el efecto de la medida en los Niveles de Actividad, las Velocidades Medias, la Flota, la Composición Tecnológica y los Factores de Emisión, para el periodo 2015-2025 evaluado.

En ambos casos los Niveles de Actividad y las Velocidades Medias se obtendrán a partir de la simulación MODEM de los escenarios de transporte con o sin proyecto.

²⁶ EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2013 update Sept 2014.



Fuente: Elaboración Propia.

Respecto a la proyección del parque se utilizará el Modelo de Proyección del Parque Vehicular de Chumacero & Quiroz (2007) y los resultados del estudio [Estrategia 2012], que consideran que la tasa de motorización presenta un incremento equivalente al PIB per cápita (elasticidad 1). Por tanto, para la realización de las proyecciones de ingresos de vehículos al país es necesario asumir un escenario para el PIB, considerar el crecimiento poblacional y la tasa de ingreso vehicular (TI).

Respecto al retiro de la flota se utilizarán las tasas de retiro del estudio [Estrategia 2012].

Construcción de línea base

Para la construcción de la línea de emisiones base se utilizaron los niveles de actividad de MODEM y los Factores de emisión de Copert IV 2013. Estos últimos para vehículos livianos y medianos son iguales a los simulados en las corridas MODEM 2012 para vehículos inferiores a Euro 4.

A pesar que los niveles de actividad y Factores de emisión son idénticos a los de la corrida MODEM, existen diferencias entre los Modelos, 1) el modelo simplificado utilizado en este proyecto, como su nombre lo indica es una simplificación a la infinidad de variables que tiene el modelo de transporte para la estimación de emisiones. Sin embargo, al considerar las mismas composiciones tecnológicas en ambos modelos y multiplicar por su correspondiente factor de emisión, el sesgo asociado a la simplificación es de un 5% aproximado (para el modelo de vehículos livianos, medianos y motos).

El modelo simplificado propuesto en este estudio se diferencia del Modelo MODEM en su corrida 2012 principalmente por:

- Diferentes composiciones tecnológicas, las composiciones tecnológicas utilizadas en este estudio para la modelación de emisiones es diferente a la utilizada en modem. Para el caso de los vehículos livianos y medianos, en este proyecto se consideran las composiciones vehiculares obtenidas por las campañas de mediciones de RSD.
- Utilización de Factores de ajuste, estos no son considerados en la modelación 2012.

Análisis comparativo de las composiciones tecnológicas

El siguiente análisis, tiene por objetivo el comparar el cambio en la composición tecnológica entre la composición utilizada actualmente por MODEM y la obtenida mediante campaña de medición con equipo RSD. Para ello, se presentan comparaciones para los vehículos particulares (que tienen mayor representatividad en número de vehículos) y camiones.

a) Vehículos particulares

Tabla 9.5: Composición tecnológica promedio para Vehículos Particulares.

CCF8_DESC	Gran Santiago	
	MODEM	RSD
Vehículos particulares a GNC Euro 1	0,01%	0,00%
Vehículos particulares diesel Euro 1	0,32%	0,56%
Vehículos particulares diesel Euro 3	0,20%	0,18%
Vehículos particulares diesel Euro 4	1,71%	2,29%
Vehículos particulares diesel Euro 5	0,72%	1,96%
Vehículos particulares diesel sin norma	0,00%	0,01%
Vehículos particulares eléctricos	0,02%	0,00%
Vehículos particulares gasolineros Euro 1	30,54%	23,24%
Vehículos particulares gasolineros Euro 3	34,00%	36,48%
Vehículos particulares gasolineros Euro 4	30,13%	34,20%
Vehículos particulares gasolineros no catalíticos	2,35%	1,07%
Vehículos particulares híbridos	0,00%	0,00%

Fuente: Elaboración propia

Las principales diferencias entre la composición tecnológica de MODEM y RSD son las siguientes:

- Para No Catalíticos, se observa que la participación proyectada en MODEM es mayor a la obtenida mediante RSD, exceptuando Chillán, en cuya localidad se obtiene que la participación por RSD para esta tecnología es mayor.
- Para todas las localidades, los vehículos Gasolineros representan el mayor porcentaje de participación (sobre el 90% del total de la composición tecnológica para Vehículos Particulares), sin embargo, si se

compara datos MODEM y RSD, se observa un aumento importante en participación de vehículos a Diésel por RSD.

- Se observa que por RSD aumenta la participación de tecnologías más nuevas (Euro 3, Euro 4, Euro 5) en comparación a participación MODEM, lo cual es consistente con el supuesto de que al ser mediciones actuales, debiera observarse una mayor participación de estas tecnologías al renovarse la flota.

b) Camiones Livianos

Para el caso de los camiones sólo se realizara la comparación para camiones livianos, además se compara con composición tecnológica obtenida por plantas de revisión técnica (utilizada en el modelo de este estudio) y RSD.

Tabla 9.6: Composición tecnológica promedio para Camiones Livianos.

CCF8	MODEM	RSD	PRT
Camiones livianos diesel Euro 1	8,67%	7,14%	14,70%
Camiones livianos diesel Euro 2	14,35%	26,56%	32,15%
Camiones livianos diesel Euro 3	72,59%	40,10%	33,81%
Camiones livianos diesel Euro 4	0,00%	24,83%	11,89%
Camiones livianos diesel sin norma	4,39%	1,37%	7,45%

Fuente: Elaboración propia

Se enumeran a continuación las principales diferencias entre ambas metodologías para la composición tecnológica:

- Para todas las localidades, MODEM subestima la participación de Euro 2.
- Para todas las localidades, MODEM sobreestima la participación de Euro 3.
- MODEM no considera la participación de Euro 4, el que ya cuenta con ceca del 20% de las observaciones RSD, en todas las regiones del estudio.

Comparación entre factor de ajuste y Factor emisión corregido

La comparación hecha en este punto utiliza los Factores de Ajuste obtenidos para cada categoría en el estudio [Geasur 2015].

a) Vehículos Particulares

En Tabla 9.7 se observa que, para Vehículos Particulares Diésel, no fue posible la construcción de FA, por lo que éstos campos presentan FA= 1. Con lo anterior, se obtiene que el Factor de Emisión Corregido es igual para ambos casos, que a su vez, es igual al valor entregado por COPERT IV para cada categoría.

Tabla 9.7: Comparación de Factor de Ajuste y de Emisión para Vehículos Particulares

Vehículos Particulares	FACTOR DE AJUSTE								FACTOR DE EMISION CORREGIDO (g/km)							
	HC prom		CO prom		NOx prom		MP2,5 prom		HC prom		CO prom		NOx prom		MP2,5 prom	
	RM	REG	RM	REG	RM	REG	RM	REG	RM	REG	RM	REG	RM	REG	RM	REG
Diesel sin norma	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,20	0,78	0,78	0,60	0,60	2,3E-01	2,3E-01
Diesel Euro 1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,06	0,06	0,52	0,52	0,68	0,68	6,3E-02	6,3E-02
Diesel Euro 3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,02	0,02	0,13	0,13	0,77	0,77	3,2E-02	3,2E-02
Diesel Euro 4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,01	0,01	0,12	0,12	0,64	0,64	3,2E-02	3,2E-02
Diesel Euro 5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,01	0,01	0,13	0,13	0,68	0,68	2,9E-03	2,9E-03
Gasolineros no catalíticos	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	8,07	9,43	2,75	2,75	31,73	31,73	1,75	1,75	1,4E-01	1,6E-01
Gasolineros Euro 1	4,73	4,58	3,62	4,02	3,11	3,13	18,54	24,66	1,01	0,98	7,67	8,51	0,95	0,95	6,0E-02	7,9E-02
Gasolineros Euro 3	4,72	6,14	1,90	2,71	1,84	2,37	3,93	7,34	0,08	0,11	0,77	1,10	0,15	0,19	5,0E-03	9,4E-03
Gasolineros Euro 4	1,00	1,00	1,00	1,09	1,00	1,13	1,00	1,00	0,01	0,01	0,17	0,18	0,07	0,08	1,3E-03	1,3E-03
Gasolineros Euro 5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,01	0,01	0,23	0,23	0,03	0,03	1,6E-03	1,6E-03

Fuente: Elaboración propia

b) Camiones Livianos

Para esta categoría, al igual que para categorías Diésel anteriores, se obtiene FA de magnitudes relativamente bajas. El máximo aporte para estos casos se reporta en Euro 4 para MP_{2,5}, en el cual por efecto del FA las emisiones predichas por COPERT aumentan su magnitud en cuatro veces.

Tabla 9.8: Comparación de Factor de Ajuste y de Emisión para Camiones Livianos

Camiones Livianos	FACTOR DE AJUSTE								FACTOR DE EMISION CORREGIDO (g/km)							
	HC prom		CO prom		NOx prom		MP2,5 prom		HC prom		CO prom		NOx prom		MP2,5 prom	
	RM	REG	RM	REG	RM	REG	RM	REG	RM	REG	RM	REG	RM	REG	RM	REG
Diesel sin norma	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,04	1,04	1,76	1,76	4,06	4,06	0,28	0,28
Diesel Euro 1	1,25	1,62	1,00	1,00	1,00	1,00	1,51	2,27	0,16	0,21	0,54	0,54	2,33	2,33	0,09	0,13
Diesel Euro 2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,02	0,02	0,30	0,30	1,63	1,63	0,01	0,01
Diesel Euro 3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,01	0,01	0,62	0,62	1,39	1,39	0,01	0,01
Diesel Euro 4	1,75	2,15	1,00	1,00	1,00	1,00	3,03	4,17	0,25	0,30	0,49	0,49	3,09	3,09	0,16	0,22
Diesel Euro 5	1,56	1,83	1,00	1,00	1,00	1,00	2,11	2,49	0,33	0,38	0,55	0,55	2,85	2,85	0,23	0,27

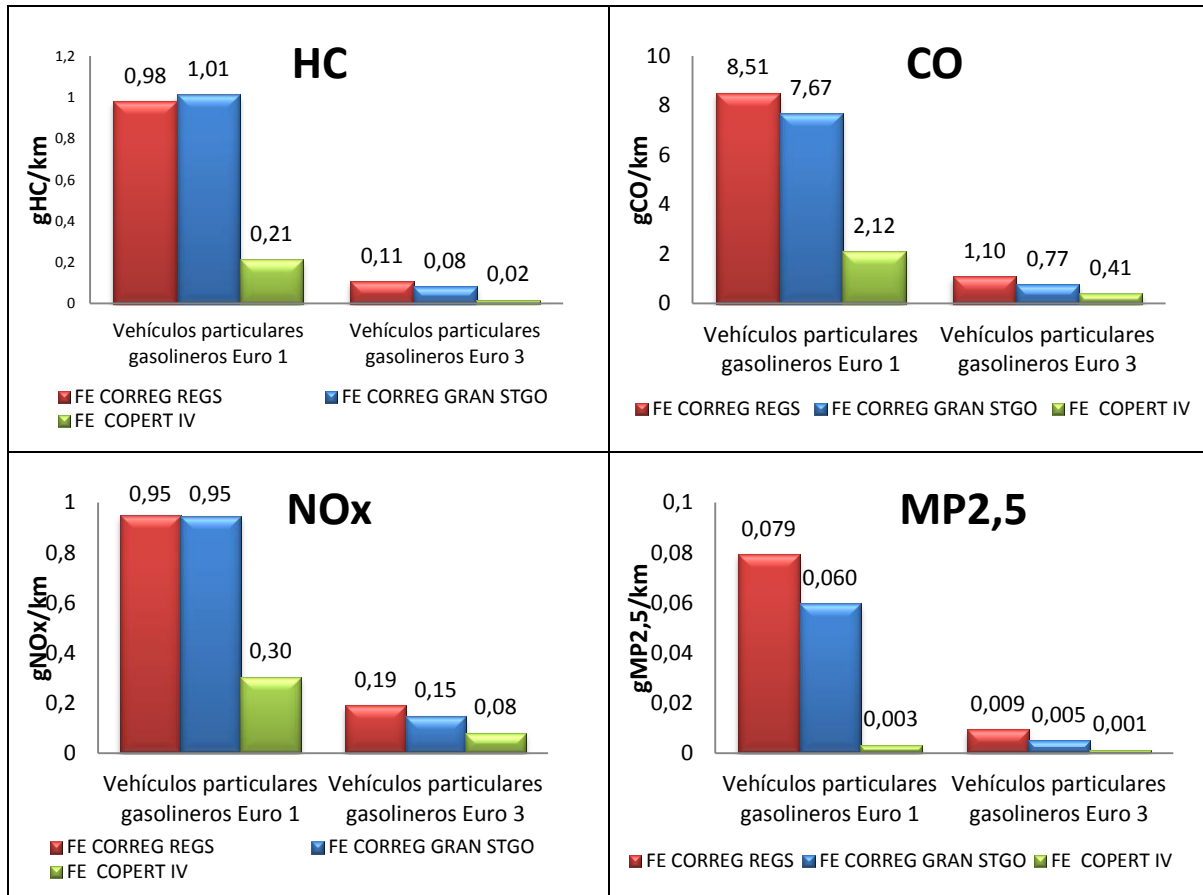
Fuente: Elaboración propia

Análisis comparativo de los factores de ajuste

En los gráficos a continuación, se presenta la comparación para Factores de Emisión corregidos (evaluados a velocidad promedio MODEM), obtenidos para los casos en que se encontró un modelo ajustado a la regresión lineal de datos. Para comparación, se presenta además el FE propuesto por COPERT.

a) Vehículos Particulares Gasolineros

Figura 9.3. Comparación FE para Vehículos Particulares Gasolineros.



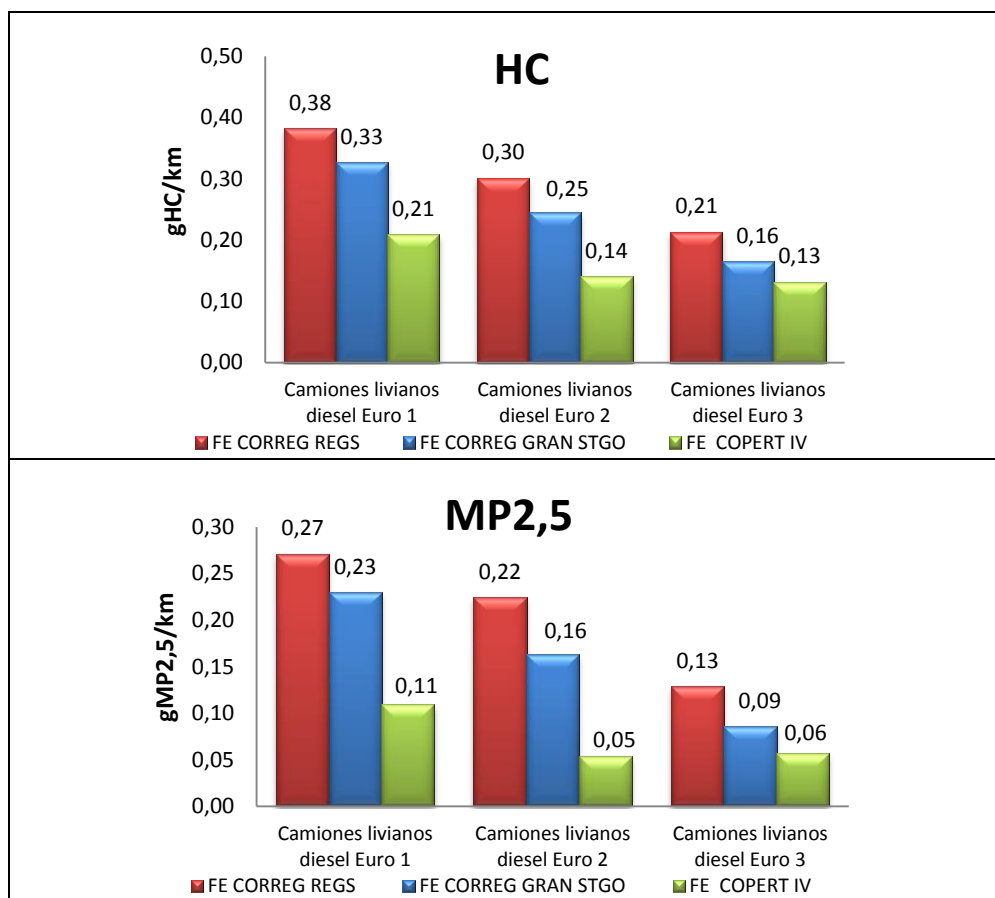
Fuente: Elaboración propia

Se observa que para la categoría se posee un importante incremento en las emisiones utilizando el FA propuesto, resultando lo anterior en mayores emisiones para Euro 1 en comparación con Euro 3. Para MP_{2,5}, se observa que hay un mayor aumento en emisiones en comparación a los demás contaminantes.

b) Camiones livianos diésel

En este caso, como se observa en el gráfico posterior, aumentan las emisiones para HC y MP_{2,5} en mayor magnitud que en Vehículos Comerciales Diésel (Euro 1 y Euro 3). Con respecto a Euro 4, las emisiones son casi iguales a COPERT.

Figura 9.4. Comparación FE para Camiones Livianos Diésel.



Fuente: Elaboración propia

Capacitación de planillas y modelos a Contraparte del estudio

Como parte de los términos de referencia y acuerdos con la contraparte del estudio, se realizaron dos capacitaciones a personal del departamento de economía ambiental y a la división de normas de calidad del aire.

La capacitación se llevó a cabo en los días 05 y 16 de noviembre del 2015. En el primer día se capacitó en los modelos de las medidas 2, 3, 4, 5 y 7. Durante el segundo día se completó el resto de medidas faltantes (medida 1).

9.6 EVALUACIÓN ECONÓMICA SOCIAL

En base a lo requerido por el Ministerio de Medio Ambiente se realizará una evaluación técnico-económica del portafolio de medidas seleccionadas. Como insumo básico de esta etapa, se incorporará la modelación de emisiones propuesta en la sección anterior en un modelo integrado que permita ejecutar un análisis de sensibilidad y/o incertidumbre en al menos variables como velocidad de flujo promedio por comuna y tipo de vehículo, para las distintas medidas a analizar.

La evaluación técnico-económica deberá relacionar reducciones en emisiones, con efectos en distintos receptores que reporten aumentos en el bienestar de la población en general. Para estos efectos, en primer lugar se identificarán los beneficios sociales asociados a las mejoras ambientales de las medidas consideradas, incluyendo los beneficios para la población, ecosistemas o especies directamente afectadas o protegidas conforme a lo dispuesto en el D.S. N° 39 de 2012 del MMA, asociados a la reducción de emisiones del portafolio de medidas propuesto.

Para el cálculo cuantitativo de beneficios se utilizará la metodología conocida como función de daño [USEPA, 1991] extendida de acuerdo con MMA (2013). En este caso, la función de daño concatena varios modelos incluyendo la estimación de la reducción de emisiones en el escenario con proyecto, la estimación de su efecto en la calidad del aire, la reducción en impactos ambientales en la salud de la población y del medio ambiente, y finalmente su valoración económica. De acuerdo al modelo general propuesto por Morgan en Glickman y Gough (2014) y asumiendo efectos multiplicativos, la siguiente expresión resume las etapas del modelo para la evaluación de los beneficios de la medida k del contaminante l en la comuna \bar{k} :

$$\text{Beneficio} = \sum_k \sum_l \sum_j \sum_i f_{\bar{k}k}(\Delta \text{Emisiones}_{\bar{k}l}) \cdot g_{\bar{k}ijk}(f_{\bar{k}k}, \text{exposicion}, \text{vulnerabilidad}) \cdot \text{Valoracion}_{ij}$$

Ecuación 18

Donde,

$g_{\bar{k}ijk}$: Reducción efecto i en el receptor j debido a mejoras en la calidad del aire en la comuna k

Valoracion_{ij} : Valoración social por reducción del efecto i en receptor j

$f_{\bar{k}k}$: Cambio en la calidad del aire comuna \bar{k} por reducción de emisiones l en comuna k

En el caso de beneficios para la población, la reducción de riesgos para la salud sin duda es una de los más relevantes. Se propone enfocar los esfuerzos de este estudio en analizar este impacto. En este caso, $g()$ relaciona mejoras en calidad del aire con reducciones en el riesgo relativo a la salud de la población. Para el caso de efectos a la salud se seguirá la metodología propuesta por [MMA 2013]. Se incluirá adicionalmente beneficios en visibilidad del ambiente según lo propuesto por [Rizzi et al 2014]. Para la modelación de incertidumbre de los resultados se considerará como insumo los lineamientos contenidos en [USEPA 2012].

En la formulación se puede apreciar que se requiere determinar el efecto de emisiones en la calidad del aire. Para esto se plantea utilizar un modelo de roll back simple que relacione emisiones del contaminante l en la comuna \bar{k} y concentración MP2.5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la comuna k . Siguiendo lo propuesto por MMA (2013) se aplicará en lo posible información local recabada por SECTRA²⁷ en el desarrollo de su modelo MODEC. Uno de los principales insumos de MODEC corresponde a una matriz fuente-receptor para el sector transporte, es decir, la relación entre emisiones y concentraciones en un sector específico de la R.M. con la calidad del aire en el resto de la ciudad.

²⁷ http://www.sectra.gob.cl/metodologias_y_herramientas_de_transporte/metodologia/moddec.html

Como ya fue detallado, se estimará los costos incrementales de inversión, operación y mantención de cada medida según los escenarios propuestos y acordados con la contraparte técnica, considerando su sistema de monitoreo y fiscalización. Los costos incrementales de cada una de las medidas serán incorporados al modelo evaluación técnico-económica considerando escenarios bajo medio y alto. Se analizará el tiempo óptimo de implementación de las medidas, y se realizarán recomendaciones técnicas con respecto a su gradualidad a nivel cualitativo sobre la factibilidad de implementación/penetración de las medidas consideradas.

Los resultados de la evaluación técnico-económica serán consolidados, presentando distintos indicadores de desempeño incluyendo efectos ambientales y económicos. Para este efecto se construirán distintos indicadores incluyendo los propuestos por la contraparte [\$/ton reducida] y [\$/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ reducido], Razón Beneficio-Costo [B/C] y otros que se estime convenientes para claridad de la exposición.

Finalmente, de acuerdo a lo recomendado por [MMA 2013], se realizará un análisis distributivo del impacto del portafolio de medidas, desde el punto de vista privado, social y fiscal. Para esto se modelará el impacto, tanto cuanto a beneficios como costos, en distintos grupos de la población según edad y nivel socioeconómico y en sectores productivos específicos como empresas de menor tamaño, según lo estipulado en la Ley 20.416. En esta etapa, se requerirá a la contraparte utilizar el modelo construido para estimación de beneficios en el marco del desarrollo de [MMA 2013].

Posteriormente, de acuerdo a lo solicitado en los términos de referencia de este estudio, se incorporará a la evaluación el impacto en equidad del portafolio de medidas. Para esto se construirá indicadores como los propuestos por [Farrow 2009], tales como curvas de Lorenz, curvas de distribución acumulada de costos y beneficios según nivel socioeconómico u otros a acordar con la contraparte técnica.

El beneficio asociado a reducciones en gases de efecto invernadero valorizado utilizando según lo propuesto [MDS 2013]. De manera adicional, en el caso de medidas que reduzcan el nivel de actividad en la R.M. se evaluarán co-beneficios asociados a reducciones en congestión, accidentes y ruido de acuerdo con las metodología simplificada propuesta por [Rizzi et al 2013].

El modelo desarrollado será documentado según lo solicitado y se capacitará a la contraparte técnica en su aplicación.

9.7 INDICADORES CONTROL DE GESTIÓN

Como se requiere en los términos de referencia se diseñara un sistema de control de gestión de las medidas contempladas en el portafolio y sus futuras actualizaciones, que simplifique su seguimiento, proponiendo indicadores, medios de verificación y metas de cumplimiento para los sectores y servicios responsables.

Para esto se recopilara información sobre las características técnicas y graficas de los sistemas vigentes en el Ministerio de tal manera de adaptar este nuevo sistema al modelo de control de gestión operado actualmente e integrarlo de manera idónea. Cabe destacar que el equipo consultor tiene vasta experiencia en el desarrollo de sistemas de registro de emisiones y reporte de indicadores ambientales lo que será útil en el diseño de la plataforma tecnológica requerida y de indicadores consistentes.

En base a la propuesta metodológica para el control de gestión del PPDA desarrollada por DICTUC SA (2008) "Análisis y evaluación del impacto económico y social del plan de descontaminación de la Región Metropolitana (AGIES). Estudio encargado por CONAMA, Santiago, Diciembre de 2008. Se establecerán tres

niveles de control: fechas claves en el proceso de dictación de la medida, procesos relevantes en la operación de la medida y efectividad de reducción de emisiones.

Las fechas claves incluirán las etapas de relevancia en la dictación de normas y planes de acuerdo a lo establecido en los D.S. 38 y 39/2013 del MMA. Si la medida no corresponde a un instrumento de gestión ambiental regulado por dichos reglamentos, se definirá con la contraparte técnica las etapas relevantes en la implementación de la medida. El sistema podrá controlar de esta forma potenciales retrasos en la puesta en marcha de esta medida. A su vez, se identificarán los procesos de relevancia para la operación idónea de cada medida, su objetivo, plazo y periodicidad de reporte, forma de difusión, forma de medición (indicadores), meta a alcanzar y sus responsables internos, y externos por organismo y cargo. En base a estas definiciones, se establecerán indicadores y metas de cumplimiento en etapas intermedias de operación (e.g. número de buses con estándar Euro VI/EPA 2010 de acuerdo a calendarización comprometida – Responsable externo: Director de Transporte Publico Metropolitano – Responsable interno: Jefe División de Calidad del Aire y Cambio Climático). Las metas intermedias incluirán insumos claves para la implementación de que puedan ser identificadas durante el desarrollo del estudio, esto sin perjuicio de la imposibilidad de relacionar la ausencia de estos insumos con el objetivo último de la medida.

A su vez, se definirán metas de cumplimiento de la medida específica, a saber, reducción de emisiones esperada. Para estos efectos se diseñara un sistema de cálculo de emisiones simplificado que permita estimar los avances de la medida en función del cumplimiento de indicadores intermedios. Sistemas de alerta serán propuestos de tal manera de apoyar la aceleración del tiempo de respuesta de las autoridades del Ministerio del medio Ambiente ante potenciales retrasos en el cumplimiento de las medidas. De esta manera será posible trazar con mayor facilidad posibles brechas que expliquen el incumplimiento en la meta de reducción de emisiones.

La arquitectura del sistema cumplirá con las mejores prácticas en el desarrollo de software, incluyendo la documentación adecuada, facilitando su futura implementación y actualizaciones con recursos internos. La información requerida para operar el sistema de gestión a diseñar será claramente identificada. En particular, se privilegiar utilizar información disponible en otros sistemas públicos que pueda ser capturada por vía remota. El consultor se compromete a desarrollar una maqueta operacional del sistema que permita visualizar su operación.

10. PORTAFOLIO DE MEDIDAS PARA EL SECTOR TRANSPORTE

Respecto del portafolio de medidas seleccionado, existen diferencias con lo presentado originalmente en los Términos de Referencia del Estudio y la Propuesta Técnica del Consultor, como se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla 10.1 Portafolio de medidas presentadas en los TDR, oferta técnica y medidas seleccionadas.

Medidas Seleccionadas	Medidas presentadas en los TDR	Medidas presentadas en oferta técnica
1. Zona de baja emisión	Si	Si
2. Aplicación Euro VI/EPA2010 para buses de Transantiago	Si	Si
3. Tecnología de cero y baja emisión para la flota de Transantiago.	Si	Si
4. Restricción vehicular para vehículos con sello verde	No, solicitada por la Contraparte.	No, solicitada por la Contraparte.
5. Aplicación límites finales ASM	No, solicitada por la Contraparte.	No, solicitada por la Contraparte.
6. Límites de emisión con RSD ("limpio y sucio") para vehículos livianos y pesados.	Si	Si
7. Programa reducción emisiones para Maquinaria Construcción.	Si	Si
8. MAPS-Chile: Implementación corredores Transporte Público	Dos medidas MAPS requeridas.	Adicionalmente la medida Vehículos de Cero y Baja emisión fue ofrecida, pero no considerada.

Fuente: Elaboración propia.

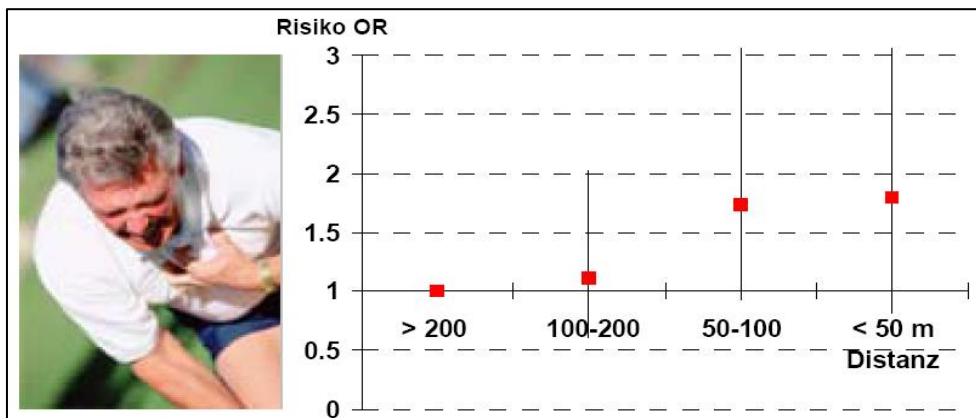
A continuación se describe y discute cada una de las medidas.

10.1 MEDIDA 1: ZONA DE BAJA EMISIÓN

10.1.1 ANTECEDENTES

Considerando los efectos del Material Particulado Diésel en la salud de las personas, entre los que se pueden mencionar el incremento en los infartos al corazón, el agravamiento de las alergias y el asma, incremento de las bronquitis y su carácter comprobadamente cancerígeno, es que la reducción de este contaminante, como parte del MP2.5, resulta una prioridad.

Figura 10.1 Estudios recientes demuestran que muchos ataques cardiacos se deben a la alta concentración de partículas cerca de las calles de tráfico denso



Fuente: [Hoffmann 2006].

En la figura se muestra el aumento del riesgo de infarto según la distancia de las viviendas respecto de una autopista.

Dentro de las medidas que se proponen internacionalmente en el control de este contaminante se encuentra la definición de una Zona de Baja Emisión (ZBE).

En tal sentido se busca generar los antecedentes técnico-económicos necesarios para la implementación de una Zona de Baja Emisión en la Región Metropolitana, considerando estándares de emisión, anillo de restricción, mecanismos de fiscalización y en general todos los aspectos necesarios para su correcta operación.

Las ZBEs establecen un área específica en la cual la circulación de vehículos pesados diésel principalmente, queda sujeta al cumplimiento de requisitos técnicos y de emisiones. En la Tabla a continuación se presentan las zonas definidas en diferentes países europeos.

Tabla 10.2 Zonas de Baja emisión definidas en distintos países.

País	Zonas de Baja Emisión
Suecia	5 zonas en operación desde 1996.
Italia	4 zonas en operación en el norte del país, en los principales centros urbanos.
Alemania	47 zonas confirmadas.
Reino Unido	1 zona en operación.
Holanda	10 zonas en operación.
Dinamarca	5 zonas confirmadas.
Noruega	3 zonas en fase de planeamiento.
Portugal	1 zona confirmada

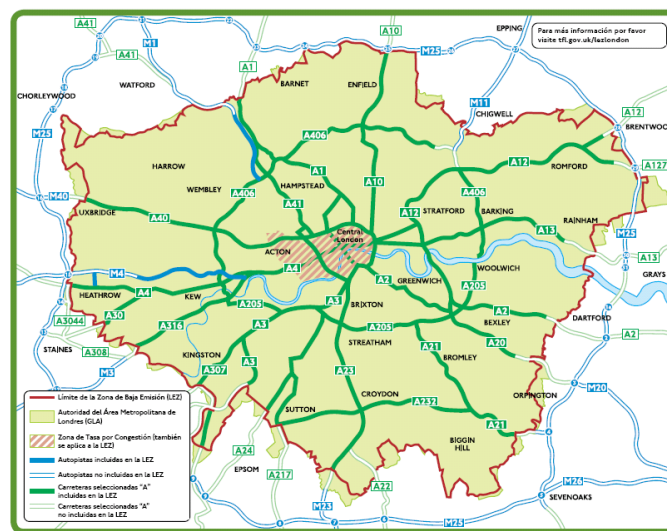
Fuente: Elaboración Propia.

En Estocolmo, la ZBE impacta a cerca del 30% de la población de la ciudad (250.000 residentes). Una evaluación de los beneficios del sistema, llevada a cabo el año 2000 (Johansson and Burman), arrojó que las emisiones de NOx de los vehículos pesados dentro de la zona, se redujeron en un 10% y las del MP en un 40%.

respecto de aquellas que se hubiesen registrado sin la ZBE (para vehículos pesados). A su vez las reducciones en la contaminación del aire fueron estimadas en 1,3% y 3% respectivamente para dichos contaminantes, respecto de las predichas sin el sistema. Estos últimos valores resultan pequeños en relación con las reducciones de emisiones dado que existen otras fuentes de importancia que afectan la calidad del aire en esta ciudad. El análisis concluyó que los efectos del sistema fueron muy relevantes comparados a otras medidas implementadas por la autoridad.

En la actualidad Santiago cuenta, mediante el DS 18/2001 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, con un área de restricción al interior del Anillo Américo Vespucio, para la circulación de camiones, y que opera sobre la base de la antigüedad del vehículo y estándares de opacidad, y cuyos objetivos iniciales apuntaron a mejorar la seguridad vehicular, evitar el deterioro de los pavimentos, disminuir la congestión y la contaminación atmosférica.

Figura 10.2 Zona de Baja emisión de Londres con cobertura en todo el Great London



Fuente: tfl.gov.uk/lezlondon

Revisión Bibliográfica

Tras realizar una revisión de los antecedentes disponibles respecto a transporte de carga en la Región Metropolitana se encontraron los siguientes estudios y antecedentes que revisten importancia para estudiar la medida:

- i. **Análisis transporte de carga urbana en Santiago, CITRA Ltda. Consultores en Ingeniería de Transporte (1995)**

Este estudio presenta un análisis bastante completo de la estructura y composición de los viajes de carga en el Gran Santiago, sin embargo, presenta 20 años de antigüedad, lo cual impide utilizar la información directamente.

En este estudio se obtuvo una distribución de los viajes que se realizan al interior de la zona de estudio, lo cual se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 10.3 Distribución de viajes en Gran Santiago

Tipo de viaje	Flujo total	% respecto al total	Dos Ejes	Más de 2 ejes
Interno - Interno	5.746	70,50%	4.265	1.481
			74,2%	25,8%
Interno - Externo - Interno	2.270	27,80%	1.248	1.022
			55,00	45,00%
Externo - Externo	139	1,70%	57	82
			41,0%	59,0%
Total Viajes	8.155	100,00%	5.570	2.585

Fuente: Análisis transporte de carga urbana en Santiago, CITRA Ltda. Consultores en Ingeniería de Transporte (1995)

Como se puede ver en la tabla anterior apenas un 1,7% de los viajes no tiene como origen o destino el interior de la ciudad, lo cual hace inferir que un gran porcentaje se verá afectado por la medida y deberá adecuar su operación a las nuevas condiciones.

En la siguiente tabla se muestra la distribución de los tipos de carga que circulan por Santiago:

Tabla 10.4 Distribución de tipos de carga que circulan en Gran Santiago

Tipo de carga	N° de vehículos	% de vehículos	% de carga
P. Agrícolas	80	2,9	4,4
P. Mineros	20	0,7	1,1
P. Forestales	100	3,6	5,5
Carnes y pescados	80	2,9	4,4
Material de construcción	700	25	38,5
Combustibles líquidos	180	6,4	9,9
P. Alimenticios	280	10	15,4
P. Industriales	250	8,9	13,7
Basura	30	1,1	1,7
Otros	100	3,6	5,4
Camiones Vacíos	980	35	
Total	2.800	100	100

Fuente: Análisis transporte de carga urbana en Santiago, CITRA Ltda. Consultores en Ingeniería de Transporte (1995)

Como se puede ver en la tabla los sectores construcción, alimenticio e industrial son los que presentan la mayor participación tanto de vehículos como de capacidad de carga. Estos datos se utilizarán para contrastar lo recabado con antecedentes más recientes.

ii. Análisis de Regulaciones sobre el transporte de carga urbano y su impacto en la cadena logística”, DICTUC, 2009

Este estudio fue realizado en 2009 por encargo de la Subsecretaría de Transportes y su objetivo principal fue analizar el impacto de medidas asociadas a restricciones a la circulación de vehículos de transporte de carga.

La fundamentación de la aplicación de medidas se basa en las externalidades negativas que provoca la circulación de vehículos de carga. Dentro de estas se pueden nombrar:

- Congestión vehicular
- Accidentes
- Contaminación acústica
- Contaminación del aire
- Destrucción del pavimento

Las medidas propuestas y analizadas por el estudio son

- Restricción horaria de acceso de camiones del anillo de Américo Vespucio
- Aumento de la restricción técnica para camiones

Dado la naturaleza de la Zona de baja emisión, resulta interesante el estudio de la primera medida, sin embargo, esta es planteada con el objetivo de minimizar todas las externalidades, lo que implica ausencia de énfasis respecto a las emisiones, lo cual queda reflejado en el hecho que la restricción plantea prohibición de acceso a una zona para camiones que superen cierto tamaño, durante periodos específicos.

Utilizando información disponible se estima la nueva composición de la flota y sus emisiones, realizando escenarios. Además se proporciona un modelo de costos simplificados para los dos tipos de camiones estudiados, con el fin de evaluar la rentabilidad de la medida.

Otro punto analizado en este estudio que reviste importancia corresponde a la flota de camiones que circula por la Región Metropolitana, para lo cual revisan información de las plantas de revisión de técnica en 3 cortes temporales, encontrando lo siguiente:

Tabla 10.5 Flota de camiones en base a datos de las PRT

Año	Número de vehículos		
	Camiones	Remolques y semirremolques	Total
2006	38.190	7.446	45.636
2007	37.857	7.081	44.938
2008	41.403	8.478	49.881

Fuente: Análisis de regulaciones sobre el transporte de carga urbano y su impacto en la cadena logística, DICTUC, 2009

iii. Análisis y Estimación de la Demanda de Carga Interurbana

El objetivo principal de este estudio es la estimación de la demanda actual por transporte de carga, como también la actualización y estimación de los modelos de demanda por transporte de carga que permiten proyectar estos flujos en el mediano y largo plazo. Se muestra a continuación la información sobre flujos interregionales desarrollado en este estudio.

Tabla 10.6 Flujos Interregionales estimados por región

REGIÓN		Flujo Intrarregional			Tasa de Crecimiento		
		2007	2010	2020	2007-2010	2010-2020	2007-2020
XV	Arica y Parinacota	22.497	13.765	14.675	-15,10%	0,60%	-3,20%
I	Tarapacá	57.880	12.811	12.509	-39,50%	-0,20%	-11,10%
II	Antofagasta	236.232	258.285	394.111	3,00%	4,30%	4,00%
III	Atacama	37.738	36.793	42.053	-0,80%	1,30%	0,80%
IV	Coquimbo	9.697	10.310	12.940	2,10%	2,30%	2,20%
V	Valparaíso	97.779	74.496	107.016	-8,70%	3,70%	0,70%
RM	Región Metropolitana	288.153	310.473	427.968	2,50%	3,30%	3,10%
VI	O´ Higgins	193.711	211.830	343.624	3,00%	5,00%	4,50%
VII	Maule	126.832	137.559	172.691	2,70%	2,30%	2,40%
VIII	Biobío	465.023	448.153	499.792	-1,20%	1,10%	0,60%
IX	Araucanía	43.584	47.111	56.820	2,60%	1,90%	2,10%
XIV	Los Ríos	41.816	45.277	56.917	2,70%	2,30%	2,40%
X	Los Lagos	54.082	57.353	68.064	2,00%	1,70%	1,80%
Total Zonas Internas		1.675.022	1.664.215	2.209.179	-0,20%	2,30%	2,20%

Fuente: Análisis y Estimación de la Demanda de Carga Interurbana

iv. Encuesta Estructural del Transporte

Este es un anuario con información y estadísticas que elabora el INE, con cifras anuales a nivel nacional, en relación a la actividad de Transporte Interurbano de Pasajeros por Carretera, a partir de las declaraciones al SII. No obstante estas estadísticas se elaboran para el percentil 95% de las ventas, lo que deja afuera del análisis un gran porcentaje de la flota de camiones, como puede apreciarse en la tabla que sigue.

Tabla 10.7 Análisis de ventas totales

	TOTAL GENERAL	5% de ventas totales		95% de ventas totales		
		Tramo de ventas		TOTAL	Tramo de ventas	
		Menos de 424.974			Menos de 424.974	De 424.975 a 1.526.054
Número de	39.306	22.478	16.828	15.192	1.256	380
Camión	124.744	71.154	53.590	32.405	10.299	10.886
Tracto-camión	52.825		52.825	21.567	12.833	18.425

Fuente: Encuesta Estructural del Transporte

v. Otra bibliografía revisada

Adicionalmente a lo ya expuesto el Consultor revisó bibliografía adicional, la que no arrojó antecedentes relevantes, ya sea por el alcance del estudio (interurbano, ámbito de la energía, etc.)

Tabla 10.8 Bibliografía Adicional Revisada

TÍTULO	AUTOR	OBSERVACIÓN
- Información disponible del estudio “Análisis Modelación de Distribución de Cargas en Gran Santiago”.	Encargado por la SECTRA a cargo de SOLUTIVA CONSULTORES LTDA.	Se descarta contar con información utilizable ya que el estudio se encuentra en desarrollo y con plazos por sobre los del presente estudio.
- Análisis de escenarios de desarrollo de los sistemas marítimo-portuario y terrestre para el transporte de cargas	INECON Ingenieros y Economistas Consultores S.A	No se encontró información relevante o atingente al estudio.
- Análisis económico del Transporte de Carga Nacional.	CIPRES INGENIERÍA LTDA	No se encontró información relevante o atingente al estudio.
- Usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector transporte de carga.	Subsecretaría de Energía 2013. Encargada a ARISTOS	No se encontró información relevante o atingente al estudio.

Fuente: Elaboración Propia

Cargo por entrar a la ZBE y su valorización

Existen en Europa tres modalidades para regular el acceso de vehículos a zonas urbanas estas son: Zonas de Baja Emisión, Peajes Urbanos (Tarificación Vial), y Restricciones de Tráfico. Estas modalidades se utilizan para mejorar la calidad del aire, reducir la congestión vehicular o hacer atractiva a los turistas algunas zonas históricas, respectivamente.

Las Zonas de Baja Emisión son áreas donde se “prohíbe” el acceso de los vehículos más contaminantes a la Zona regulada, las 24 horas del día durante todo el año²⁸. Sólo en algunos casos existe un cobro en vez de una prohibición, como en Londres, donde los vehículos regulados pueden ingresar mediante el pago de una tarifa diaria que se debe cancelar por anticipado y que opera durante un día de 24:00 a 24:00 horas. Para camiones esta tarifa es de GRB \$ 200 libras esterlinas (USD \$ 310) y en caso de incumplimiento con este pago la multa asciende a un valor entre GRB \$ 500 a GRB \$1.000. Esto a pesar que la intención original del Gobierno de Londres fue establecer una prohibición. No obstante las atribuciones del Alcalde de la Ciudad sólo le permitían fijar una tarifa al ingreso. Esta tarifa fue fijada a un valor que inhibiera la circulación de los vehículos regulados. Para definir que vehículos se deben regular se utiliza la clasificación normativa de estándar de emisión del motor, en Euro I, Euro II, etc.

²⁸ En algunas Zonas de Italia existen Zonas de Baja Emisión temporales.

Por otro lado, una Zona de Peaje Urbano regula el cobro de una tarifa a los vehículos, sin distinción de norma de emisiones. Tiene por objetivo controlar la congestión vehicular en la ciudad.

No obstante de ser inusual, es posible, como se ha visto, regular una Zona de Baja Emisión mediante el cobro de una tarifa. Sin embargo esta modalidad no se ajustaría a las regulaciones existente mediante el Decreto Supremo N°18/2001 del Ministerio de Transportes, que hoy rigen para la prohibición de ingreso al anillo Américo Vespucio, y tampoco se encuentra dentro de las actuales atribuciones del Ministerio de Transportes, que regula estas materias, lo que resultaría en un proyecto de Ley, como es el caso de la Tarifación Vial. Por lo anterior la recomendación es hacia la prohibición a la circulación.

Mecanismos de control por incumplimiento e impugnaciones

Al abordar el tema de la fiscalización de la ZBE se produce la lógica pregunta de si existe un soporte jurídico que la contenga y la regule en forma adecuada.

No obstante que no existe propiamente una norma específica sobre la materia si es posible encontrar normativa jurídica que sirva de antecedente para la regulación de una ZBE, la que se presenta a continuación:

Tabla 10.9 Normativa jurídica como antecedente para regulación de una ZBE.

NORMATIVA	REFERENCIA
Constitución Política de la República, artículo 19 N° 8	Señala el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. Siendo deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado.
DFL N° 1-2009, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y Ministerio de Justicia.	Fija el texto Refundido, Coordinado y Sistematizado de la Ley de Tránsito. Contiene una serie de disposiciones de transporte y ambientales que sirven de sustento a una ZBE, especialmente en cuanto a disposiciones sancionatorias.
Ley N° 18.287	Establece Procedimiento ante los Juzgados de Policía Local.
D.S. N° 18-2001, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.	Prohíbe la circulación de vehículos de carga en las vías que indica.
D.S. N° 17, de 22 de febrero de 2008, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.	Reglamenta los estándares técnicos y de uso para equipos de registro de infracciones de tránsito en el uso de vía exclusivas o pistas de uso exclusivo.

Fuente: Elaboración propia.

En este sentido las alternativas que se visualizan para la regulación de una Zona de Baja Emisión son dos:

1.- Crear una ley específica que establezca una Zona de Baja Emisión.

Una primera alternativa es crear una ley que determine todos los aspectos propios de la ZBE a regular, tales como:

- perímetro o espacio territorial considerado en la ZBE,
- vehículos sujetos de la regulación,
- periodo de operación,
- requisitos técnicos de los vehículos autorizados a ingresar a la ZBE,
- procedimientos para la acreditación de los requisitos técnicos de los vehículos,
- las formas de fiscalización,

En dicha ley se pueden regular también el registro de los vehículos autorizados, como así también las sanciones para el evento de incumplimiento.

Como bien se conoce, la tramitación de una ley implica tiempo y voluntad política para ser llevada a buen puerto, en un plazo razonable que permita el cumplimiento de los objetivos propuestos en la misma.

2.- Utilizar la normativa vigente.

Como segunda alternativa podemos utilizar la normativa que tenemos y que citamos en un comienzo, ello esencialmente con el objetivo de evitarnos las dificultades de tramitación de una ley.

Mirada desde esta perspectiva la implementación de la ZBE sería respecto de los vehículos de carga teniendo como herramienta válida el D.S. Nº 18-2001, del MTT. Esta implementación implicaría la modificación del D.S. Nº 18-2001 del MTT, consistente, fundamentalmente, en establecer todos los aspectos propios de la ZBE, a excepción del registro de los vehículos autorizados y de las sanciones para el evento de incumplimiento, las que continúan siendo materia de Ley.

No obstante la imposibilidad de regular la existencia de un registro por esta vía, y como parte del procedimiento de acreditación del cumplimiento de los requisitos técnicos de los vehículos, es posible generar una base de datos con el cumplimiento de dichos requisitos por parte de la flota, o en su defecto utilizar la información del Registro Nacional de Vehículos Motorizados, para identificar a los vehículos que incumplan la exigencia de estándares de emisiones, a través por ejemplo del año de inscripción.

Si un vehículo circula dentro de la ZBE sin cumplir las condiciones de emisión y otras condiciones que exija el DS 18-2001 del MTT, estará esencialmente cometiendo una infracción grave según la Ley de Tránsito, lo que trae aparejado como sanción una multa que va desde 1 a 1,5 UTM²⁹.

Los artículos pertinentes del DFL Nº1-2009 MTT y Ministerio de Justicia; son:

Artículo 200.- Son infracciones o contravenciones graves las siguientes:

7. No respetar los signos y demás señales que rigen el tránsito público, que no sean las indicadas en el número 1 del artículo anterior³⁰;

18. Conducir un vehículo sin revisión técnica de reglamento, de homologación o de emisión de contaminantes vigentes o infringiendo las normas en materia de emisiones.

26. Mantener en circulación un vehículo destinado al servicio público de pasajeros o al transporte de carga con infracción a los artículos 69, 70 y 78 o sin las revisiones técnicas de reglamentos aprobadas o con el sistema de dirección en mal estado, de las que será responsable el propietario;

²⁹ Artículo 204, DFL Nº1-2009 MTT y Ministerio de Justicia señala las multas correspondientes a cada tipo de infracción.

³⁰ Las señales indicadas en el número 1 del artículo anterior se refieren al signo "PARE"

En el artículo 200 precedente también se ha transcripto el numeral 7, ello porque a esa norma nos acogeríamos para todo aquello que implique señalética en la ZBE.

El artículo 78, de la Ley de Tránsito referido en el número 26 del artículo 200, dice:

“Los vehículos motorizados deberán estar equipados, ajustados o carburados de modo que el motor no emita materiales o gases contaminantes en un índice superior a los permitidos.

Cuando Carabineros constate técnicamente que un vehículo ha superado dichos índices, podrá retirarlo de la circulación, poniéndolo a disposición del tribunal competente en los lugares habilitados por las Municipalidades, de los cuales únicamente podrá retirarlo con autorización del Juez, que la otorgará con el objeto de que el infractor solucione el problema de contaminación denunciado. En estos casos se aplicará el Artículo 156 de esta Ley.

El Juez podrá absolver al conductor que, denunciado por conducir un vehículo con emanación de gases, acreditar haber reparado el vehículo y subsanado la causa de la emanación a la fecha de su comparencia al Tribunal, mediante certificado expedido por un establecimiento competente.”

A modo de conclusión de esta alternativa podemos decir que la vía de modificación al D.S. N° 18-2001, en los términos establecidos, es relativamente simple pues es un acto administrativo, correspondiente a la potestad reglamentaria que en este caso se ejerce a través de un decreto supremo dictado por orden del Presidente de la República, que debe ir a toma de razón.

Ahora, en relación con el procedimiento de fiscalización, podemos señalar que el inciso segundo y posteriores del artículo 4º, del D.F.L. N°1 -2009 MTT y M de J, refiriéndose a las facultades de Inspectores Fiscales y carabineros de Chile para fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones que dicte el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, precisa lo siguiente:

“Artículo 4.-

...

Para los efectos del inciso anterior, podrán utilizarse equipos de registro y de detección de infracciones, en la forma que determine el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

Los equipos de registro de infracciones podrán consistir en películas cinematográficas, fotográficas, fonográficas u otras formas de reproducción de la imagen y del sonido y, en general, en medios aptos para producir fe.

Las normas de tránsito cuyo cumplimiento se fiscalice mediante el uso de los equipos antes mencionados deberán estar señalizadas de conformidad a las disposiciones del Manual de Señalización de Tránsito, cuando corresponda.

El reglamento, que se expedirá por intermedio del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, contemplará los estándares técnicos que tales equipos deberán cumplir en resguardo de su confiabilidad y certeza, y establecerá las condiciones en que han de ser usados para que las imágenes u otros elementos de prueba que de ellos se obtengan puedan servir de base para denunciar infracciones o contravenciones. Entre estas últimas, dispondrá especialmente la existencia de señales de tránsito que adviertan con claridad y en forma oportuna a los conductores los sectores en que se usan estos equipos; y adoptará medidas tendientes a

asegurar el respeto y protección a la vida privada, tal como la prohibición de que las imágenes permitan individualizar a los ocupantes del vehículo.”

Por consiguiente, la Ley de Tránsito, en el ámbito de la fiscalización, tiene norma que permite la utilización de equipos de registro y detección de infracciones. Señalando además que para el uso de esos registros debe dictarse el reglamento respectivo.

En la normativa emanada de Transporte encontramos el Decreto N° 17, de 22 de febrero de 2008, que reglamenta los estándares técnicos y de uso para equipos de registro de infracciones de tránsito en el uso de vías exclusivas o pistas de uso exclusivo.

El decreto 17 mencionado se refiere al uso de las cámaras en el uso de vías exclusivas o pistas de uso exclusivo. Es posible modificar tal norma y ampliarla y adaptarla a los requerimientos de la ZBE. O bien dictar otro reglamento para la ZBE.

En tal sentido el Programa Nacional de Fiscalización del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (PNFT), cuenta en la actualidad con la infraestructura y capacidades necesarias, en los controles que realiza a vías exclusivas del transporte público, en su Centro Estratégico de Fiscalización (CEF).

Sobre el uso de cámaras para la fiscalización del DS 18/2001, el PNFT realizó un estudio de factibilidad técnica³¹, de dicho informe se muestran a continuación los resultados de la simulación de infracción realizada, con la imagen obtenida, el resultado de la consulta al Registro de Vehículos Motorizados y el reporte del inspector para generar la citación al juzgado de policía local.

Figura 10.3: Imagen cámara centro estratégico de fiscalización – PNFT.



Fuente: Programa Nacional de Fiscalización.

³¹ Informe: “Fiscalización vía registro de imágenes-Prohibición de circulación al Transporte de Carga Decreto N° 18, 2001”, Julio 2009.

Figura 10.4: Resultado de la consulta al Registro de Vehículos Motorizados.

SERVICIO DE REGISTRO CIVIL E IDENTIFICACION – PRODUCCION	
** REGISTRO VEHICULOS MOTORIZADOS **	
A:FIN	DATOS DEL VEHICULO
C:EXTRACTO...	1) Patente BGYT.33-2 2) Tipo CAMI
D:BUS PATENT	3) Marca FORD 4) AÑO Fab. 2008 5) Puertas 2
E:BUS DOM	6) Modelo C1517E 7) Asientos 3 8) Carga 30,00
3:OPCIONES	9) Color BLANCO
4:SALIR	10) Nro.Motor 0000030826159 11) N.Chasis
	12) N.Serie 9BFXCE5U07BB98939 13) VIN 9BFXCE5U07BB98939
	14) Combustible DIESEL 15) Unidad PBV KILOS
	16) Peso Bruto 22000,00 17) RUN o RUT 76.008.647-9 18) Calidad J
	19) Nombre MIGUEL LUIS ESPERIDION VIDE LA TRANSPORTES EIRL
	20) Calle
	21) Numero 22) Letra
	23) Resto Dom.
	24) Comuna 25) Codigo Postal
	26) Ult Cert Dom 19-02-2008 DESP
	Ultima Solicitud
	27) Oficina LOS CERRILLOS 28) Numero 1559 Estado V
	29) Fecha 30-01-2008 30) Hora 14,13

Fuente: Programa Nacional de Fiscalización.

Figura 10.5: Reporte Citación Juzgado Policía Local.

Nombre: XXXXXXXXX.			Código 471		
Fecha	Hora Hrs./min./seg.	Nº Cámara / lugar.	PPU	Juzgado Policía Local	Nº Boleta
20-03-2009	18:23:40	13. Gran Avenida – Ureta Cox	BGYT-33	1º San Miguel	

Fuente: Programa Nacional de Fiscalización.

Alternativas de tecnología de abatimiento que se permitan en la ZBE

En general los esquemas de ZBE permiten o estimulan el reacondicionamiento de los vehículos más antiguos con sistemas de post tratamiento, para los que se establecen requerimientos de certificación y eficiencias mínimas. En la actualidad existe una normativa para la certificación de filtros de partículas para los buses de transporte público el cual resulta fácilmente extensible para camiones.

A fin de asegurar buenas condiciones técnicas de los camiones para el reacondicionamiento, se ha recomendado implementar opciones de reacondicionamiento para la segunda fase de implementación de la exigencia, para motores EUROIII.

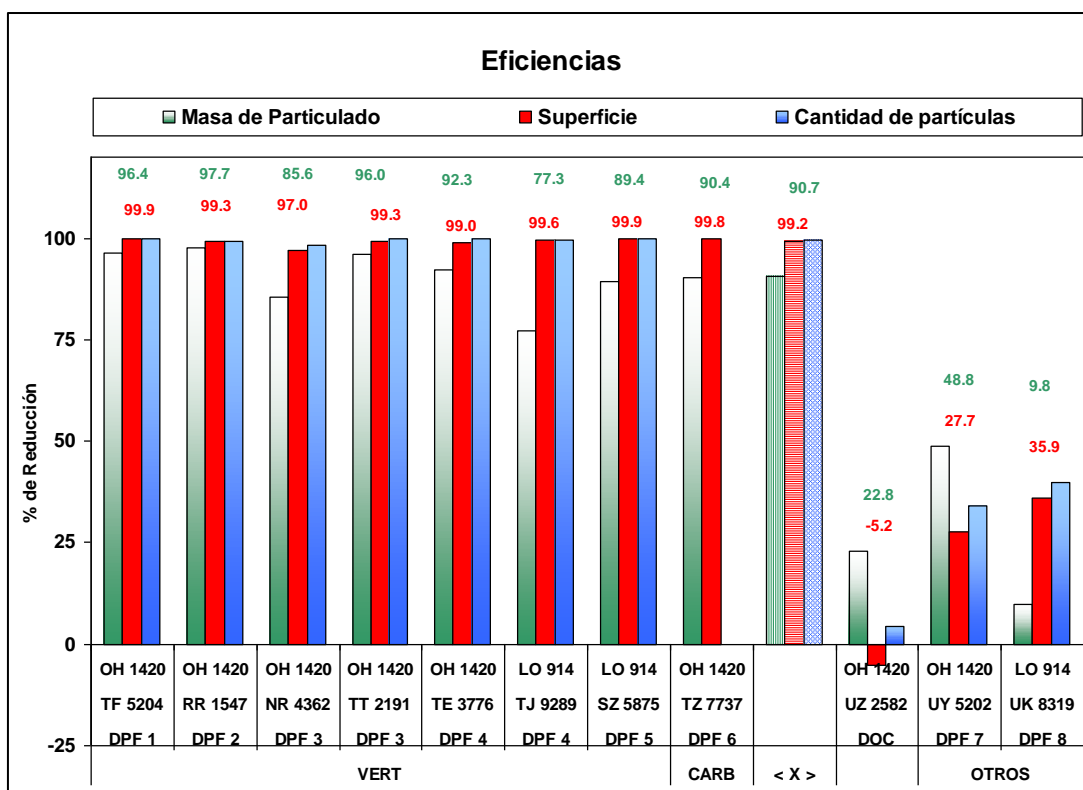
Para la opción del reacondicionamiento, se debe considerar la utilización de los filtros de partículas diésel, como la mejor tecnología disponible (Best Available Technology, BAT), para abatir en más del 97% el material particulado ultrafino.

Sistema de certificación de las tecnologías de abatimiento permitidas.

La evidencia científica en contaminación atmosférica y efectos en salud ha puesto a las emisiones Diésel en el primer lugar de importancia debido a sus efectos comprobadamente cancerígenos y otros daños severos que correlacionan la exposición a estos contaminantes con la mortalidad de la población expuesta.

Hoy en día se encuentra disponible la tecnología DPF, capaz eliminar sobre el 97% de las partículas ultrafinas o nanopartículas sólidas, que son el componente principal de la toxicidad de las emisiones diésel. No obstante, no todos los DPF cumplen con los estándares de calidad necesarios.

Figura 10.6: Resultados del programa en Santiago de Chile que muestra eficiencia de DPF certificados (VERT y CARB v/s otros)



Fuente: [DPF 2011]

Asimismo la implementación de los DPF para el reacondicionamiento de los motores, en las condiciones locales de operación del transporte, o incluso para las características de cada modelo de vehículo, supone soluciones técnicas específicas.

Se propone que como parte de las mejores prácticas para la implementación de un programa de filtros de partículas diésel para camiones se siga un esquema de certificación que exija la Certificación Internacional de los sistemas, más las pruebas locales de compatibilidad de la aplicación, que permitan por una parte garantizar la calidad del filtro, la primera, y por la otra garantizar la adecuada operación del sistema en las condiciones reales de operación local y para la aplicación seleccionada, la segunda.

Certificación internacional

El proceso de Certificación Internacional debe ser tal que de garantía de contar con las más altas exigencias posibles en la retención de las partículas diésel (sólidas ultrafinas), las que se caracterizan por un diámetro de entre 20 y 300 nanómetros [nm], en su gran mayoría. Por tratarse de partículas extremadamente pequeñas, son capaces de penetrar profundamente en el organismo humano, por distintas vías, tales como la respiratoria u olfativa, generando un alto impacto en salud. Asimismo y por la misma razón de su diminuto tamaño su peso es insignificante y la mejor forma de medirlas es a través del número, por lo que la distinción de BAT debe ser hecha sobre la base de la eficiencia en número. Conforme el estado del arte de la tecnología de filtros de partículas es posible hacer exigencias de eficiencia en número de al menos un 97%.

Los filtros de partículas que utilizan sustancias catalíticas para facilitar la regeneración o combustión de las partículas diésel retenidas por el filtro, pueden producir nuevas sustancias contaminantes en la forma de emisiones secundarias. Por este motivo, los sistemas DPF que trabajan con sustancias catalíticas, deben ensayarse también en la producción de emisiones secundarias.

Pero no sólo la capacidad de retener partículas diésel es importante a la hora de reconocer los atributos de la mejor tecnología, sino que esta debe ser capaz de resolver los problemas técnicos que supone su instalación en un sistema de escape de vehículo pesado, tales como la vibración, la aislación térmica, el ruido, en condiciones de operación severa y para una durabilidad conforme con los estándares de la industria automotriz. Esto obliga a pruebas de durabilidad extendidas en el tiempo y en condiciones de trabajo pesado, para asegurarse que los problemas técnicos han sido resueltos de manera confiable. Conjuntamente con esto se debe verificar la operación de los sistemas electrónicos de diagnóstico y de asistencia a la regeneración del filtro (dosificación de aditivo, quemador diésel, etc.).

El protocolo de certificación internacional que se exija como punto de partida debe contar con el reconocimiento de la comunidad internacional y de la industria, considerando todos los aspectos técnicos antes mencionados. En tal sentido la Certificación de BUWAL (Agencia Ambiental Suiza) y de CARB (Agencia Ambiental de California), cumple con dichos requisitos.

Certificación local

Existe una amplia gama de sistemas de filtros de partículas certificados BUWAL o CARB que permiten la aplicación de esta tecnología en una diversidad de condiciones de operación, de temperaturas de gases de escape, de concentración de contaminantes, de calidades de combustible y de configuración del sistema de escape. En este sentido, complementariamente a la Certificación Internacional de la familia de filtros de partículas, las pruebas de certificación local tienen por objetivo, verificar que el sistema es el correcto para su aplicación en una marca-modelo de chasis y motor específicos³², y en condiciones de operación local. Es decir con el combustible, las condiciones de tráfico y otros propios de la ciudad.

En este sentido la prioridad de certificación local es examinar la compatibilidad del sistema con su aplicación según los siguientes aspectos:

³² Este aspecto debe ser cuidadosamente definido para el caso de camiones dado el gran número de aplicaciones posibles.

Antecedentes técnicos para la certificación local.

Al momento de iniciar el proceso de certificación local el fabricante del sistema o su representante debe ser capaz de acreditar que las temperaturas de operación de los gases de escape son compatibles con la estrategia de regeneración del sistema. Para ello debe presentar, como parte de los antecedentes técnicos requeridos, la información de los perfiles de temperatura (pre datalogging) del vehículos de prueba o de uno representativo (Ejemplo: igual marca-modelo de chasis y motor), en condiciones normales de operación. Ésta información debe ser compatible con la información técnica entregada por el mismo fabricante respecto de la estrategia de regeneración del sistema.

Pruebas iniciales de compatibilidad.

Como parte del estudio de compatibilidad con su aplicación específica, la certificación local debe definir un conjunto de pruebas iniciales que verifiquen la correcta instalación y operación del sistema al momento de su instalación. Estas son las que se indican a continuación:

Eficiencia: La eficiencia es el resultado de medir la concentración del material particulado en los gases de escape a la salida del motor (o entrada del filtro de partículas) y a la salida del filtro. Como ya se ha indicado anteriormente el mejor parámetro para analizar la eficiencia del filtro es la medición del número de partículas, que para este caso presenta ventajas en cuanto a una mayor sensibilidad a fallas pequeñas del filtro. Como el objetivo es el de verificar la integridad general del sistema no se requiere reproducir el método oficial de medición de número³³, sino que es suficiente utilizar los instrumentos de campo, de menor tamaño y costo³⁴. En cuanto a la muestra de gases de escape esta puede ser de flujo parcial, considerando una pequeña toma de gases a la entrada y a la salida del filtro. Si bien un dinamómetro de chasis es una condición óptima para la medición bajo condiciones de carga, también es posible utilizar pruebas de aceleración libre, lo que permite una mayor flexibilidad al organismo certificador.

$$Eficiencia = \frac{E_e - E_s}{E_e} * 100$$

Ecuación 19

Ee: Emisiones a la entrada del filtro.

Es: Emisiones a la salida del filtro.

Ruido: Considerando que el DPF es en general dispuesto en lugar del silenciador y que su instalación en este caso debe reemplazar la función del silenciador, es necesario realizar una medición de ruido de escape. La medición de ruido con el DPF instalado no debiera superar la norma permitida en Bogotá o en su defecto no debiera ser superior a la misma medición realizada al bus con el silenciador original.

Opacidad: En tanto no se implemente un método de inspección rápida que se ajuste al valor de número, la opacidad en aceleración libre es un método de inspección rápida disponible para la fiscalización en uso de los

³³ Para Europa el método oficial de medición de número está definido en el proyecto PMP (Particle Measurement Programme).

³⁴ La oficina federal suiza de metrología (METAS), cuenta con aprobación de equipos portátiles contadores de partículas, que podrían ser utilizados en esta aplicación.

filtros, por tanto una verificación de este parámetro al momento de la instalación permite asegurar el cumplimiento de la instalación con un valor máximo de 0,12 [m⁻¹] (medición en condiciones controladas tal como un laboratorio) o con un valor de 0,24 [m⁻¹] (medición en terreno).

Inspección visual: Se requiere al inicio una inspección de las condiciones generales de la instalación, en aspectos tales como soportes y fijaciones, alineación del flexible, instalación del monitor electrónico y demás sistemas complementarios (dosificador de aditivo, conexión de sensores y sonda de contrapresión, etc.).

Periodo de seguimiento operacional

El objetivo de esta prueba es el de realizar seguimiento operacional mediante datalogger de la contrapresión a la entrada del filtro y de las temperaturas de entrada y salida de éste, de los gases de escape del bus, durante un periodo mínimo de 1 mes, en condiciones normales de operación. Para el efecto se debe utilizar un datalogger certificado y con transmisión inalámbrica de la información (tipo GSM), que permita al ente regulador un conocimiento en línea de las condiciones de operación del sistema en el Bus.

El análisis del registro de contrapresiones permitirá determinar si la estrategia de regeneración ha funcionado adecuadamente, quemando el hollín retenido en el filtro, liberando el paso de los gases de escape, y manteniendo la contrapresión por debajo de un valor máximo permitido de 200 [mbar]³⁵.

Pruebas Finales de Compatibilidad.

Concluido el periodo de seguimiento se deben realizar nuevamente las pruebas de eficiencia, ruido, opacidad e inspección visual, verificando se cumplan los mismos criterios de las pruebas iniciales.

Todos los puntos anteriores están hoy abordados en la regulación para la certificación de DPF para buses de transporte público, mediante la certificación que es realizada por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, a través del 3CV. Para tales efectos los sistemas deben cumplir con las disposiciones señaladas por el D.S. 65 /2004 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

Mecanismos de financiamiento para facilitar el cumplimiento.

Desarrollo de programa Clean Screening, mayor detalle ver punto i) de la Elaboración técnica de la medida de límites con RSD.

Análisis distributivo de la medida

Para analizar el impacto de la medida desde el punto de vista social, se dispone de la base de información proporcionada por la División de Desarrollo Logístico del Ministerio de Transportes, que analiza la distribución de la flota de camiones por tramo de ventas, conforme declaración de impuestos. Esto permitirá en la próxima etapa del estudio analizar los efectos distributivos, como parte del análisis económico-social de las medidas.

³⁵ O al menos el 98% de los registros obtenidos como el máximo valor de contrapresión en periodos de 60 segundos debe estar por debajo de este valor.

Esta base de datos permite conocer a nivel de ventas, el tamaño de los contribuyentes afectados, como también la cantidad de ellos. A continuación se puede ver un cuadro de resumen de esta estadística, con la distribución por norma y por tramo:

Tabla 10.10 Distribución de Norma por Tramo

Norma	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10	TRAMO 11	TRAMO 12	N° Contribuyentes
PRE EURO	11%	16%	32%	14%	9%	3%	7%	3%	2%	1%	1%	2%	100%
EURO I	7%	11%	28%	15%	11%	4%	9%	5%	4%	2%	1%	3%	100%
EURO II	4%	7%	21%	15%	11%	5%	11%	7%	6%	5%	1%	6%	100%
EURO III	2%	4%	13%	12%	11%	8%	13%	10%	9%	6%	4%	9%	100%
EURO IV	2%	3%	13%	11%	11%	8%	13%	10%	8%	6%	3%	12%	100%
EURO V	2%	3%	15%	12%	10%	6%	11%	8%	7%	5%	8%	13%	100%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10.11 Ventas por tramo

TRAMO	Ventas SII	Flota Nacional	Distribución	Flota RM
TRAMO 1	Vehic_0,01 a 200	6.829	6%	3.849
TRAMO 2	Vehic_200 a 600	10.456	9%	5.893
TRAMO 3	Vehic_600 a 2.400	25.887	22%	14.591
TRAMO 4	Vehic_2.400 a 5.000	15.698	14%	8.848
TRAMO 5	Vehic_5.000 a 10.000	12.040	10%	6.786
TRAMO 6	Vehic_50.000 a 100.000	5.972	5%	3.366
TRAMO 7	Vehic_10.000 a 25.000	11.671	10%	6.578
TRAMO 8	Vehic_25.000 a 50.000	7.425	6%	4.185
TRAMO 9	Vehic_100.000 a 200.000	6.309	5%	3.556
TRAMO 10	Vehic_200.000 a 600.000	4.527	4%	2.552
TRAMO 11	Vehic_600.000 a 1.000.000	2.122	2%	1.196
TRAMO 12	Vehic_más de 1.000.000	6.596	6%	3.718
TOTAL		115.532	100%	65.117

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que el 62% de la flota se acumula entre los tramos 3 y 7 de ventas y que como era de esperar un mayor porcentaje de los camiones Euro I y PRE EURO, se acumulan en los tramos de menores ventas.

10.1.2 INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUACIÓN DE MEDIDA

Flota de Camiones de la Región Metropolitana

Resulta difícil precisar el alcance de la flota afectada por una medida de ZBE para el Anillo Américo Vespucio dado que son muchos los camiones que pueden con distinto nivel de intensidad, tener que circular por esta zona. No obstante es importante una estimación que permita dimensionar los costos y efectos de la medida.

Para estimar una magnitud o volumen de flota afectada se ha establecido dos criterios:

Flota de camiones con revisión técnica en la Región Metropolitana:

Se asume el supuesto que todos aquellos camiones que realizan su revisión técnica en la RM, tienen como parte de sus servicios de transporte el origen o destino en esta región. Podría también ser el caso que estuviese en tránsito, pero aun así también se verían o podrían ver los afectos por una restricción en esta región, por lo tanto se incluyen en la flota afecta. Por cierto no todos los camiones que circulan por la RM se verán afectos, pero es posible pensar que la mayoría de ellos sí, al menos en algún punto de su recorrido, considerando lo basto y central de la zona regulada. Se considera entonces el caso desfavorable de que todos están afectos.

Camiones fiscalizados en la Región Metropolitana:

Por otro lado no todos los camiones que circula por la RM, han necesariamente obtenido su Revisión Técnica en una planta de esta Región, por lo tanto es posible asumir un porcentaje de camiones que circula en la RM con revisión técnica de otras regiones.

Para el análisis de las revisiones técnicas de la RM se contó con las bases de datos de las Plantas de Revisión Técnica de camiones del año 2014 y se analizaron las placas únicas existentes en la base. Para la clasificación de los vehículos según norma se utilizó la entrada en vigencia de la normativa y los Pesos Brutos Vehiculares declarados en la Revisión Técnica, como se muestra en los siguientes cuadros:

Tabla 10.12 Clasificación del parque de camiones por norma de emisiones (RM)

Norma de Emisiones	Entrada en Vigencia	Año Fabricación
Pre-Euro/Pre-Epa		<= 1994
Euro I/Epa 91	Sept. 1994	<= 1998
Euro II/Epa 94	Sept. 1998	<= 2006
Euro III/Epa 98	Oct. 2006	<= 2011
Euro IV/Epa 2007	Mar. 2012	<= 2014
Euro V/Epa 2010	Oct. 2014	>= 2015

Fuente: Elaboración Propia

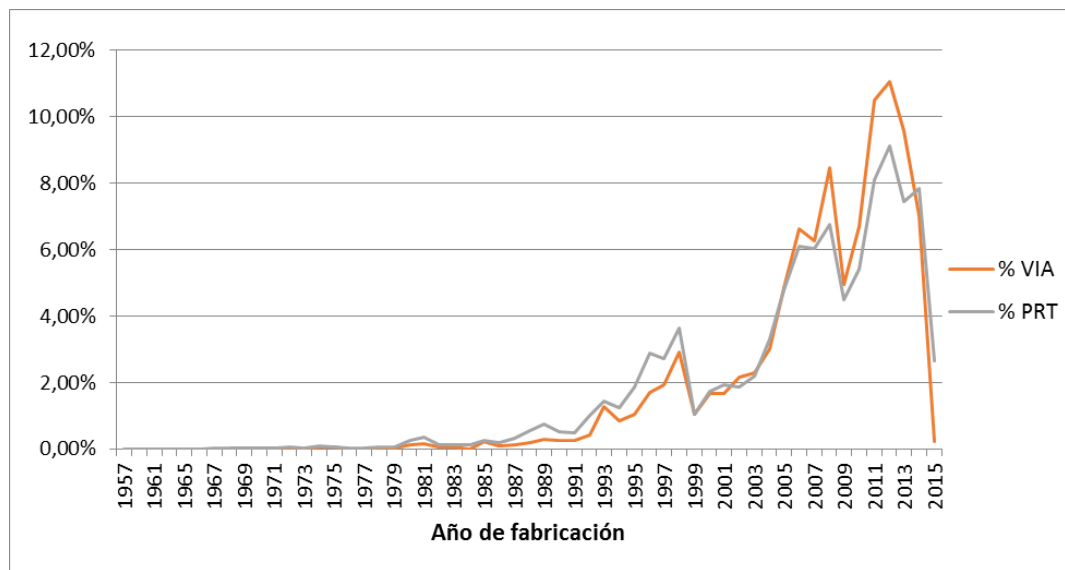
Tabla 10.13 Clasificación del parque de camiones por peso bruto vehicular

Tipo Camión	PBV
Liviano	<= 7,5 ton
Mediano	<= 16 ton y > 7,5
Pesado	> 16 ton

Fuente: Elaboración Propia

La flota total de camiones que constituyen las revisiones técnicas de la RM alcanza a los 47.059 camiones. En cuanto a las fiscalizaciones realizadas en vía pública durante el año 2014³⁶, se observa que existe un 13% de éstos que cuentan con su revisión técnica en regiones distintas de la RM, por lo que se estima que los camiones que realizan su revisión técnica en la RM representan un 87% (47.059) del total que circula en la región metropolitana; finalmente se obtiene una flota esperada de 54.094 camiones. A continuación se presenta la distribución por año de ambas flotas (Camiones según BBDD PRT2014 y Vía Pública).

Figura 10.7: Distribución Flota Revisiones Técnicas y Vía Pública



Nota: PRT: Flota de camiones obtenida, según Plantas de revisión técnica año 2014.

VIA: Camiones fiscalizados en el año 2014 según programa Nacional de fiscalización del MTT.

Fuente: Elaboración Propia

Considerando la similitud en las distribuciones por año y dado que no se cuenta con información del Peso Bruto Vehicular (PBV) en las bases de Vía Pública, se hace la corrección del 13% sobre la flota de PRT, por cada segmento de manera uniforme. Finalmente las estadísticas obtenidas se presentan a continuación:

³⁶ Fuente: Programa Nacional de Fiscalización.

Tabla 10.14 Estadísticas de Flota por Norma

Norma	LIV	MED	PES	TOTALES	% del total
PRE-EURO	1.868	1.952	2.170	5.990	11%
EURO I	4.522	3.831	4.363	12.717	24%
EURO II	5.473	4.808	6.545	16.826	31%
EURO III	3.922	3.584	5.665	13.171	24%
EURO IV	357	260	895	1.513	3%
EURO V	906	1.622	1.351	3.878	7%
Total general	17.048	16.057	20.990	54.095	100%

Fuente: Elaboración Propia

La proyección de la flota consideró, para la elaboración de línea base, la tasa de retiro del 4% anual, conforme la estimación de la tasa de retiro histórica verificada con datos de PRT 2011-2014, menor que la tasa del 4,7% del estudio [Estrategia 2012]; y un crecimiento neto de la flota del 2% anual, acoplado con el crecimiento del Nivel de Actividad del sector según estimado en el estudio [Sistemas sustentables 2012]. Esto resulta en una tasa de venta del 6% en línea base.

La proyección de la flota para la línea con proyecto consideró dos situaciones, la de la flota afecta a la ZBE y la de la flota no afecta. Para la flota afecta se consideró igual crecimiento del Nivel de Actividad y de la flota que en línea base, cambiando las tasas de retiro y venta de vehículos nuevos, de tal suerte de dar cumplimiento a las restricciones de antigüedad de la ZBE. Respecto de la flota no afecta se consideraron iguales parámetros de proyección que línea base.

Factores de emisión

Los factores de emisiones utilizados para el cálculo de emisiones son obtenidos de la última versión del [COPERT IV 2013], para cada una de las categorías de camiones (Livianos, medianos y pesados). Para mayor detalle ver modelos en CD adjunto. Para el caso particular de los buses Euro III, que sean reacondicionados con filtro de partículas, producto de la medida, se consideraron correcciones al Factor de Emisión COPERT, como se indica a continuación.

Tabla 10.15 Factores de Emisiones Camiones corregidos COPERT.

FE COPERT UTILIZADO	NORMA MOTOR	Contaminante	% Reducción (+)/Aumento (-)
HD Euro III - 2000 Standards	EPA 98 O EURO III + DPF	PM	90%
HD Euro III - 2000 Standards	EPA 98 O EURO III + DPF	EC	99%
HD Euro III - 2000 Standards	EPA 98 O EURO III + DPF	FC	-2%

Fuente: Elaboración propia, a partir de [COPERT IV 2013].

Factores de Ajuste

Dado que en la operación real los vehículos presentan deterioro en sus emisiones y condiciones específicas de mantenimiento que difieren de las condiciones de emisión establecidos en COPERT, se considera un factor de ajuste a los Factores de Emisión, según los resultados del estudio [Geasur 2015]. Sin embargo en los alcances de dicho estudio sólo se estimaron factores de deterioro para camiones livianos, de los cuales se hará el

supuesto que los medianos y pesados presentan iguales factores de ajuste. Para mayor detalle ver Anexo A en CD adjunto.

Nivel de actividad y velocidad

Estos parámetros fueron obtenidos de simulaciones del modelo MODEM en la corrida 2012. Para obtener los valores de Nivel de Actividad para el año base 2015, como también para los años de proyección hasta el 2025, se consideró un crecimiento del 2% anual del Nivel de Actividad ([Sistemas sustentables 2012]).

10.2 MEDIDA 2: APLICACIÓN EURO VI/EPA2010 PARA BUSES DE TRANSANTIAGO

Esta medida pone de relieve el problema que experimentan los motores de la norma Euro V de vehículos pesados (actualmente en vigencia en Chile), particularmente de los de buses urbanos. Esto es que, a pesar de tratarse de una norma más estrictas en la homologación de estos motores, el sistema de control de emisiones que utilizan (reducción catalítica selectiva o SCR), tienen emisiones significativamente mayores de óxidos de nitrógeno (NOx), durante la operación, en particular cuando se opera en las zonas urbanas. En algunos casos, estos niveles de emisión en uso pueden ser incluso mayores que la de los motores de menor estándar (Euro III o Euro II).

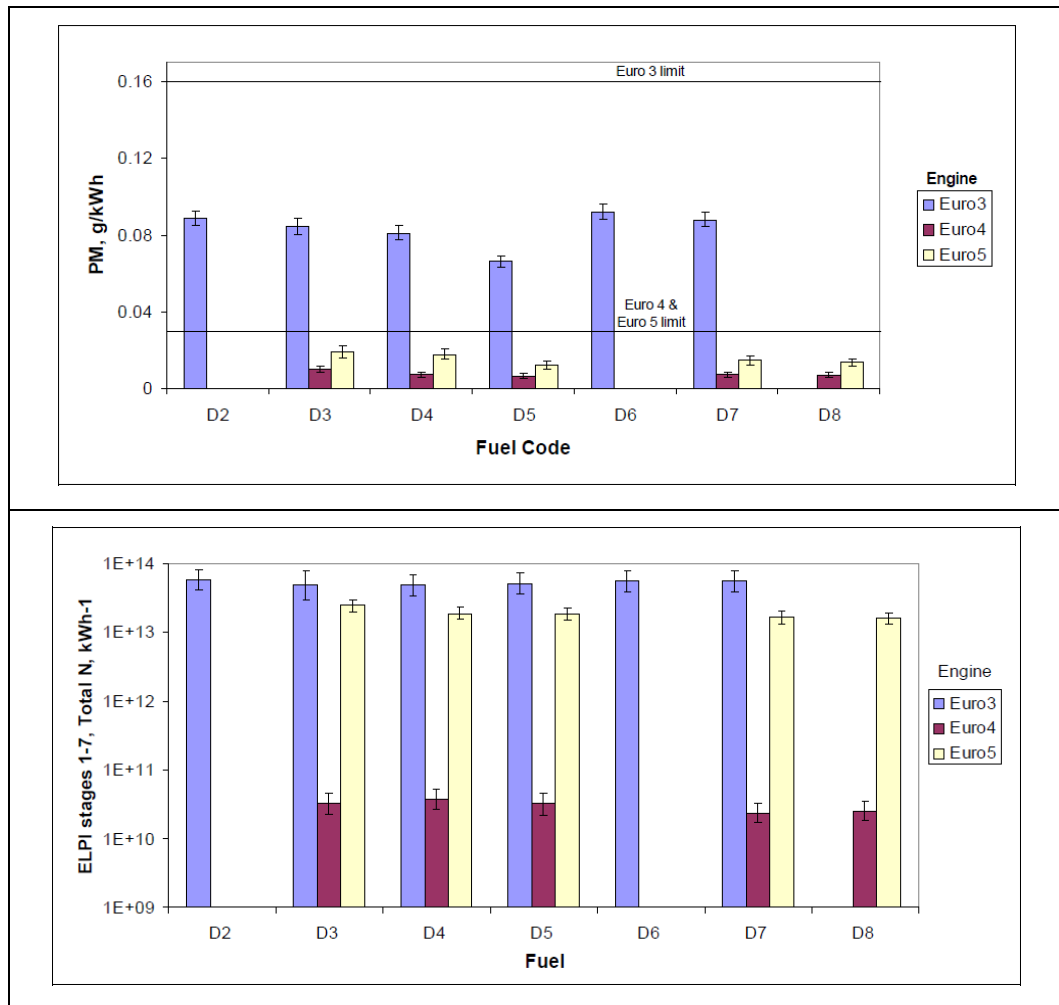
La razón técnica para estas emisiones elevadas de NOx en estos vehículos es la baja eficiencia de conversión que presentan los sistemas SCR cuando los gases de escape no tienen la temperatura apropiada. Esta situación no es detectada en el proceso de homologación, ya que el ciclo de ensayo no es representativo de las condiciones urbanas reales de operación y que no cuenta con una medición de las emisiones con partida en frío del motor.³⁷

Adicionalmente y más importante es la aún alta emisión de Material Particulado que presentan los motores Euro V. Esto se debe a que las normas de emisión hasta Euro V regularon la masa de las partículas y no incorporaron el concepto de nanopartículas³⁸. El efecto fue que los motores disminuyeron la masa de MP, disminuyendo el tamaño de las partículas, sin disminuir significativamente el número, lo que se traduce en la misma cantidad de partículas emitidas pero más pequeñas y por ende más respirable y dañino para la salud. Este efecto se puede ver en el reporte CANCOWE 2005, que compara de esta forma las emisiones de las tecnologías (Ver Figura).

³⁷ [ICCT2012]

³⁸ Partículas menores a 1 um.

Figura 10.8: Mediciones de motores Euro III, Euro IV (con filtro de partículas) y Euro V, en ciclo de certificación ETC. Arriba MP en masa, abajo número de partículas (N), en el rango 30-1.000 nanómetros.



Fuente: Elaboración Propia

Estos errores de la legislación ambiental europea han sido rápidamente subsanados a partir de la norma Euro VI, que estableció menores emisiones de NOx y PM. La norma Euro VI también mejora significativamente el proceso de homologación incluyendo el uso de un nuevo ciclo de prueba, más representativo, la prueba de partida en frío, la realización de pruebas en uso, exigencia de OBD, pero por sobre todo y lo más importante desde el punto del material particulado, es la inclusión de un límite de emisiones en número de partículas, legislando sobre las partículas ultrafinas.

10.2.1 ANTECEDENTES.

Definición de la norma

En la actualidad la norma vigente en Brasil, principal industria proveedora de buses para Transantiago, es Euro V y existen planes para incorporar Euro VI a partir del año 2019. En Europa la regulación Euro VI se encuentra vigente desde el año 2013 para las nuevas homologaciones de motores y a partir de 2014 para todos los vehículos nuevos que se registren.

Respecto de la disponibilidad comercial de Euro VI se realizó entrevista a los dos principales distribuidores de Buses Urbanos para Transantiago: Volvo Chile y Kaufmann (representante Mercedes Benz).

Actualmente Kaufmann se encuentra comercializando camiones en Chile con tecnología Euro VI, es decir con sistemas de post-tratamiento de emisiones DPF combinado con SCR, en su línea de vehículos pesados Freightliner y mediante la certificación EPA2010. Por esta razón se encuentra familiarizados con esta tecnología respecto del soporte técnico. Para Buses Euro VI podrían contar con motores OM936 (equivalente OM924 actual en buses Euro V) y OM471 (equivalente OM457 actual en buses Euro V). El suministro de los motores provendría desde Europa, específicamente de una planta en España, y el carrozado se realizaría como usual en Brasil. El costo que estiman es de un entre un 15% a 20% más que el valor de un bus Euro V.

Para el caso de Volvo Chile, también el motor provendría desde Europa y sería carrozado en Brasil. Advierten que este hecho puede generar demoras en la cadena logística que los obliga a combinar una parte de la producción en Europa y la otra en Brasil. Los costos también son entre un 15% a 20% mayores que un bus Euro V.

A continuación se presenta un cuadro comparativo con los distintos límites de emisión de la norma Europea.

Tabla 10.16 Límites de Emisión por Norma

Norma	Homologación	Inscripción Vehículo	Ciclo de Prueba	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]	PN [#kWh]	NH3 [ppm]
Euro II	01.10.1995	01.10.1996	ECE 49	7.0	0.15	- / -	- / -
Euro III	01.10.2000	01.10.2001	ESC / ETC	5.0 / 5.0	0.10 / 0.16	- / -	- / -
Euro IV	01.10.2005	01.10.2006	ESC / ETC	3.5 / 3.5	0.02 / 0.03	- / -	- / -
Euro V	01.10.2008	01.10.2009	ESC / ETC	2.0 / 2.0	0.02 / 0.03	- / -	- / -
Euro VI	01.01.2013	01.01.2014	WHSC /	0.4 / 0.46	0.01 / 0.01	8 / 6 x 10 ¹¹	10-oct

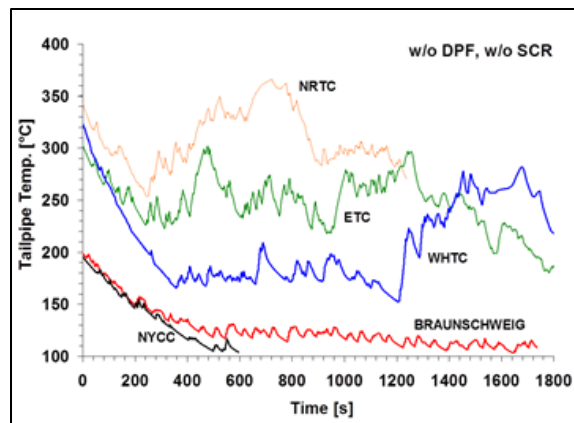
Fuente: Gerhard Leutert, misión COSUDE en Santiago, Septiembre 2015.

Desde el punto de vista de los NOx, la norma Euro VI presenta las siguientes ventajas:

- Límite NOx Euro VI es 4-5 veces más bajo que Euro V.
- Homologación Euro VI cuenta con ciclo WHTC mucho más realista (ciclo frío).

La posibilidad de certificar la tecnología con un ciclo de conducción más frío permite asegurar de mejor forma el rendimiento de la tecnología de control de emisiones (Selective Catalytic Reduction), a las condiciones de tráfico y conducción urbana de un bus. Esto debido a que la actividad del SCR depende de la temperatura de los gases de escape. El ciclo World Harmonization Transiente Cycle, utilizado desde Euro VI, es un ciclo que armoniza el protocolo de medición entre Europa y Estados Unidos, y presenta condiciones de operación más realista y con temperaturas de los gases de escape más fríos.

Figura 10.9: Temperaturas de los gases de escape en los ciclos NRTC, ETC y en realidad



Fuente: TTM Mayer

- Emisiones reales efectivas de Euro VI son mucho más bajas que Euro V.

Como resultado de la nueva regulación las emisiones de Euro VI no sólo son más bajas en el límite de certificación de los motores sino también en la operación real, reproduciendo mejor la condición urbana de conducción, que implica temperaturas más bajas en los gases de escape.

- Reducir el NOx tiene beneficios directos en salud por efectos de NO2.
- 20%-30% del MP2.5 son aerosoles secundarios como Nitratos o Amonio.

Los NOx participan en la formación de MP2.5 secundario bajo la forma de NH4 y NO3, que a su vez representa entre el 20% y 32% del MP2.5 según datos de medición de 2013 en Alameda y Las Condes.

- NOx genera Ozono troposférico.

Por el lado de las partículas se aprecian las siguientes ventajas:

- PM: Límite Euro VI es 2-3 veces más bajo que Euro V.

Desde el punto de vista de las emisiones en masa de MP existe una reducción importante que implica tanto a las sustancias orgánicas (volátiles) como inorgánicas (Carbono Elemental), que participan del MP2.5.

- PN: Euro VI tiene límite PN.

Este es un elemento fundamental de diferencia ya que viene a corregir el hecho que las reducciones de la masa de partículas no tuvieron en el pasado una correspondencia con las emisiones de nanopartículas sólidas, medidas en número, parámetro este último que tiene efectos en la salud. Este estándar en número implica también la incorporación de DPF en los buses y una reducción de 50 veces en la emisión de nanopartículas.

Adicionalmente los buses Euro VI han reducido el consumo entre 4%-8% respecto de Euro V, como podemos ver en los datos de consumo que se muestran a continuación.

Tabla 10.17 Consumo de combustible comparación Euro V-VI 2015

MAN Suiza	2-6%
DB	En promedio 5%
	Buses hasta 8,5%(con recuperación de energía de frenos)
EMPA SUIZA	2% a base de publicaciones
DGMI-NL Países Bajos	1-5% no mucha información propia
TUV Sud Alemania	Todos Vehículos pesados Euro VI (con DPF+SCR) más bajo que Euro V
	En particular los buses en ciclo SORT 4-8%
	La introducción en el mercado se realizó más rápido de lo que se pensaba a causa de reducción del consumo de todos los marcos

Fuente: TTM Mayer, misión COSUDE en Santiago, Septiembre 2015

Flota afectada

Conforme los antecedentes facilitados por la Contraparte del Estudio existe un programa de renovación de la flota Transantiago que se presenta a continuación con detalle de años y cantidades. Esta flota se verá afectada con la nueva norma Euro VI propuesta, a partir de 2017.

Tabla 10.18 Proyección de renovación de Flota Transantiago

Unidad de negocio	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	TOTALES
U1			532	67	30	17	43	5	694
U2		2	605	46	212	104	1	48	1.018
U3			4	10	75	24	387	192	692
U4			211	305	72	25	177	14	804
U5			7	17	376	151	170	1	722
U6					7	53	254	34	348
U7	8	13	32	70	72	22	167	9	393
TOTALES	8	15	1.391	515	844	396	1.199	303	4.671

Fuente: Elaboración Propia

10.2.2 INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUACIÓN DE MEDIDA

Flota de buses

La flota actual de buses del sistema público, se obtuvo de información proporcionada por Transantiago, en esta se obtienen datos importantes, como norma, tipo de bus, unidad de negocio, etc. Para mayor detalle ver **Anexo C** en CD adjunto.

Factores de emisión

Los factores de emisiones utilizados para el cálculo de las emisiones son obtenidos de la última versión de [COPERT IV 2013], para cada una de las categorías de buses. Para mayor detalle ver modelo de la medida adjunto en CD adjunto. Para casos particulares, donde no existen Factores de Emisión COPERT, se utilizaron las correcciones que se indican a continuación.

Tabla 10.19 Factores de Emisiones buses corregidos COPERT.

FE COPERT UTILIZADO	NORMA MOTOR	Contaminante	% Reducción (+)/Aumento (-)
HD Euro III - 2000 Standards	EPA 98 O EURO III + DPF	CO	80%
HD Euro III - 2000 Standards	EPA 98 O EURO III + DPF	NOx	0%
HD Euro III - 2000 Standards	EPA 98 O EURO III + DPF	HC	80%
HD Euro III - 2000 Standards	EPA 98 O EURO III + DPF	PM	90%
HD Euro III - 2000 Standards	EPA 98 O EURO III + DPF	EC	99%
HD Euro III - 2000 Standards	EPA 98 O EURO III + DPF	FC	-2%
HD Euro V - 2008 Standards	EURO V – HIBRIDO	CO	30%
HD Euro V - 2008 Standards	EURO V – HIBRIDO	NOx	30%
HD Euro V - 2008 Standards	EURO V – HIBRIDO	HC	30%
HD Euro V - 2008 Standards	EURO V – HIBRIDO	PM	30%
HD Euro V - 2008 Standards	EURO V – HIBRIDO	EC	30%
HD Euro V - 2008 Standards	EURO V – HIBRIDO	FC	30%
HD Euro VI	EURO VI - HIBRIDO	CO	30%
HD Euro VI	EURO VI - HIBRIDO	NOx	30%
HD Euro VI	EURO VI - HIBRIDO	HC	30%
HD Euro VI	EURO VI - HIBRIDO	PM	30%
HD Euro VI	EURO VI - HIBRIDO	EC	30%
HD Euro VI	EURO VI - HIBRIDO	FC	30%
HD Euro VI	EURO VI	FC	4%

Fuente: Elaboración propia.

Nivel de actividad y velocidad media

Estos parámetros fueron obtenidos de simulaciones del modelo MODEM, con corrida de Transporte 2012. Para el año base 2015 se han considerado idénticos valores 2012, dado que la variación del número de viajes 2001-2012, según Encuesta Origen-Destino, ha sido sólo del -4,2% en 11 años, y que no se cuenta con una proyección de la velocidad media de los buses para 2015. Para la proyección de emisiones se realizó una corrida 2025, con dos posibles escenarios:

- 1) Con Plan Maestro de Transporte de Santiago (Corredores segregados).
- 2) Sin Plan Maestro de Transporte de Santiago (sin Corredores segregados).

Para estimar el nivel de actividad y velocidad de La línea completa de proyección, se realiza una interpolación lineal.

Para mayor detalle de los niveles de actividad y velocidades en las corridas MODEM, ver **Anexo B** en CD adjunto.

10.3 MEDIDA 3: TECNOLOGÍA DE CERO Y BAJA EMISIÓN PARA TRANSANTIAGO.

10.3.1 ANTECEDENTES

La definición de límites de emisiones de efecto local, cada vez más estrictos, y el cumplimiento de metas de reducción de la contaminación atmosférica, como también la definición de límites o metas de emisión de gases de efecto invernadero (GEI o GHG, indistintamente) están empujando hacia la electrificación del tren de potencia como la solución definitiva de cero emisiones, que presenta beneficios para ambos problemas. Lo anterior dependiendo del grado de electrificación y de la configuración diseñada. Es así como los beneficios locales incrementan en relación con el grado de electrificación del tren de potencia. En esta misma dirección correlacionan los co-beneficios de GEI, Consumo de Combustible (CC) y Eficiencia Energética (EE).

A continuación se muestra la correlación que presentan los diferentes niveles de electrificación en los efectos locales y los co-beneficios (GEI, CC y EE), en relación de la tecnología convencional. La dirección de las flechas y su número representan el sentido del efecto y su intensidad (\uparrow = aumento, \downarrow = disminución).

Tabla 10.20 Impacto de las nuevas tecnologías

ESTRATEGIA	TECNOLOGÍA	EFFECTO LOCAL	EFFECTO GEI	CONSUMO COMBUSTIBLE FOSIL	EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL TREN DE POTENCIA
ELECTRIFICACIÓN DEL TREN DE POTENCIA	Vehículo Híbrido Eléctrico	$\downarrow^{(1)}$	$\downarrow^{(1)}$	$\downarrow^{(1)}$	$\uparrow^{(1)}$
	Vehículo Híbrido Eléctrico	$\downarrow\downarrow^{(2)}$	$\downarrow\downarrow^{(2),(3)}$	$\downarrow\downarrow^{(2)}$	$\uparrow\uparrow^{(2)}$
	Vehículo Eléctrico de Baterías	$\downarrow\downarrow\downarrow$	$\downarrow\downarrow\downarrow^{(3)}$	$\downarrow\downarrow\downarrow$	$\uparrow\uparrow\uparrow$
	Vehículo Eléctrico de Celda de	$\downarrow\downarrow\downarrow$	$\downarrow\downarrow^{(4)}$	$\downarrow\downarrow\downarrow$	$\uparrow\uparrow\uparrow$

(1) Mejoras dependen del grado de hibridización (mini a full híbrido).

(2) Mejoras dependen del grado de hibridización y del All Electric Range (rango de operación en modo eléctrico).

(3) Efectos deben considerar estimación well-to-wheel de las emisiones de GEI y del consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica.

(4) Efectos deben considerar estimación well-to-wheel de las emisiones de GEI en la producción de Hidrógeno.

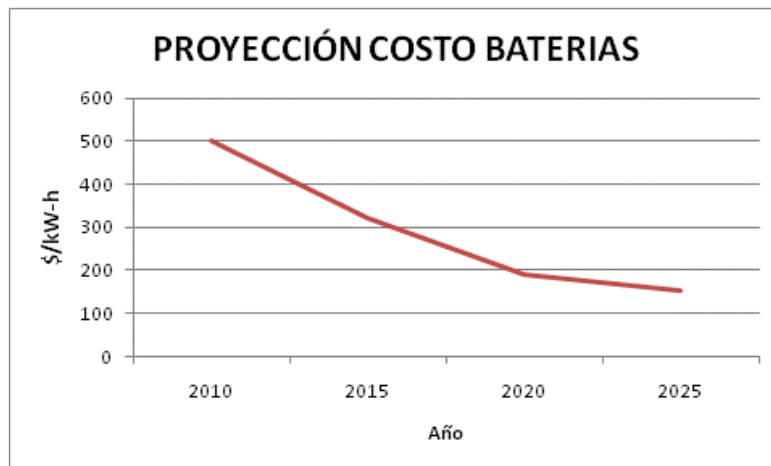
Fuente: Geasur 2009

En la estrategia de electrificación del tren de potencia el desarrollo de las baterías juega un rol fundamental, ya que estas determinan cerca del 50% del actual costo del vehículo BEV, además de la autonomía y la velocidad de recarga.

Es importante mencionar aquí que, en todo caso, respecto de las baterías se está produciendo una acelerada evolución que hacen presagiar la solución de estos desafíos en el mediano plazo. De hecho las proyecciones que hace la EPA de la evolución del precio del kW-h anticipan una reducción del 70% al 2025, en el precio de las baterías.

Un paso intermedio en esta estrategia de electrificación es el Vehículo Híbrido Eléctrico (HEV), que presenta menores costos por uso de baterías y no cuenta con problemas de autonomía o requerimientos de infraestructura de recarga.

Figura 10.10: Proyección costo de baterías



Fuente: Joint Technical Support - Technical Assessment Report

La principal ventaja del BEV respecto de sus prestaciones es el menor costo por concepto de combustible, lo que está determinado en mayor o menor medida por la evolución en el precio del petróleo.

En el mismo sentido pero con un nivel de madurez menor, los FCEV presentan los mismos desafíos que los BEV, en términos del precio del vehículo y de los requerimientos de infraestructura de recarga. El desafío que se presenta en este caso tiene que ver con la baja densidad energética del Hidrógeno, lo que obliga a almacenarlo a altas presiones en el vehículo y en las estaciones de recarga.

Elaboración técnica de la medida

En la actualidad Volvo es la única marca que actualmente tiene un bus híbrido en el mercado nacional, el cual posee características similares a un bus B2 de Transantiago.

Según datos proporcionados por el fabricante, un bus híbrido EURO V híbrido cuesta un 35% más que un bus de similares características EURO V tradicional (US\$270.000 contra US\$ 200.000).

Actualmente, según la información de flota de Transantiago existen 3.913 buses B2. Luego es posible definir escenarios de simulación o especificación de esta medida sobre la base de una meta de penetración de la tecnología en esta categoría, y una gradualidad o plazo para alcanzarla, para evaluar los impactos en emisiones. Dentro de la futura evaluación económica es importante considerar el ahorro de combustible que genera esta tecnología.

En cuanto a los buses eléctricos, está disponible en Chile un único modelo 100% eléctrico, este es el ByD K9c, homologable a un bus tipo B1 o B2. Este bus presenta un valor 2,25 veces el de un vehículo diésel de similar tamaño. La metodología de evaluación de la medida será similar a la anterior, incluyendo para la evaluación económica los costos por infraestructura de recarga requerida.

No obstante, conforme los resultados del Proyecto de Mejoramiento Tecnológico en Buses del Sistema de Transporte Público de Santiago (Sistemas Sustentables 2013), en la evaluación privada del proyecto, los ahorros no alcanzan a un punto de retorno financiero en el horizonte de evaluación (plazo de concesión).

Entonces dichos costos incrementales deberán ser financiados por tarifa, subsidio o algún incentivo que se defina como extensión en los plazos de concesión u otros.

Lo que se propone explorar en este sentido es el mecanismo de extensión de plazo utilizado en los contratos de Transantiago, el que permitió para el caso de SUBUS una extensión de 19 meses en el plazo de concesión por reacondicionamiento con DPF de cerca de 560 buses, con una inversión estimada de USD \$ 4.500.000.

En base a cálculos realizados en el estudio antes citado, se requeriría de un financiamiento adicional de USD \$ 30.000 por bus híbrido, considerando los ahorros en combustible y en mantenimiento, para hacer viable la evaluación privada del proyecto. En tal sentido 6 meses de extensión en el plazo de concesión permitirían financiar dicho costo adicional, para un 5% de la flota.

El incentivo propuesto debiera operar en base a una extensión por ahorro de combustible, en base tecnologías cuyas reducciones de consumo se encuentren certificadas mediante procedimiento estandarizado de medición en el laboratorio de vehículos pesados del 3CV, bajo un ciclo de conducción urbano. El mecanismo debe estar diseñado para garantizar una extensión de plazo a las concesiones (no a las flotas), que incorporen tecnología más eficiente, en un porcentaje equivalente al 5% de introducción de tecnología híbrida (30% de ahorro en consumo³⁹), que representan un 1,5% de ahorro total de combustible en la flota, o un equivalente en tecnología eléctrica.

Sobre la base de % deseado de penetración de la tecnología se estimará la flota híbrida y eléctrica en reemplazo de la tecnología diésel.

10.3.2 INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUACIÓN DE MEDIDA

El modelo para la estimación de emisiones de esta medida es el mismo que se utiliza en la medida anterior, ya que en la proyección de flota se estima un porcentaje de incorporación de buses híbridos necesarios de acuerdo a lo definido con la contraparte de este estudio.

10.4 MEDIDA 4: RESTRICCIÓN VEHICULAR

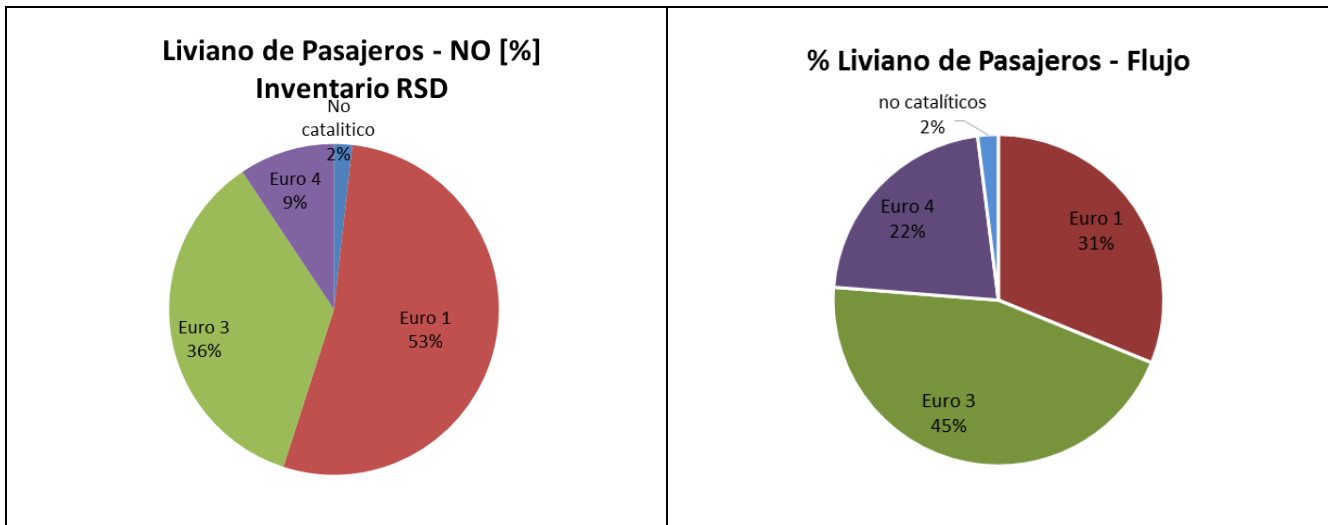
10.4.1 ANTECEDENTES

La restricción vehicular se implementó por primera vez en el año 1986 en Santiago, afectando al 20% de la flota, cada día hábil, en los periodos de alta contaminación de Santiago. En el año 1991, se modificó la restricción para eximir a los vehículos con convertidor catalítico (vehículos con sello verde), que ingresaran al país a partir del año 1993. A casi de 25 años de su implementación, dos hechos apuntan a la necesidad de rediseñar la restricción vehicular para vehículos no catalíticos: el casi nulo impacto de la restricción a vehículos no catalíticos y las actuales altas tasas de emisión de los vehículos con sello verde antiguos.

Conforme las mediciones en vía pública realizadas por el PNF, con RSD, la participación de los vehículos no catalíticos en el flujo vehicular y en las emisiones, representa sólo el 2%.

³⁹ [Sistemas Sustentables 2013]

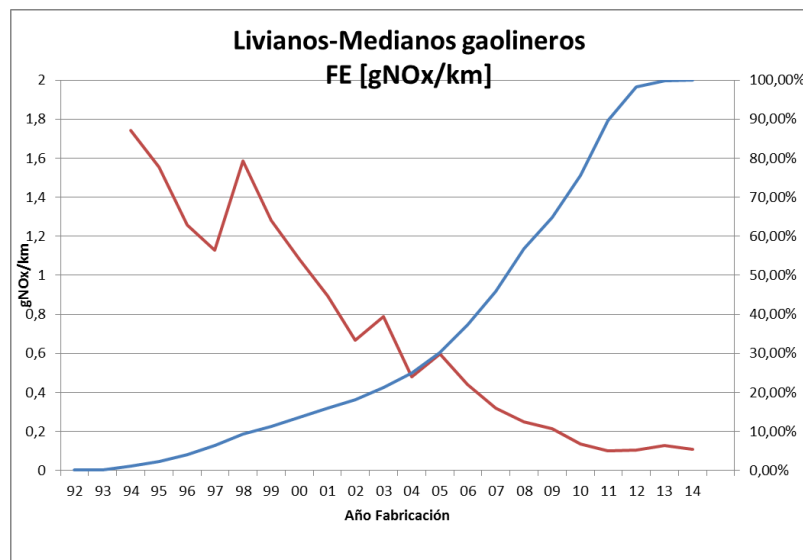
Figura 10.11: Participación de vehículos no catalíticos en el flujo y las emisiones de NOx.



Fuente: Elaboración propia con datos RSD – PNF

Así también es posible observar la gran diferencia entre los valores de emisión medidos en vehículos catalíticos gasolinero, entre los modelos año 1994 y los modelos año 2013, que es de 13 veces para el NOx.

Figura 10.12: Factor emisión promedio de NOx, según año de fabricación.



Fuente: Elaboración propia con datos RSD – PNF

Bajo estas consideraciones es posible estimar que representa, en términos de emisiones, la restricción de los vehículos catalíticos más antiguos. Esta estimación se presenta en la siguiente Tabla.

Tabla 10.21 Impacto en las emisiones por año-modelo.

Año Modelo	Acumulado NOx [Ton/año]	Acumulado HC [Ton/año]	Flujo acumulado [%]	Acumulado NOx [%]	Acumulado HC [%]	
1992	12	14	0,22%	0,29%	0,63%	
1993	46	27	0,89%	1,06%	1,16%	
1994	103	101	1,69%	2,38%	4,43%	
1995	225	269	2,89%	5,20%	11,77%	
1996	372	432	4,67%	8,60%	18,87%	
1997	505	587	6,96%	11,68%	25,67%	
1998	1083	1006	9,97%	25,03%	43,95%	
1999	1364	1168	11,85%	31,55%	51,02%	
2000	1600	1315	14,15%	37,00%	57,47%	>12 años
2001	1766	1461	16,42%	40,84%	63,83%	
2002	1879	1519	18,63%	43,44%	66,37%	>10 años
2003	2101	1877	21,74%	48,58%	82,02%	
2004	2191	1924	25,42%	50,66%	84,08%	>8 años
2005	2350	1998	30,62%	54,33%	87,33%	
2006	2515	2136	37,68%	58,14%	93,35%	
2007	2627	2187	46,25%	60,74%	95,56%	
2008	2753	2250	57,14%	63,65%	98,33%	
2009	2835	2276	65,02%	65,54%	99,47%	
2010	2924	2288	75,72%	67,60%	100,00%	
2011	3557	2288	89,74%	82,25%	100,00%	
2012	4215	2288	98,25%	97,46%	100,00%	
2013	4325	2288	99,71%	100,00%	100,00%	

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que los vehículos de más de 8 años representan el 25,43% de la actividad, pero el 50,66% de las emisiones de NOx y el 84% de las emisiones de HC.

10.4.2 INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUACIÓN DE MEDIDA

Parque vehicular

Para esta medida sólo se consideraran las siguientes categorías de vehículos: Livianos de pasajeros, livianos comerciales, medianos y motocicletas, de acuerdo a esto se excluyen a camiones según lo definido con la contraparte, ya que estos están afectos a la medida 1.- Zona de Baja Emisión, del Portafolio de Medidas.

El parque a utilizar en este modelo usa la composición tecnológica del estudio [Geasur 2013], la cual fue obtenida a través de mediciones del PNF, realizadas principalmente el año 2012, con el equipo Remote Sensing Devices (RSD). Esta composición de flota tiene la particularidad de ser representativa de los vehículos que realmente circulan por las calles.

Los porcentajes de retiro por tipo de vehículo y años de uso, son sacados del estudio "Elaboración de una Estrategia Nacional para Reducir la Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes del Sector Transporte", Anexo C, [Estrategia 2012].

Las ventas fueron ajustadas para alcanzar un crecimiento neto del parque en promedio de 4,8% para vehículos comerciales, 4,3% para las motocicletas y un 5,4% para los vehículos particulares, tal como el estudio [Estrategia 2012], que estima el mismo 5,4%, para vehículos particulares, al 2% de crecimiento del PIB. Estos porcentajes de crecimiento neto fueron considerados como un escenario conservador, pues se observa en las

estadísticas del INE una tasa histórica de crecimiento neto del parque del 7,1% para los vehículos particulares, 7,9% para motocicletas y 5,0% para comerciales.

Factores de emisión

Los factores de emisiones utilizados para el cálculo de emisiones son obtenidos de la última versión del [COPERT IV 2013], para cada una de las categorías vehiculares descritas anteriormente. Para mayor detalle ver modelo de la medida adjunto en CD adjunto.

Factores de ajuste

Al igual que en la medida 1, se utilizan los factores de deterioro del estudio [Geasur 2015]. Para mayor detalle ver **Anexo A** en CD adjunto.

Nivel de actividad y velocidad

Estos parámetros fueron obtenidos de simulaciones del modelo MODEM en la corrida 2012. Para la proyección de emisiones se realizó una corrida 2025, con dos posibles escenarios:

- 3) Con Plan Maestro de Transporte de Santiago.
- 4) Sin Plan Maestro de Transporte de Santiago.

Para estimar el nivel de actividad y velocidad de los años intermedios de proyección (2015-2024), se realiza una interpolación lineal.

Para mayor detalle de los niveles de actividad y velocidades en las corridas MODEM, ver **Anexo B** en CD adjunto.

10.5 MEDIDA 5: LÍMITES FINALES ASM

10.5.1 ANTECEDENTES

En septiembre de 2008 comenzó a regir en la Región Metropolitana el control de las emisiones en las Plantas de Revisión Técnica bajo el método ASM, para lo cual se aplicaron los límites iniciales recomendados por la Agencia Ambiental de Estados Unidos (EPA)⁴⁰. No obstante aún no se aplican los límites finales recomendados por la EPA. Para el actual Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica se busca establecer los estándares finales para el ensayo ASM. Estos límites son los que se presentan a continuación, por contaminantes regulado, para cada uno de los dos modos de medición (5015 y 2525).

⁴⁰ Acceleration Simulation Mode Test Procedures, Emission Standards, Quality Control Requirements, and Equipment Specifications. Technical Guidance

Tabla 10.22 Límites EPA Finales Por IE, Tabla ASM, según tipo de vehículo.

IE	VEHICULO LIVIANO PASAJERO							VEHICULO LIVIANO COMERCIAL (FAB >1999)							VEHICULO LIVIANO COMERCIAL (FAB <1998)						
	TABLA ASM	HC		CO		NO		TABLA ASM	HC		CO		NO		TABLA ASM	HC		CO		NO	
		5015	2525	5015	2525	5015	2525		5015	2525	5015	2525	5015	2525		5015	2525	5015	2525	5015	2525
794	1	142	136	0,8	0,77	1212	1095	2	142	136	0,8	0,77	1212	1095	3	257	249	2,02	2,43	3631	3532
850	1	134	129	0,75	0,73	1142	1031	2	134	129	0,75	0,73	1142	1031	3	243	236	1,91	2,29	3586	3323
907	1	127	123	0,71	0,69	1077	973	2	127	123	0,71	0,69	1077	973	3	230	223	1,81	2,17	3383	3131
964	1	121	116	0,68	0,66	1018	920	2	121	116	0,68	0,66	1018	920	3	219	212	1,71	2,05	3192	2955
1021	1	115	111	0,64	0,62	964	871	2	115	111	0,64	0,62	964	871	3	208	201	1,62	1,94	3018	2794
1077	1	109	106	0,61	0,59	915	827	2	109	106	0,61	0,59	915	827	3	198	192	1,54	1,85	2859	2646
1134	1	105	101	0,59	0,57	869	786	2	105	101	0,59	0,57	869	786	3	189	183	1,47	1,76	2714	2512
1191	1	100	97	0,56	0,54	828	749	2	100	97	0,56	0,54	828	749	3	181	175	1,41	1,68	2581	2389
1247	1	96	93	0,54	0,52	791	715	2	96	93	0,54	0,52	791	715	3	173	168	1,34	1,6	2460	2277
1304	1	92	89	0,52	0,5	756	684	2	92	89	0,52	0,5	756	684	3	167	161	1,29	1,54	2350	2175
1361	1	89	86	0,5	0,48	725	656	2	89	86	0,5	0,48	725	656	3	160	155	1,24	1,48	2249	2082
1417	1	86	83	0,48	0,46	696	630	2	86	83	0,48	0,46	696	630	3	155	150	1,19	1,42	2157	1997
1474	1	83	80	0,46	0,45	670	607	2	83	80	0,46	0,45	670	607	3	149	145	1,15	1,37	2073	1920
1531	1	81	78	0,45	0,43	647	585	2	81	78	0,45	0,43	647	585	3	145	140	1,11	1,32	1997	1849
1588	1	78	76	0,44	0,42	625	566	2	78	76	0,44	0,42	625	566	3	140	136	1,08	1,28	1926	1784
1644	1	76	74	0,42	0,41	605	547	2	76	74	0,42	0,41	605	547	3	136	132	1,05	1,24	1862	1724
1701	1	74	72	0,41	0,4	586	531	2	74	72	0,41	0,4	586	531	3	133	129	1,02	1,2	1802	1669
1758	1	72	70	0,4	0,39	569	515	2	72	70	0,4	0,39	569	515	3	129	125	0,99	1,17	1747	1618
1814	1	71	68	0,39	0,38	553	501	2	71	68	0,39	0,38	553	501	3	126	122	0,96	1,14	1695	1570
1871	1	69	67	0,38	0,37	538	487	2	69	67	0,38	0,37	538	487	3	123	119	0,94	1,11	1647	1526
1928	1	67	65	0,37	0,36	524	475	2	67	65	0,37	0,36	524	475	3	120	117	0,92	1,08	1602	1484
1985	1	66	64	0,36	0,35	510	463	2	66	64	0,36	0,35	510	463	3	118	114	0,89	1,06	1559	1444
2041	1	65	63	0,36	0,35	498	451	2	65	63	0,36	0,35	498	451	3	115	112	0,87	1,03	1518	1406
2098	1	63	61	0,35	0,34	486	440	2	63	61	0,35	0,34	486	440	3	113	109	0,85	1,01	1479	1370
2155	1	62	60	0,34	0,33	474	430	2	62	60	0,34	0,33	474	430	3	110	107	0,84	0,99	1441	1336
2211	1	61	59	0,34	0,33	463	420	2	61	59	0,34	0,33	463	420	3	108	105	0,82	0,97	1405	1302
2268	1	60	58	0,33	0,32	452	410	2	60	58	0,33	0,32	452	410	3	106	103	0,8	0,95	1369	1269
2325	1	58	57	0,32	0,31	441	400	2	58	57	0,32	0,31	441	400	3	104	101	0,78	0,92	1335	1237
2381	1	57	56	0,32	0,31	431	391	2	57	56	0,32	0,31	431	391	3	102	99	0,77	0,9	1301	1206
2438	1	56	55	0,31	0,3	420	382	2	56	55	0,31	0,3	420	382	3	100	97	0,75	0,89	1269	1176
2495	1	55	54	0,3	0,3	410	373	2	55	54	0,3	0,3	410	373	3	98	95	0,73	0,87	1237	1147
2551	1	54	53	0,3	0,29	401	364	2	54	53	0,3	0,29	401	364	3	96	93	0,72	0,85	1206	1118
2608	1	53	52	0,29	0,29	391	356	2	53	52	0,29	0,29	391	356	3	94	91	0,7	0,83	1176	1090
2665	1	52	51	0,29	0,28	383	348	2	52	51	0,29	0,28	383	348	3	92	90	0,69	0,81	1147	1064

IE	VEHICULO LIVIANO PASAJERO							VEHICULO LIVIANO COMERCIAL (FAB >1999)							VEHICULO LIVIANO COMERCIAL (FAB <1998)						
	TABLA ASM	HC		CO		NO		TABLA ASM	HC		CO		NO		TABLA ASM	HC		CO		NO	
		5015	2525	5015	2525	5015	2525		5015	2525	5015	2525	5015	2525		5015	2525	5015	2525	5015	2525
2722	1	51	50	0,28	0,28	374	340	2	51	50	0,28	0,28	374	340	3	90	88	0,67	0,8	1120	1039
2778	1	50	49	0,28	0,27	366	333	2	50	49	0,28	0,27	366	333	3	89	86	0,66	0,78	1094	1015
2835	1	50	48	0,27	0,27	359	326	2	50	48	0,27	0,27	359	326	3	87	85	0,65	0,77	1070	993
2892	1	49	48	0,27	0,26	352	320	2	49	48	0,27	0,26	352	320	3	86	84	0,64	0,76	1049	973
2948	1	48	47	0,26	0,26	346	315	2	48	47	0,26	0,26	346	315	3	85	83	0,63	0,74	1030	956
3005	1	48	46	0,26	0,26	341	311	2	48	46	0,26	0,26	341	311	3	84	82	0,62	0,73	1014	941
3062	1	47	46	0,26	0,26	338	307	2	47	46	0,26	0,26	338	307	3	83	81	0,61	0,73	1003	931
3118	1	47	46	0,26	0,25	335	305	2	47	46	0,26	0,25	335	305	3	83	81	0,61	0,72	995	924
3175	1	47	46	0,25	0,25	335	305	2	47	46	0,25	0,25	335	305	3	83	80	0,61	0,72	992	921
3232	1	47	46	0,25	0,25	335	305	2	47	46	0,25	0,25	335	305	3	82	80	0,61	0,72	992	921
3289	1	47	46	0,25	0,25	335	305	2	47	46	0,25	0,25	335	305	3	82	80	0,61	0,72	992	921
3345	1	47	46	0,25	0,25	335	305	2	47	46	0,25	0,25	335	305	3	82	80	0,61	0,72	992	921
3402	1	47	46	0,25	0,25	335	305	2	47	46	0,25	0,25	335	305	3	82	80	0,61	0,72	992	921

Fuente: Elaboración Propia.

La aplicación de los límites de emisión a cada vehículo está definida por seis tablas contenidas en el Decreto Supremo 149/2006 del MTT. Las primeras cinco tablas basan la elección de los límites en la clasificación del vehículo, en la inercia equivalente del vehículo y en el año modelo del mismo, información que se concentra en un listado que la autoridad entrega a cada concesionario del servicio de revisión técnica vehicular.

La sexta tabla aplica a todos aquellos vehículos que no están contenidos en el listado mencionado anteriormente. En este caso, los límites aplicables dependen de la cilindrada del vehículo, del tipo de vehículo y de su año de fabricación.

La diferencia básica existente entre las tablas es que en cada una de las cinco primeras existen límites de emisión distintos para 47 estratos vehiculares definidos por su inercia equivalente; en tanto que en la sexta tabla, sólo existen tres distintos límites de emisión, los cuales están determinados por la cilindrada del motor, como tabla por defecto.

A continuación se presentan las tasas de rechazo para los taxis colectivos y vehículos comerciales, considerando los límites finales de la EPA (mayor detalle ver anexo D en CD adjunto).

Tabla 10.23 Tasas de rechazo límites EPA Finales.

	Norma	Año fabricación	Año uso	% rechazo
Taxis colectivos	Euro I	2002	>13	66%
	Euro I	2003	12	56%
	Euro I	2004	11	54%
	Euro III	2005	10	58%
	Euro III	2006	9	52%
	Euro III	2007	8	53%
	Euro III	2008	7	52%
	Euro III	2009	6	50%
	Euro III	2010	5	47%
	Euro IV	2011	4	20%
	Euro IV	2012	3	10%
	Euro IV	2013	2	8%
	Euro IV	2014	1	3%
	Euro V	2015	0	1%
	Vehículos comerciales	Euro I	1993	>22
Euro I		1994	21	55%
Euro I		1995	20	58%
Euro I		1996	19	59%
Euro I		1997	18	60%
Euro I		1998	17	61%
Euro II		1999	16	52%
Euro II		2000	15	50%
Euro II		2001	14	49%
Euro II		2002	13	51%
Euro II		2003	12	52%
Euro II		2004	11	47%
Euro III		2005	10	48%
Euro III		2006	9	38%
Euro III		2007	8	32%
Euro III		2008	7	31%
Euro III		2009	6	25%
Euro III		2010	5	18%
Euro IV		2011	4	12%
Euro IV		2012	3	6%
Euro IV		2013	2	6%
Euro IV		2014	1	2%

Fuente: Elaboración Propia-PRT2014.

10.5.2 INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUACIÓN DE MEDIDA

Para analizar el efecto que tiene un incremento en las exigencias del estándar ASM, se utiliza el modelo de la medida 4 (Restricción vehicular), sin embargo es necesario incorporar a este un porcentaje de reducción en el factor de emisión (FE), por efecto de la reparación de los vehículos que son rechazados en la Planta de Revisión técnica (PRT), pues se espera que con incremento en el nivel de exigencia afecte directamente a un aumento en las tasas de rechazo.

A partir de lo anterior, para ver el efecto de esta medida es necesario determinar las tasas de rechazo de los vehículos con el estándar actual y con nueva exigencia, para finalmente estimar la tasa de rechazados adicionales. Estas tasas son calculadas de la última información disponible de las PRT (año 2014).

Para estimar el efecto del nuevo límite se considera que el FE es resultado de la flota limpia (que aprueban el límite) y la flota sucia (de rechazados por el límite), siendo α_i el porcentaje de vehículos sucios para el contaminante i , se tiene que el FE promedio de la flota, el contaminante i es:

$$FE_i = \alpha_i * FE_{rech,i} + (1 - \alpha_i) * FE_{aprob,i} \quad \text{Ecuación 20}$$

Considerando que las emisiones másicas del motor son función de la concentración volumétrica de contaminantes en los gases de escape, ponderado por el flujo de dichos gases y la densidad del contaminante, se tiene que la medición de ASM, normalizado por el límite correspondiente (NE), que ya es función del tamaño del vehículo y del flujo de gases, es entonces proporcional a las emisiones másicas, entonces asumiremos que:

$$\frac{NE_{rech,i}}{NE_{aprob,i}} = \frac{FE_{rech,i}}{FE_{aprob,i}} = k \quad \text{Ecuación 21}$$

Por otra parte podemos suponer que los vehículos rechazados con el nuevo límite serán reparados con una eficacia de reparación f , que representa la reducción del FE en un porcentaje de 30% para el NOx y del 70% para el HC y CO⁴¹. No obstante, se asume que existe una distribución uniforme de los vehículos sucios entre el valor de reparación ($FE_{rep,i}$) y el de rechazo, Con lo anterior se tiene que el FE de la flota, con proyecto es:

$$FE_{rep,i} = FE_{rech,i} * f$$

$$FE_i^{Proy} = \left[FE_{rep,i} + \frac{(FE_{rech,i} - FE_{rep,i})}{2} \right] * \alpha_i + FE_{aprob,i} * (1 - \alpha_i)$$

Ecuación 22

Donde:

$$FE_{rech,i} = \frac{FE_i}{[\alpha_i + (1 - \alpha_i)/k]} \quad \text{Ecuación 23}$$

Y,

$$FE_{aprob,i} = \frac{FE_i}{k} \quad \text{Ecuación 24}$$

Mediante el análisis de las bases de PRT 2014 se pudo determinar las tasas de rechazo con el nuevo límite, α_i , los Niveles de Emisión de aprobados y rechazados ($NE_{aprob,i}/NE_{rech,i}$). Las tasas de rechazo se estiman por año

⁴¹ Corresponde a las eficiencias requeridas para la certificación de convertidores catalíticos de reposición según DS182/2000 del MTT.

de fabricación, lo que permite incorporar el efecto de la renovación, en el escenario base o con restricción vehicular, reduciendo la tasa global de rechazo de la flota conforme se retiran los vehículos más viejos.

10.6 MEDIDA 6: LÍMITES DE EMISIÓN CON RSD PARA VEHÍCULOS LIVIANOS Y PESADOS.

10.6.1 ANTECEDENTES

RSD es una tecnología especialmente diseñada para colocarse junto a las vías públicas para medir las emisiones de los vehículos usando rayos ultravioletas e infrarrojos de baja intensidad. Este equipo permite detectar las emisiones en carga de los vehículos que pasan en el flujo sin necesidad de detenerlos.

RSD está diseñado para medir las concentraciones de Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos (HC), Monóxidos de Nitrógeno (NO) y Material Particulado en los gases de escape. Estas mediciones pueden ser utilizadas para una gran variedad de aplicaciones incluida la determinación de vehículos sucios y limpios.

Figura 10.13: Equipo RSD en la vía pública



Fuente: Manual del operador RSD4600

En concreto esta medida tiene que ver con las estrategias de I/M que operan actualmente en la Región Metropolitana. En la actualidad las Plantas de Revisión Técnica son las encargadas de aplicar el ensayo ASM a la flota de vehículos en uso. No obstante distintos diagnósticos hacen dudar de la actual efectividad de este esquema de control.

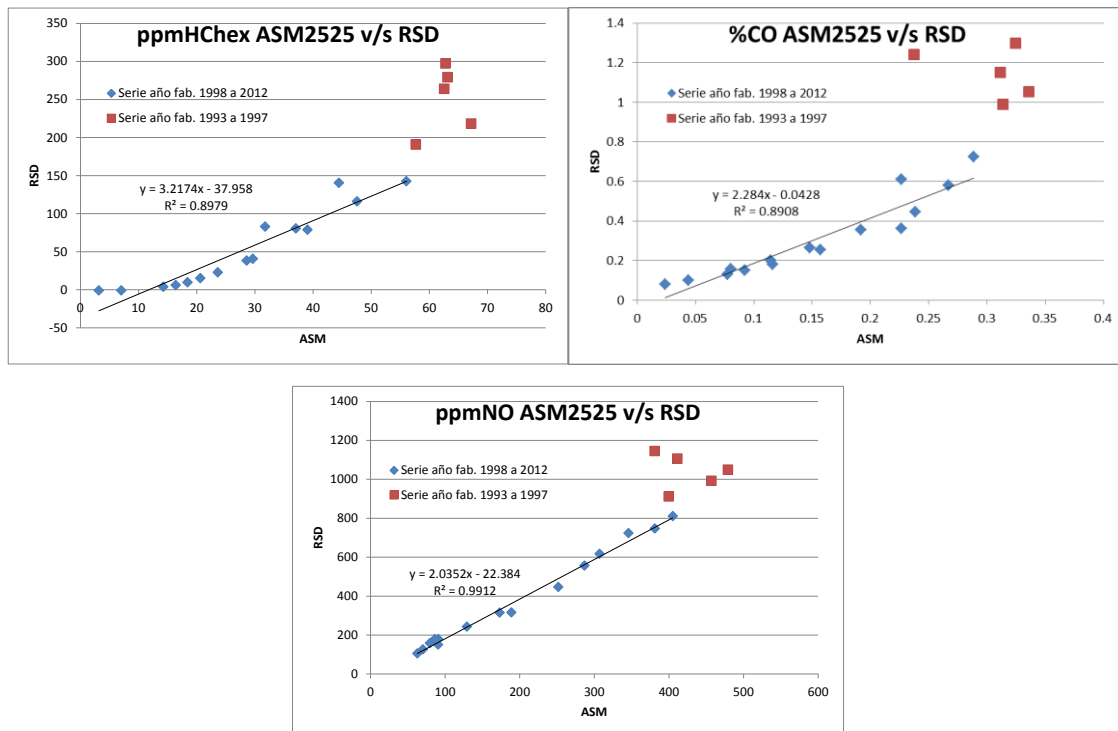
Un análisis exhaustivo de las bases de datos facilitadas por las Plantas de Revisión Técnica, realizado el [Dictuc 2009]⁴² permitió detectar problemas en la consistencia química y física de un porcentaje relevante de los resultados y los registros, tales como:

- Resultados de dióxido de carbono excesivamente altos.
- Resultados de dióxido de carbono excesivamente bajos.
- Resultados de oxígeno excesivamente altos.
- Resultados de balance de masa extraños.
- Registros ambientales de temperatura y presión barométrica incorrectos.
- Valores nulos en emisiones CO, NOx ó HC.

⁴² Apoyo a la implementación de nuevas medidas del PPDA en el sector transporte, DICTUC 2009.

Por otra parte en el estudio “Estudio de Implementación de RSD para la Región Metropolitana” [Geasur 2013], al comparar los resultados de PRT con las mediciones de RSD realizadas en la vía pública, se observa una buena correlación entre ambas, salvo que la medición ASM realizada en la PRT, subestima las emisiones por parte de los vehículos de mayores emisiones (vehículos antiguos), en todos los contaminantes regulados, como se muestra en la siguiente gráfica:

Figura 10.14: Correlación de mediciones promedio por año de fabricación, RSD v/s 2525, VLP, en campaña mediciones 2012.



Fuente: GEASUR 2013

La gráfica anterior muestra que con el actual método de control ASM en PRT, existe una subestimación de las emisiones de los vehículos sucios (antiguos) que resulta considerable y que constituye un exceso de emisiones del sistema que podría ser capturado por RSD.

Dos de las estrategias más comunes para la implementación de un programa de RSD, es para la detección de vehículos limpios y/o vehículos sucios. Un vehículo sucio es un automóvil que sobrepasa el límite máximo de emisiones establecido por el programa I/M, por ejemplo el límite ASM. A su vez un vehículo limpio es aquel que se encuentra en el percentil de menores emisiones (habitualmente en el 5% más limpio).

Estos vehículos son por lo general sometidos a una inspección ASM adicional para verificar que hayan solucionado el problema de emisiones y evitar el exceso de emisiones por el kilometraje que reste hasta la próxima inspección ASM programada. La ventaja de estos programas es también que se tiene mejor control sobre los vehículos que realizan fraude o “tampering” en la revisión técnica y permite también la fiscalización de los vehículos de otras regiones, que no cuentan con inspección ASM pero que circulan por la región o ciudad a ser controlada.

La otra estrategia tiene relación con la identificación de vehículos limpios. Esto es vehículos son eximidos de la inspección técnica obligatoria, lo que conlleva ahorros para los usuarios (tarifa, tiempo, costos del viaje a una PRT, etc) y un sistema I/M más costo-efectivo, ya que se orienta a la inspección de los vehículos que podrían requerir reparación.

Cada una de estas estrategias implica la necesidad de contar con un método de inspección on-road (RSD en nuestro caso), que detecte adecuadamente los vehículos sucios y limpios. En países como México o en el estado de California de EEUU. Utilizan límites planos como puntos de corte para identificar a vehículos sucios. Estos límites son:

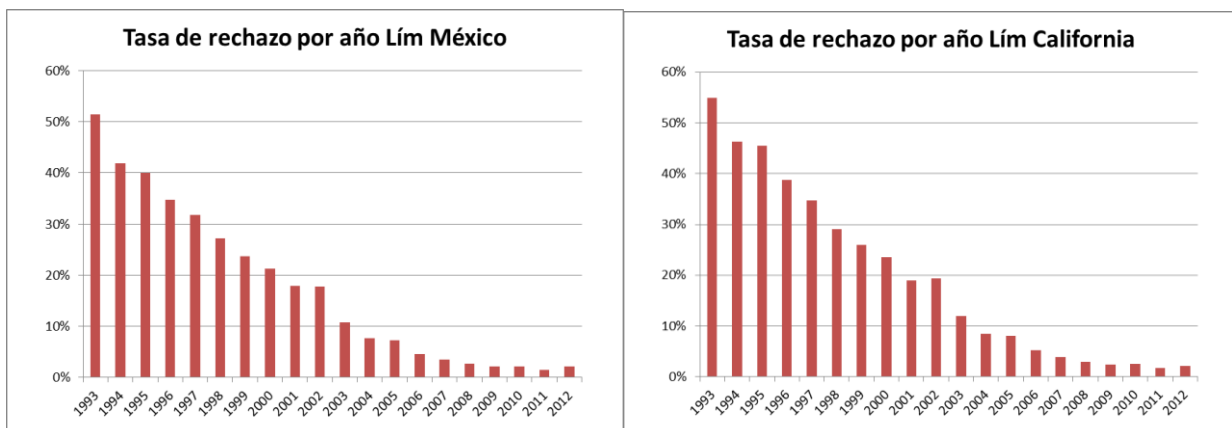
Tabla 10.24 Límites RSD vehículos sucios México y California.

	ppmHC	%CO	ppmNO
México	1000	3	1500
California	1000	2	1500

Fuente: [Geasur 2013]

Si se analiza la tasa de rechazo por año de fabricación, aplicando los límites de México y California a las mediciones de la flota de la RM, se observan las altas tasas de rechazo por año modelo de los vehículos entre 1993 al 2000. Llegando a tener una tasa del 54% y 52% en los modelos del año 1993.

Figura 10.15: Tasa de rechazo por año modelo para México y California



Fuente: [Geasur 2013]

i. Programa vehículos limpios (Clean Screening).

En la actualidad los vehículos de menos de 5 años están exentos de 4 de las cinco revisiones anuales que se estipulan para los otros vehículos del Parque. En efecto, mediante el porte del Certificado de Homologación quedan eximidos de portar el certificado de revisión técnica hasta por 36 meses, luego de lo cual deben realizar su primera revisión técnica, la que a su vez tiene una vigencia de 24 meses.

Esto representa ventajas para el sistema toda vez que permite focalizar sus esfuerzos sobre los vehículos más contaminantes y a su vez tiene ventajas para el usuario considerando el ahorro de tiempo y de dinero que significa ahorrarse 4 de 5 revisiones. No obstante esto es bajo el supuesto que efectivamente estos vehículos son vehículos limpios.

En un esquema de “Clean Screening”, podría cambiarse el enfoque de este beneficio, bajo el entendido que se constata mediante un programa de mediciones RSD, que no se trata de vehículos sucios. Bajo este supuesto aquellos vehículos de menos de 5 años quedan exentos de la revisión técnica durante el período completo de 5 años en tanto un programa de verificación en ruta (RSD) no constata que son altos emisores. Esto bajo la condición que a cambio de este beneficio deben cancelar igualmente la tarifa de la revisión técnica correspondiente.

Una estimación de los recursos recaudados por este concepto, considerando una tarifa de \$ 17.500 por revisión, y una tasa anual de ingreso de 5%, lo que da un aproximado de 75.000 vehículos para la RM, que se incorporan anualmente y que podrán optar a este beneficio, recaudando un total de USD \$ 1.875.000, que a un parque acumulado a 5 años representa una cifra de cercana a los USD \$ 10 millones. Esta cifra permitiría financiar no sólo el programa de vigilancia con RSD sino también otras de las medidas planteadas en el Plan de Descontaminación.

Se necesitaría para este efecto generar un sistema de recaudación en línea y/u otro de recaudación física y un sistema de envío de los sellos y comprobantes equivalentes a la Revisión Técnica al domicilio requerido.

El límite en RSD a aplicar a estos vehículos es el de vehículos limpios, que por lo general se define como el percentil 20% de la flota.

ii. Programa vehículos sucios (“High Emitters”).

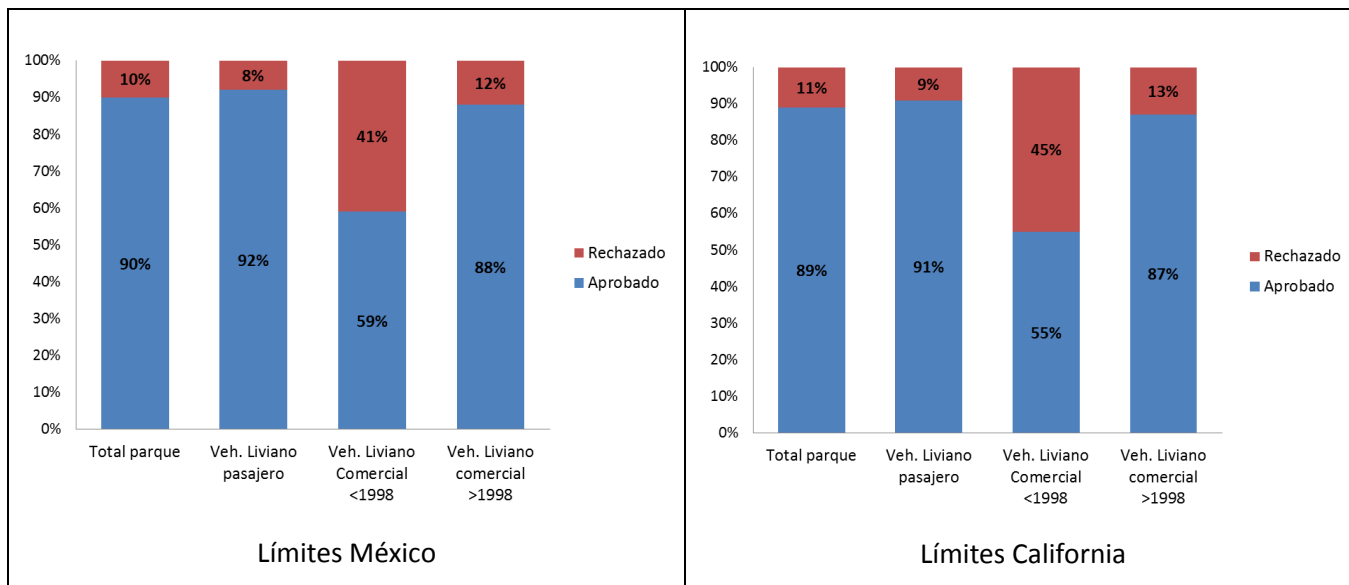
En el caso de este programa el objetivo es aplicar un límite máximo de emisiones por contaminante, que permita capturar a los altos emisores.

Se propone finalmente un límite parejo para la flota, dado que un análisis más detallado que permita identificar a partir de la PPU todas las características técnicas necesarias para clasificar en detalle el tipo de vehículo o la norma de emisiones que le aplica, requiere de un desarrollo más complejo.

Los vehículos identificados como altos emisores deberán acudir a una revisión técnica adicional, o bien serán multados tipo parte empadronado. En la PRT deberán acreditar el cumplimiento del estándar ASM correspondiente.

Se propone aplicar el mismo límite de California o Ciudad de México antes expuesto, lo que genera las tasas de rechazo que se presentan en los gráficos que siguen.

Figura 10.16: Límites Sensor Remoto



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en estos gráficos anteriores la tasa de rechazo es en general pareja, excepto para los vehículos comerciales antiguos. Se trata de vehículos registrados en el RNVM como tipo camioneta, furgón, Jeep o Todo Terreno, para los cuales se podría manejar un límite menos estricto, sobre la base de su año-modelo, toda información disponible en el cruce con la base del Registro Nacional de Vehículos Motorizados (RNVM).

Para la implementación se requeriría un total de 5 unidades de sensor remoto operando simultáneamente en Santiago, las que operando en forma continua 5 días a la semana, las cuatro semanas del mes y los 12 meses del año, tendrían una capacidad de medición de 530.000 vehículos (Vehículos no repetidos). Se puede asumir una tasa de notificación de altos emisores del 4% (21.000 vehículos/año), lo que representa un total de emisiones evitadas al año de 5% de NOx⁴³.

En la práctica, RSD funciona como una herramienta de fiscalización que permite asegurar el beneficio de la implementación de los límites ASM, evitando, con fiscalización en ruta, la evasión o el fraude en el control en la PRT. En tal sentido figura como un costo de fiscalización, pero sus beneficios se recogen en la modelación de la norma ASM.

10.7 MEDIDA 7: PROGRAMA REDUCCIÓN EMISIONES PARA MAQUINARIA CONSTRUCCIÓN.

⁴³ Todas estimaciones preparadas por Envirotest, sobre la base de las mediciones realizadas en Santiago por el programa de fiscalización.

10.7.1 ANTECEDENTES

En relación con esta medida, a manera de ejemplo, se puede considerar los distintos esquemas que se han implementado en Europa para mitigar las emisiones provenientes de la maquinaria de construcción o en general de los sitios de construcción. Estos esquemas se pueden agrupar en cuatro tipos:

- Requerimiento de filtros de partículas (DPF) para toda la maquinaria de la construcción (Ejemplo Suiza).
- Requerimiento de DPF en ciertas áreas (Ej: Austria y Suecia).
- Esquemas completamente limpios de construcción implementados a través de planes de construcción que cubren tanto a la maquinaria como otras emisiones de partículas y polvo, emisiones de ruido y aspectos de seguridad (Ej: Londres).
- Adquisiciones limpias o verdes por parte de la autoridad, donde los servicios públicos encargados de contratar obras, colocan requerimientos específicos.

La importancia que ha adquirido el control de las emisiones de la maquinaria de la construcción tiene que ver con los siguientes puntos:

- La maquinaria de la construcción opera con motores diésel, que históricamente no han contado con regulaciones para el control de emisiones, por lo que sus emisiones son mucho más sucias que la de otros motores diésel en ruta (camiones, buses, vehículos particulares).
- Las emisiones diésel son una prioridad en salud y cambio climático, toda vez que han sido declaradas cancerígenas por la WHO y que poseen un potencial de calentamiento de 1.600 veces el del CO₂.
- Son motores que operan en zonas urbanas densamente pobladas, próximos a la población.
- Cuando se ha calculado su impacto en las emisiones y en la calidad del aire este llega a ser mucho más importante que lo esperado. Conforme la Tabla 1.1 de las bases, este sector representa el 22% de las emisiones MP_{2.5} del transporte (al mismo nivel de la participación de los camiones conforme MOMEM 2010) y un 12% de las emisiones de NO_x.

Un caso ejemplar en la aplicación de esta medida es el de Suiza el que comenzó con programas piloto en los noventa, luego con exigencias para los contratos de obras públicas, siguió con el reacondicionamiento de la maquinaria para construcciones subterráneas (túneles) el año 2002, para culminar con una ordenanza que obliga al uso de maquinaria con Filtros en el 100% de la maquinaria sobre 37 kW de potencia. Esta última exigencia se detalla a continuación:

Tabla 10.25: Fecha de entrada en vigencia Suiza

Potencia del Motor de la Maquinaria de Construcción	Año de Fabricación (A-F)	Fecha de entrada en vigencia de la regulación
> 37 kW	Motores Nuevos, A-F 2009 y posterior	01/01/2009
	Motores en uso, A-F 2000 a 2008	01/05/2010
	Motores en uso, A-F anterior al 2000	01/05/2015
Entre 18 a 37 kW	Motores nuevos, A-M 2010 y posterior	01/01/2010
	Motores en uso, A-M 2010 y posterior	Sin reacondicionamiento

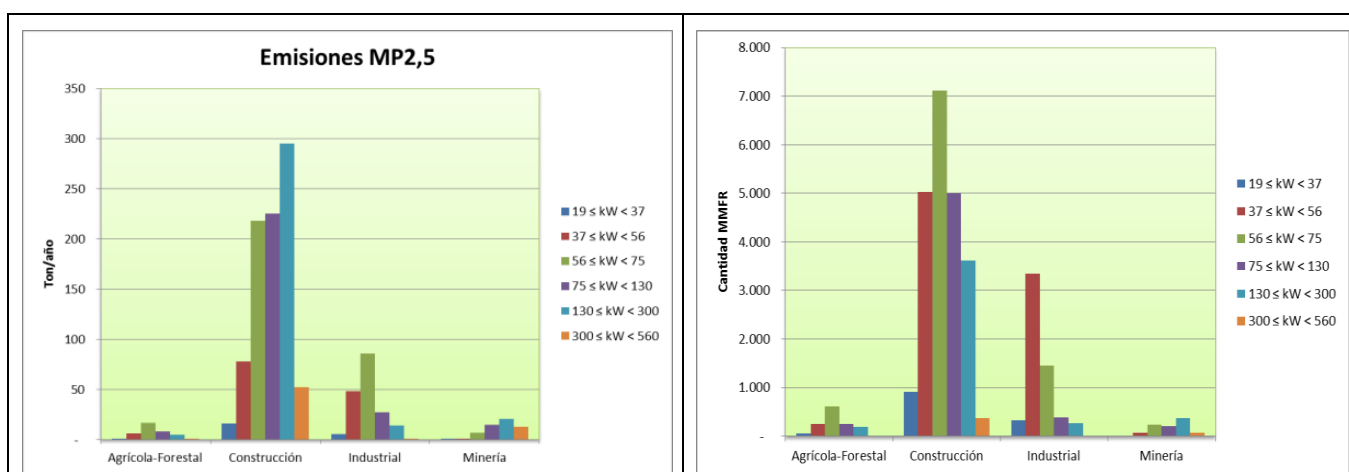
Fuente: Gerhard Leutert, COSUDE misión a Santiago, Septiembre 2015.

En Chile contamos con experiencia en el reacondicionamiento de motores diésel. En la actualidad circulan 3.200 buses con filtro de partículas en la flota de Transantiago, y se cuenta con proveedores en Chile de tecnología certificada por el 3CV.

En cuanto a la flota objetivo y gradualidad de la exigencia, se cree preferible comenzar con exigencias a nivel de contratos con las obras públicas de gobiernos, con exigencias de cumplimiento sobre la flota contratada para la realización de estas obras, como lo hiciera Suiza. Esto representa un impacto estimado sobre el 33% de la actividad y de la flota conforme la inversión en construcción desagregada por sectores, informado por la Cámara Chilena de la Construcción para el año 2012.

Una buena caracterización de la flota permite apuntar adecuadamente la exigencia hacia las categorías más costo efectivo.

Figura 10.17: Caracterización Maquinaria fuera de ruta en la RM.



Fuente: [Geasur 2014].

En base a lo anterior se considera una exigencia para el año 2017, la operación con filtro de partículas de al menos un 30% de la maquinaria de más de 56 kW, que participe en proyectos ejecutados o licitados por el sector público, ya sea maquinaria propia o sub contratada. Lo que se estima en cerca de 2.000 máquinas. Para el 2020 la exigencia sube al 100% de la flota (5.300 máquinas)⁴⁴

Es relevante en este punto generar una experiencia piloto tal como se hizo con los buses y crear condiciones de fiscalización que aseguren el cumplimiento de la medida.

Es importante contar en esta etapa con instancias sectoriales de autorización de trabajos y obras que podrían servir como instancias de control, contando con la respectiva capacitación y equipamiento (Ejemplo: Secretaría Regional Ministerial de Salud).

10.7.2 INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUACIÓN DE MEDIDA

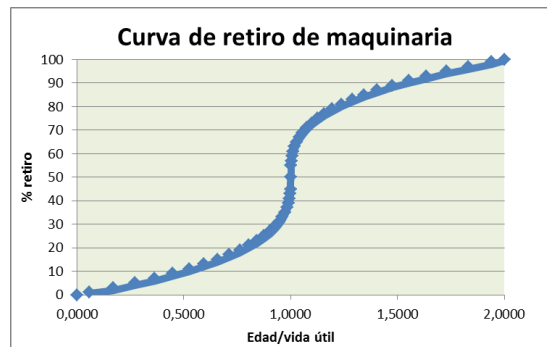
⁴⁴ Flota considerada sobre la base del estudio Geasur 2014.

Flota

Para la estimación de las emisiones es necesario caracterizar la flota de la maquinaria existente en la Región Metropolitana, específicamente las utilizadas en construcción. De acuerdo al estudio [Geasur 2014], se dispone de un modelo de emisiones para la maquinaria móvil fuera de ruta caracterizado en detalle, conociendo información relevante, por ejemplo potencia media de la maquinaria, rubro, norma de emisión, etc. Una descripción detallada del modelo de cálculo de emisiones se encuentra en el capítulo 4.1. del Informe Final de dicho estudio.

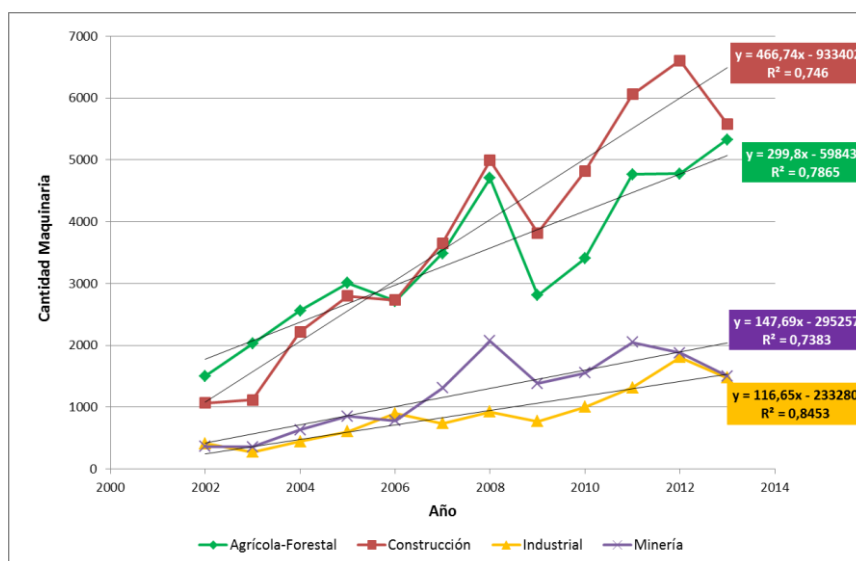
La flota total considerada en el modelo resulta del análisis de las importaciones de maquinaria reportada por Aduana en el periodo 2000-2013. Para el crecimiento de la flota se consideró la curva de chatarrización propuesta por la EPA, que es función de las horas de uso, factor de carga y la vida media del motor, y la proyección de las ventas a partir de los datos históricos de venta de maquinaria, estimada en el estudio [Geasur 2014].

Figura 10.18: Curva de chatarrización.



Fuente: [Geasur 2014]

Figura 10.19: Regresión lineal ajustada para la importación de maquinaria, por rubro.



Fuente: [Geasur 2014]

Factores de emisión

Corresponde a los factores de emisión definidos por [Corinair 2013], que se indica a continuación:

Tabla 10.26: Factores de emisión maquinaria fuera de ruta.

Potencia (kW)	Tipo de tecnología	BSFC [g/kW-hr]	Factor de emisión [g/kW-hr]			
			VOC	CO	NOx	PM
19 ≤ kW < 37	Sin norma	269	2,91	6,43	14,4	1,81
	Stage I		2,91	6,43	14,4	1,81
	Stage II		1,5	5,5	8	0,8
	Stage IIIA		1,1	5,5	6,4	0,6
37 ≤ kW < 56	Sin norma	265	2,28	5,06	14,4	1,51
	Stage I		1,3	5,06	9,2	0,85
	Stage II		1,3	5	7	0,4
	Stage IIIA		0,7	5	4	0,4
	Stage IIIB		0,7	5	4	0,025
56 ≤ kW < 75	Sin norma	265	2,28	5,06	14,4	1,51
	Stage I		1,3	5,06	9,2	0,85
	Stage II		1,3	5	7	0,4
	Stage IIIA		0,7	5	4	0,4
	Stage IIIB		0,19	5	3,3	0,025
	Stage IV		0,19	5	0,4	0,025
75 ≤ kW < 130	Sin norma	260	1,67	3,76	14,4	1,23
	Stage I		1,3	3,76	9,2	0,7
	Stage II		1	3,76	6	0,3
	Stage IIIA		0,5	3,76	3,5	0,3
	Stage IIIB		0,19	5	3,3	0,025
	Stage IV		0,19	5	0,4	0,025
130 ≤ kW < 300	Sin norma	254	1,3	3	14,4	1,1
	Stage I		1,3	3	9,2	0,54
	Stage II		1	3	6	0,2
	Stage IIIA		0,5	3	3,5	0,2
	Stage IIIB		0,19	3	2	0,025
	Stage IV		0,19	3	0,4	0,025
300 ≤ kW < 560	Sin norma	254	1,3	3	14,4	1,1
	Stage I		1,3	3	9,2	0,54
	Stage II		1	3	6	0,2
	Stage IIIA		0,5	3	3,5	0,2
	Stage IIIB		0,19	3	2	0,025
	Stage IV		0,19	3	0,4	0,025

(1): También se consideran FE para CO₂, SO₂, Consumo, N₂O, CH₄ y NH₃.

Fuente: [Geasur 2014]

Para el caso de la maquinaria con filtro se ha supuesto una eficiencia en la reducción del MP del 90%.

10.8 MEDIDA 8: IMPLEMENTACIÓN CORREDORES TRANSPORTE PÚBLICO.

10.8.1 ANTECEDENTES

Esta medida consiste en la implementación de infraestructura dedicada exclusivamente a servicios de transporte público de pasajeros, teniendo como objetivo el fomento del modo bus. Específicamente, analiza la construcción de corredores exclusivos para buses, separados físicamente del flujo vehicular, y de paraderos con pago extra vehicular, proporcionando una mejor y más densa red de corredores en las arterias viales de Santiago.

El fundamento para la implementación de esta medida se basa en la realización de una mejor asignación del espacio vial, teniendo en cuenta que el transporte público masivo es más eficiente tanto en el uso de espacio como en las emisiones que produce por pasajero transportado. Además presenta una serie de beneficios adicionales, dentro de los que se pueden mencionar los siguientes:

- Aumento en la velocidad comercial de los buses
- Mejoras en los tiempos de viajes de los usuarios de transporte público
- Disminución de la variabilidad del tiempo de viaje en bus al no estar afectados por la congestión
- Aumento de la durabilidad de ciertos componentes de los buses
- Reducción de emisiones al minimizar aceleraciones y frenados
- Revertir o al menos detener el aumento de la participación del automóvil en los viajes

Esta medida posee las siguientes barreras de implementación:

- Es una medida que requiere de altos costos de inversión.
- La falta de disponibilidad de terrenos, ya que se podría requerir la expropiación de propiedades para uso público en ciertos sectores.
- Es una medida que se debe planificar a largo plazo.
- Con respecto a los paraderos con cobro extravehicular, las barreras son institucionales, ya que no existe una clara definición sobre si la responsabilidad de implementar y mantener paraderos es de las empresas operadoras de transporte público, del Gobierno o de las municipalidades.

Teniendo en cuenta la existencia de estas barreras se debe establecer una serie de acciones que tendrán incidencia en el éxito que pueda tener la instauración de esta medida. Estas acciones son:

- Tomar en cuenta las necesidades de la comunidad. Desarrollar grupos de participación ciudadana.
- Definir estándares claros que sean aprobados por la comunidad.
- Minimizar los impactos en el entorno al lugar en que se emplazará el corredor.
- Enmarcar esta medida en un Plan Nacional de sistemas de transporte rápido de buses (BRT).
- Hacer una buena campaña de difusión, donde se deje en claro los beneficios de esta medida, entre los que se puede mencionar la reducción en el tiempo de viaje y en las emisiones de contaminantes locales.

En la siguiente tabla se muestra la tasa de crecimiento de los viajes realizados en Santiago, entre los años 2001 y 2012, de acuerdo a las Encuestas Origen Destino de ambos años. Se puede ver un deterioro en la participación del transporte público (Bip!), lo que queda en evidencia con el hecho que el modo motorizado más usado paso a ser el automóvil en el año 2012 tal como se muestra en la Tabla 11.28.

Tabla 10.27 Tasa de crecimiento de viajes EOD 2001-2012

Modo	Tasa
Auto	3,10%
Taxi Colectivo	1,60%
Taxi Básico	4,80%
Bicicleta	6,80%
Bip!	-0,40%
Bus	-4,20%
Metro	7,00%
Bus – Metro	18,80%

Fuente: www.sectra.cl

Tabla 10.28 Partición modal Encuesta Origen-Destino 2012

Modo de transporte	Miles de viajes diarios	%
Auto	4.748,60	25,7
Bip!	4.171,30	22,6
Bip! – Otros público	301,9	1,6
Bip! – Otros privado	148,2	0,8
Taxi colectivo	530,4	2,9
Taxi básico	315	1,7
Otros	1.135,40	6,2
Caminata	6.363,30	34,5
Bicicleta	747,1	4
Total	18.461,10	100

Fuente: www.sectra.cl

La tendencia a un mayor uso del automóvil se explica tanto por el aumento en el nivel de ingreso de las personas como por el bajo nivel de servicio que ofrece el transporte público. En este último punto la construcción de vialidad dedicada puede ayudar a disminuir la participación del automóvil en los viajes.

El proyecto Maps-Chile (Mitigation Action Plans and Scenarios) tiene como objetivo proponer y evaluar una serie de medidas de mitigación, analizando y discutiendo posibles escenarios futuros para mitigar efectivamente las emisiones de gases de efecto invernadero en Chile. Una de las medidas analizadas en este proyecto es la implementación de infraestructura de transporte público en tres niveles. A continuación se explicará en detalle lo planteado en este proyecto y se comparará con lo que se ha construido hasta la fecha en la ciudad de Santiago y con los planes impulsados por el Gobierno en este contexto.

Las fuentes de información con las que se contó para este fin fueron las siguientes:

- Informe Final del estudio “Proyección Escenario Línea Base 2013 y Escenarios de Mitigación del Sector Transporte y Urbanismo”, realizado por la empresa Sistemas Sustentables para el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en el marco de la Fase 2 del proyecto Maps-Chile.
- Documento “Plan Maestro de Transporte Santiago 2025”, generado por el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones el año 2013.

i. Análisis de la medida propuesta por MAPS-Chile

Como ya se mencionó, en el proyecto MAPS-Chile se analizó la implementación de esta medida en tres niveles, con distintos costos tanto de inversión como de operación y mantenimiento, obteniendo distintas magnitudes en la reducción de CO₂eq. La evaluación de la medida se hace hasta el año 2030 y hasta el año 2050, considerando tasas del 1, 3 y 10%. En la siguiente tabla se muestran sólo los resultados para la evaluación al 2030 con una tasa del 3%.

Tabla 10.29: Detalle de los tres niveles de implementación propuestos por MAPS-Chile

	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Descripción de la implementación	Construcción de una red de 30 km de corredores de alto estándar a partir del año 2015	Construcción de una red de 100 km de corredores de alto estándar entre el año 2015 y 2020	Construcción de una red de 250 km de corredores de alto estándar entre el año 2015 y 2020
Supuesto partición modal al 2020	0,1% por sobre LB del automóvil al bus	5% por sobre LB del automóvil al bus	10% por sobre LB del automóvil al bus
Costo inversión, valor presente (MM CLP\$)	136.084	440.593	1.057.409
Costo operación y mantenimiento, valor presente (MM CLP\$)	-32.061	-257.814	-967.102
Promedio anual de reducción de CO ₂ eq (MMt)	0,01	0,06	0,09
Reducciones acumuladas de CO ₂ eq (MMt)	0,11	0,87	1,33

Fuente: Informe Final Estudio “Proyección Escenario Línea Base 2013 y Escenarios de Mitigación del Sector Transporte y Urbanismo”, PNUD

Los supuestos utilizados en el análisis de MAPS-Chile son los siguientes:

- Se consideraron los siguientes costos de inversión⁴⁵:
 - o \$5.000 millones por kilómetro de corredor construido.
 - o \$10 millones por paradero. Se consideran 3 paraderos por km.
- La evaluación no consideró la inversión en buses debido a que se supuso que se utilizarían los mismo buses del Transantiago.
- Por simplificación, la evaluación no consideró costos de operación y mantenimiento para la infraestructura en que se invierte.

⁴⁵ Fuente: Plan de Infraestructura Transantiago

- Se consideran los ahorros de consumo de combustible debido al cambio en la partición modal. La variación del consumo de energía se valoriza tomando en cuenta las series de precios entregadas por la contraparte técnica del proyecto MAPS-Chile.
- Para estimar la reducción de emisiones se proyectó la cantidad de pasajeros por kilómetro adicionales que absorbería el transporte público con esta medida y se estimó el número de buses adicionales que esto implicaba. Por otro lado, la información reportada por Maps-Chile en términos de reducción de emisiones es de un 5% de reducción para corredores segregados y de un 1% de reducción por paraderos con cobro fuera del bus.
- Se asume que existe disponibilidad de espacio en avenidas que hagan factible el proyecto.

ii. Situación actual y Plan Maestro de Transporte Santiago 2025

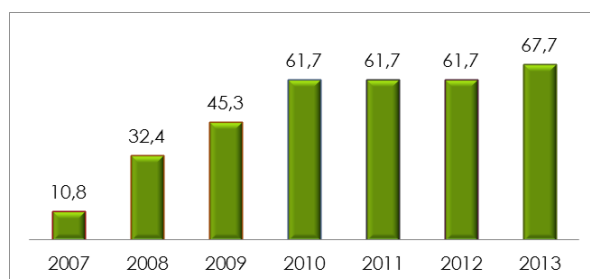
En la Región Metropolitana se han implementado y habilitado 68,8 kilómetros⁴⁶ de corredores hasta la fecha. En la siguiente tabla se puede ver el listado de estos corredores, y en el siguiente gráfico se muestra la evolución anual de kilómetros de corredor construidos, desde el año 2007.

Tabla 10.30 Corredores en operación

Corredor	Longitud (Km)
Pajaritos Norte	5,1
Santa Rosa Norte	4,8
Suiza - Las Rejas (Anillo Intermedio)	2
Grecia	9,9
Anillo Intermedio Norte (Jaime Guzmán)	2,3
Las Industrias	4,8
Pajaritos Sur	1,8
Vicuña Mackenna Sur	9,5
Pedro Aguirre Cerda	7,4
Santa Rosa Sur	8,6
Departamental Poniente (Anillo Intermedio)	3,5
Dorsal (Anillo Intermedio)	1,5
Vicuña Mackenna Norte	1,7
Departamental Oriente	4,8
Las Rejas Norte	1,1
Total	68,8

Fuente: <http://www.dtpm.gob.cl/>

Figura 10.20: Evolución anual de kilómetros de corredor construidos



Fuente: Informe de gestión DTPM 2013

⁴⁶ Fuente: www.dtpm.gob.cl

Se puede ver que la tasa de construcción desde el año 2007 hasta el 2014 ha sido de 8,3 kilómetros por año. Esto da un indicio de lo ambicioso que es pensar en construir 100 o 250 kilómetros en 5 años, como está propuesto en los niveles 2 y 3 de esta medida. Si bien es cierto, todas estas obras estuvieron consideradas en un Plan Maestro, de acuerdo a lo establecido en la Ley N°20.378 que crea un subsidio nacional para el transporte público de pasajeros, durante el año 2010 se diseñó un nuevo Plan Maestro de Infraestructura para el Transporte Público (PMITP) para el período 2011-2015, el que fue aprobado por el Comité de Ministros para el Transporte Urbano de la ciudad de Santiago el 29 de agosto de 2011 mediante Resolución Exenta N°1963, y que buscaba resolver las dificultades del plan anterior a través de una mayor inversión en mantención y calidad de las obras, el uso de tecnología más avanzada para la fiscalización y medidas de gestión de tránsito en distintos ejes. Este plan incluye obras a ejecutar en el corto, mediano y largo plazo, que buscan mejorar los indicadores operacionales del Sistema de Transporte Público.

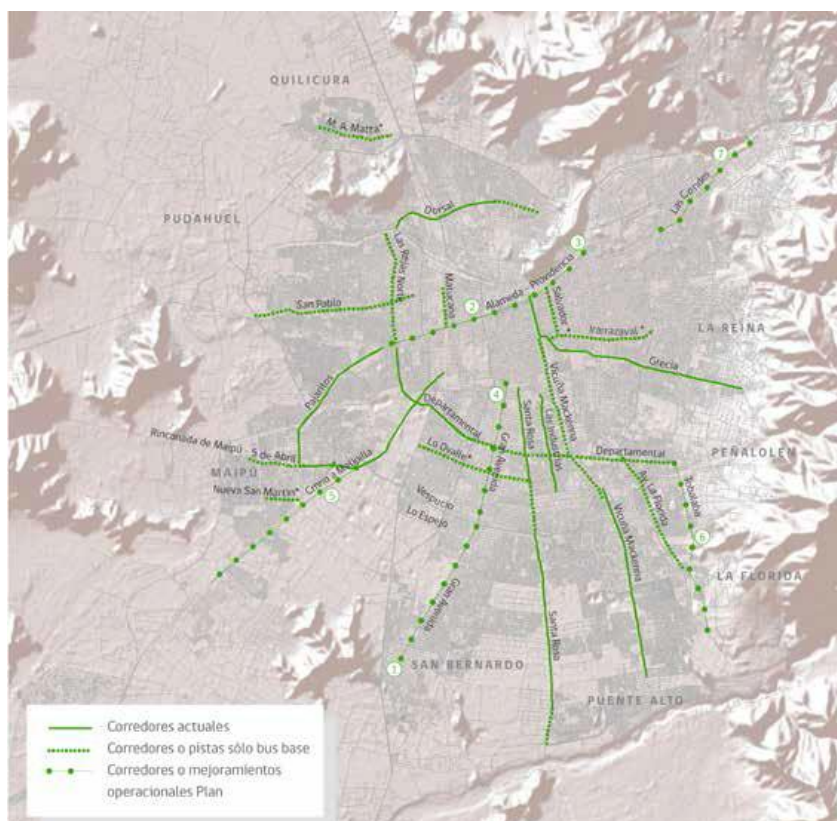
En año 2013, el Gobierno dio a conocer el Plan Maestro de Transporte Santiago 2025 (PMTS 2025), en el que se definió una cartera de proyectos de transporte que serían implementados al año 2025. Parte importante de este PMTS 2025 está conformada por un conjunto de corredores, que fue definido anteriormente en el PMITP. En la siguiente tabla se muestra este listado de corredores, diferenciando si son parte del escenario base, o del Plan propiamente tal. Como se puede ver, corresponde a un total de 85,7 kilómetros de corredor a construir en 10 años, lo que está perfectamente acorde a la tasa de 8,3 kilómetros de corredor por año que ha sido construido a la fecha. En la siguiente figura se puede apreciar además la distribución espacial de los corredores que existían a la fecha de lanzamiento del PMTS 2025, de los que estaban incluidos como parte del escenario base y de los que corresponden al PMTS 2025.

Tabla 10.31 Proyectos de corredor considerados en el PMTS 2025 (escenario base y plan)

Tipo	Proyecto	Km	Inversión MM\$	MM\$/Km
BASE	Departamental Poniente Entre Ruta 5 y V. Mackenna	5,4	\$ 36.779	\$ 6.811
BASE	Santa Rosa Entre Lo Ovalle y Vespucio.	2,6	\$ 14.043	\$ 5.401
BASE	V. Mackenna Entre Av. Matta y Vicente Valdés	9,1	\$ 89.133	\$ 9.795
BASE	Dorsal Entre J.M. Caro y El Salto	3,1	\$ 43.913	\$ 14.166
BASE	Las Rejas Norte Entre Mapocho y Alameda	5,8	\$ 60.067	\$ 10.356
BASE	Rinconada Entre Las Naciones y Primera Transversal.	2,6	\$ 10.652	\$ 4.097
BASE	San Pablo Entre Vespucio y Antonio Ebner	7,9	\$ 41.627	\$ 5.269
BASE	Lo Espinoza Entre Mapocho y J. Hirmas	2	\$ 10.702	\$ 5.351
PMT2025	Gran Avenida Sur Entre Vespucio y Balmaceda	6,4	\$ 33.412	\$ 5.221
PMT2025	Alameda Entre Pajaritos y Vicuña Mackenna	7,6	\$ 69.915	\$ 9.199
PMT2025	Providencia Entre Vicuña Mackenna y Tobalaba	4	\$ 22.509	\$ 5.627
PMT2025	Gran Avenida Sur Entre Américo Vespucio y Placer	6,9	\$ 7.813	\$ 1.132
PMT2025	Melipilla Entre Esquina Blanca y Ciudad Satélite	8	\$ 28.086	\$ 3.511
PMT2025	Tobalaba Entre Departamental y Camilo Henríquez	7,8	\$ 43.511	\$ 5.578
PMT2025	Las Condes Entre Manquehue y La Dehesa	6,5	\$ 32.734	\$ 5.036
TOTAL		85,7	\$ 544.896	\$ 6.358

Fuente: Documento PMTS 2025

Figura 10.21: Distribución de corredores de transporte público en la ciudad de Santiago



Fuente: Documento PMTS 2025

Como se puede ver en la siguiente tabla, el monto promedio de inversión considerado en el PMTS 2025 es de MM\$6.358 por kilómetro. Este monto es un poco mayor al de los tres niveles de implementación de esta medida estudiados por MAPS-Chile. Esto se debe a que en el PMTS cada proyecto de corredor varía su costo de inversión de acuerdo a las obras y a las expropiaciones que se debe realizar, a diferencia de los escenarios de MAPS, en los que se trabajó con el supuesto de que el costo por kilómetro sería fijo.

Tabla 10.32: Comparación montos de inversión en corredores MAPS-Chile y PMTS 2025

	KM	AÑOS	INVERSIÓN (MM \$)	MM\$/KM
PMTS 2025	85,7	10	\$ 544.896	\$ 6.358
MAPS NIVEL 1	30	5	\$ 136.084	\$ 4.536
MAPS NIVEL 2	100	5	\$ 440.593	\$ 4.406
MAPS NIVEL 3	250	5	\$ 1.057.409	\$ 4.230

Fuente: Elaboración propia

iii. Cambio modal

La estimación del cambio de partición modal de MAPS-Chile se realizó a partir de la revisión bibliográfica de los proyectos BRT (Bus Rapid Transyt) que han obtenido financiamiento internacional a través de MDL⁴⁷

⁴⁷ Fuente: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>

(Mecanismo de Desarrollo Limpio). El cambio modal se estimó a partir de encuestas realizadas a los usuarios de los BRT. Por ejemplo, en Transmilenio el 90% de los usuarios declaró que antes de la implementación de este sistema, realizaban sus viajes en bus. Es decir, el cambio modal producto de la puesta en marcha de Transmilenio fue de un 10%, que corresponde a los usuarios que provienen de otros medios de transporte. Los datos de los MDL muestran que los BRT implementados internacionalmente provocan un cambio de partición modal de entre 28% (Chongqing, China) y 10% (Bogotá, Colombia).

Los supuestos de partición modal de los escenarios de MAPS-Chile son los siguientes:

- Nivel 1: 0,1% (por la baja cantidad de km a construir)
- Nivel 2: 5% (la mitad del observado en el BRT de Bogotá)
- Nivel 3: 10% (el mismo cambio del BRT de Bogotá)

En la siguiente tabla se muestra el cambio en la partición modal estimado al implementar la totalidad de proyectos del PMTS 2025, para los viajes en punta mañana. Se puede ver que el cambio es de un 3% a favor del transporte público. Este porcentaje es bastante menor al supuesto de cambio modal considerado en los escenarios 2 y 3 de MAPS-Chile, correspondientes a un 5 y un 10% (la mitad y el mismo cambio modal observado en el BRT de Bogotá).

Tabla 10.33: Cambio en partición modal PMTS 2025

Modo	Situación base		PMTS 2025	
	Viajes	%	Viajes	%
Transporte privado	743.000	58	707.500	55
Transporte público	546.500	42	582.000	45
Total	1.289.500	100	1.289.500	100

Fuente: Documento PMTS 2025

iv. Comentarios

Con todos los antecedentes entregados hasta este punto, se puede concluir que los niveles 2 y 3 estudiados por MAPS-Chile para la implementación de esta medida son poco realistas por tres razones:

- La tasa de construcción de corredores ha sido de 8,3 kilómetros al año. Es difícil que de acuerdo a esto, en 5 años se puedan construir 100 o 250 kilómetros de corredor.
- Los costos de inversión se han subestimado en MAPS-Chile, si se compara con los estimados en el PMTS 2025.
- El supuesto en la partición modal de los escenarios analizados por MAPS-Chile es demasiado alto, si se comparan con los obtenidos por el PMTS 2025, quienes determinaron que al año 2025 la partición modal del transporte público (bus y metro) aumentaría un 3% al construir no sólo una red de corredores de 85,7 kilómetros en 10 años, sino que además otra serie de proyectos de transporte.

Por esta razón se propone analizar la implementación de esta medida de acuerdo a la magnitud considerada en el plan de corredores propuesto por PMTS 2025, considerando un 3% como cota superior de cambio de participación en favor del transporte público.

10.8.2 INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUACIÓN DE MEDIDA

Como ya se ha mencionado en los puntos anteriores, la implementación de esta medida generará impactos en el Sistema de Transporte, afectando por un lado el nivel de actividad del transporte privado, lo que se reflejará finalmente en el flujo vehicular y en un cambio en la partición modal, derivado del aumento en el nivel de servicio del transporte público, y por otro lado, afectará la velocidad media de desplazamiento en la red, modificando por esta vía el factor de emisión. Estos efectos simulados simultáneamente entregarán el impacto de la medida.

Por esto, para poder evaluar de manera correcta esta medida se requiere conocer los modelos de partición modal, los niveles de flujo y las velocidades tanto para el escenario base como para el escenario con proyecto. Las fuentes de información necesarias para la evaluación del conjunto de corredores del Plan Maestro de Transporte de Santiago (Base no implementado + Proyectos), son las siguientes:

Tabla 10.34: Fuentes de información necesarias para evaluar la medida

	Escenario Base	Escenario con Proyecto
Velocidades	Detalle de los escenarios de modelamiento ESTRAUS-MODEM 2012-2025, con y sin Plan Maestro 2025	
Nivel de Actividad por Modo	Detalle de los escenarios de modelamiento ESTRAUS-MODEM 2012-2025, con y sin	

Fuente: Elaboración propia

Para mayor detalle de los niveles de actividad y velocidades en las corridas MODEM, ver **Anexo B** en CD adjunto.

11. INTERACCIONES ENTRE MEDIDAS

Dentro del cruce de interacciones entre medidas, se mencionan a continuación aquellas que resultan relevantes.

BUSES EURO VI v/s BUSES BAJA EMISIÓN:

La discusión sobre los valores del Factor de Emisión (FE), que modela los impactos de la tecnología híbrida (considerada para este caso como de Baja Emisión), considera una reducción porcentual sobre las emisiones del motor diésel que opera en combinación con el motor eléctrico. Por lo tanto el FE de los buses híbridos dependerá del estándar escogido para el motor diésel que forma parte de su equipamiento. En tal sentido se ha considerado para la evaluación que el estándar mínimo exigido para el motor diésel es Euro VI.

BUSES EURO VI – BUSES BAJA EMISIÓN v/s CORREDORES TRANSPORTE PÚBLICO

El FE que modela el impacto de las tecnologías de buses urbanos, es una función de la velocidad de desplazamiento del flujo. La implementación de corredores afecta la velocidad media del flujo de buses y entonces la evaluación del impacto de las tecnologías dependerá si se avalúan o no sobre la implementación

de corredores. En este sentido la simulación de la medida para corredores considerará la implementación de las otras dos medidas complementarias (BUSES EURO VI y BUSES BAJA EMISIÓN).

LÍMITE ASM v/s RESTRICCIÓN VEHICULAR

La evaluación del impacto de los límites finales de ASM asume que el beneficio es finalmente una consecuencia de las reparaciones efectuadas a los vehículos rechazados por encontrarse sobre la norma. La implementación de estándares más exigentes supone un incremento de las tasas de rechazo. Sin embargo estas tasas de rechazo correlacionan positivamente con la antigüedad del parque, considerando el deterioro de las emisiones de la flota con la antigüedad. Por tanto una medida como la restricción vehicular, que estimula la renovación de la flota afectará las tasas de rechazo en ASM y finalmente la eficacia de la medida en la reducción de emisiones. Se elaborará un modelo para la evaluación de ASM que considere el efecto de la renovación de la flota producto de la restricción vehicular.

LIMITE RSD V/S RESTRICCIÓN VEHICULAR

Como en el caso anterior la restricción vehicular estimula la renovación de la flota, lo que termina afectando la efectividad de la medida para reducir emisiones.

LIMITE RSD V/S LIMITE ASM

Ambas medidas apuntan al mismo efecto de capturar las emisiones en exceso emitidas por los vehículos sucios. En este sentido, para efectos de su evaluación en el estudio se han entendido complementarias. Esto es que RSD se aplica como una herramienta que permite garantizar los beneficios de un límite ASM más exigente, toda vez que según lo observado en las mediciones con RSD en la Región Metropolitana, los vehículos más antiguos (< 1997), presentan emisiones mayores que las previstas bajo el estándar actual de ASM. Para esto RSD podrá capturar aquellos vehículos que no cumplan con el límite de emisiones.

A continuación se presenta un cuadro resumen con las interacciones entre medidas:

Tabla 11.1: Resumen interacción entre medidas

	ZONA BAJA EMISIÓN	BUSES EURO VI	BUSES BAJA EMISIÓN	RESTRICCIÓN VEHICULAR	LIMITES ASM	LIMITES RSD	MAQUINARIA CONSTRUCCIÓN	CORREDORES TRANSPORTE PÚBLICO
ZONA BAJA EMISIÓN	NA	SIN INTERACCIÓN	SIN INTERACCIÓN	SIN INTERACCIÓN ¹	SIN INTERACCIÓN	SIN INTERACCIÓN	SIN INTERACCIÓN	SIN INTERACCIÓN
BUSES EURO VI		NA	SE SOBREPONEN EN EL VALOR DEL FE	SIN INTERACCIÓN	SIN INTERACCIÓN	SIN INTERACCIÓN	SIN INTERACCIÓN	SE SOBREPONEN EN EL VALOR DE FE(V)
BUSES BAJA EMISIÓN			NA	SIN INTERACCIÓN	SIN INTERACCIÓN	SIN INTERACCIÓN	SIN INTERACCIÓN	SE SOBREPONEN EN EL VALOR DE FE(V)
RESTRICCIÓN VEHICULAR				NA	LA RENOVACIÓN DE LA FLOTA AFECTA TASA DE RECHAZO	LA RENOVACIÓN DE LA FLOTA AFECTA TASA DE RECHAZO	SIN INTERACCIÓN	SIN INTERACCIÓN
LIMITES ASM					NA	SE ASUMEN COMPLEMENTARIOS	SIN INTERACCIÓN	SIN INTERACCIÓN
LIMITES RSD						NA	SIN INTERACCIÓN	SIN INTERACCIÓN
MAQUINARIA CONSTRUCCIÓN							NA	SIN INTERACCIÓN
CORREDORES TRANSPORTE PÚBLICO								NA

*En caso que los cambios en la restricción no afecte a camiones.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto al enfoque para la evaluación, en específico de los supuestos del orden de implementación y simultaneidad entre medidas, se presenta a continuación una tabla que permite identificar el escalamiento entre medidas.

Tabla 11.2 Escalamiento entre medidas y supuestos de evaluación de emisiones.

MEDIDA	ESCENARIO	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
Medida 1: ZBE	Línea Base	Flota camiones. Proyección 2015-2025 conforme tasas de renovación y retiro previstas.	No existen modelaciones de transporte para variaciones de velocidad para 2025. NA proyectada según datos históricos.
	Escenario 1	Flota camiones. Antigüedad máxima de 12 años al 2018. Proyección 2015-2025 con retiro de flota antigua.	No existen modelaciones de transporte para variaciones de velocidad para 2025. NA proyectada según datos históricos.
Medida 2: Euro VI Buses	Línea Base	Flota Buses. Programa renovación flota Transantiago con Euro V.	Velocidad proyectada 2025 según modelación de transporte sin PMTS. NA constante 2015-2025
	Escenario 1	Flota Buses. Programa renovación flota Transantiago con Euro VI.	Velocidad proyectada 2025 según modelación de transporte sin PMTS. NA constante 2015-2025
Medida 3: Buses cero y baja emisión.	Línea Base	Medida 2: Línea Base	
	Escenario 1	Flota Buses. Programa renovación flota Transantiago con Euro VI y 5% Euro VI-HIBRIDO	Velocidad proyectada 2025 según modelación sin Corredores. NA constante 2015-2025.
	Escenario 2	Flota Buses. Programa renovación flota Transantiago con Euro VI y 5% Euro VI-HIBRIDO	Velocidad proyectada 2025 según modelación con Corredores. NA constante 2015-2025.
Medida 4: Restricción Vehicular	Línea Base	Flota Motos, Livianos y medianos. Proyección 2015-2025 conforme tasas de renovación y retiro previstas (históricas)	Velocidades y NA proyectadas según modelación sin PMTS.
	Escenario 1	Flota Motos, Livianos y medianos. Proyección 2015-2025 conforme tasas de renovación y retiro aceleradas por RV.	Velocidades y NA proyectadas según modelación sin PMTS.
Medida 5: Límite ASM final	Línea Base	Medida 4: Línea Base	Medida 4: Línea Base
	Escenario 1	Flota Motos, Livianos y medianos. Proyección 2015-2025 conforme tasas de renovación y retiro aceleradas por RV. Factores de emisión modificados por límite ASM.	Velocidades y NA proyectadas según modelación sin PMTS.
Medida 6: Límites RSD	Es un costo de fiscalización.		
Medida 7: Reacondicionamiento de Maquinaria fuera de ruta sector construcción.	Línea Base	Flota de Maquinaria fuera de ruta sector construcción, conforme a retiro y crecimiento estudio [Geasur 2014]	
	Escenario 1	Reacondicionamiento del 33% de las maquinarias de construcción de la RM, perteneciente a proyectos del sector público.	
Medida 8: Corredores	Línea Base	Medida 3: Escenario 1 + Línea Base Medida 4.	
		Medida 3: Escenario 2 + Reducción 1% NA Línea Base Medida 4.	

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior ayuda a comprender como fueron modeladas cada uno de los escenarios de evaluación, y como son conformados estos. Además entrega una visión de la simultaneidad entre medidas que están consideradas en este informe.

Como primera observación se las modelaciones que se realizaron, se pueden clasificar las medidas que participan independientes y las que se son complementarias de otras (tienen escalamiento).

Medidas independientes:

- Medida 1: Zona de baja emisión.
- Medida 2: Programa de buses Euro VI.
- Medida 5: Límites finales ASM.
- Medida 7: Reacondicionamiento de maquinaria fuera de ruta.

Medidas con escalamiento:

- Medida 3: Está sujeta a la medida 2, pues es un porcentaje de los buses Euro VI que serán híbridos, en esta evaluación este porcentaje representa a un 5% del total del parque al 2025.
- Medida 4: Esta medida en la evaluación está sujeta a los límites finales ASM, es decir el año 2016 cuando entra la restricción vehicular, entra en conjunto con la medida 5.
- Medida 6: Esta es complementaria a la medida 5, pues esta ayuda a fiscalizar que se cumpla el estándar ASM.
- Medida 8: Los corredores están evaluados como parte del conjunto de medidas, esta se aplica simultáneamente con la medida 3.

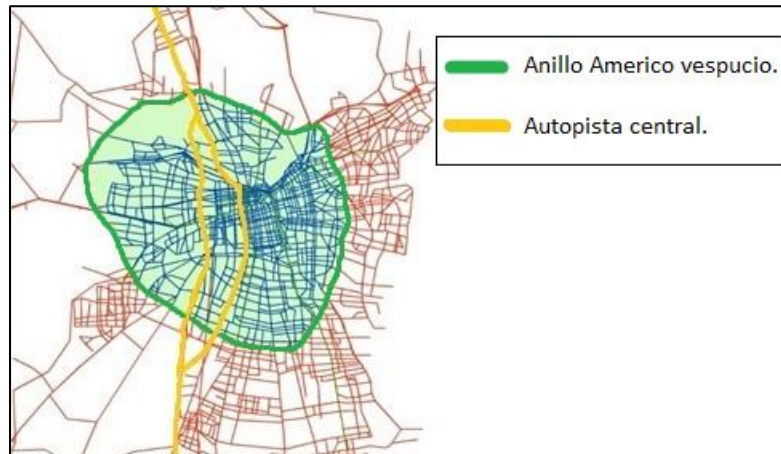
12. PROYECCIÓN DE EMISIONES

12.1 MEDIDA 1: ZONA DE BAJA EMISIÓN

12.1.1 ESCENARIOS DE EVALUACIÓN

La Zona afecta por la medida corresponde al área circunscrita por el Anillo Américo Vespucio (AAV), en la cual se restringirá la circulación de camiones que no cumplan con los estándares mínimos que se exijan. Se excluyen de la zona afectada las vías de paso de Autopista Centra y el Anillo Américo Vespucio con sus caleteras, es decir, sólo se verá afectada el área achurada tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 12.1: Zona de baja emisión AAV, RM



Fuente: Elaboración propia

Un esquema tradicional de control de vehículos implica una ruta perimetral fija, que implique un límite físico, de manera que el público pueda reconocer la zona, y seleccionar una ruta de alternativa. Esto se cumple claramente con una ruta de circunvalación de la red vial como AAV, la que será claramente comprendida⁴⁸.

De acuerdo a lo precisado con la contraparte del estudio, los escenarios de evaluación considerados y la gradualidad en la aplicación es la siguiente:

Línea base:

Como escenario base, se considerara que los nuevos camiones que ingresen al parque cumplen la exigencia mínima actual (Euro 5).

Escenario 1:

A partir del año 2018, deberán dar cumplimiento los camiones con una antigüedad máxima de 12 años o 18 años si cuenta con Filtro de Partículas y cuentan con estándar mínimo Euro III.

12.1.2 MODELACIÓN DE EMISIONES

El nivel de actividad (NA) del transporte de carga se distribuye dentro de la ciudad a partir de los viajes que realizan los camiones dentro y fuera de la ZBE. Esta medida establece una restricción técnica (emisiones, antigüedad, reacondicionamiento, etc), a los camiones que quieren circular dentro de la ZBE. Esta restricción técnica afecta a toda la flota cuyos viajes tengan Origen y/o Destino en la Zona. En este sentido todo el flujo de camiones (o actividad), dentro de la zona estará sujeto a los cambios tecnológicos y por ende de emisiones impulsados por dicha restricción. Pero por otra parte, esta medida afectará también a la actividad que estos mismos camiones realizan fuera de la ZBE.

⁴⁸ Iguales recomendaciones se tuvieron en cuenta para la definición de la ZBE de Londres, The London Low Emission Zone Feasibility Study, Phase I Report of the Steering Group, Greater London Authority.

Para evaluar de manera simplificada el impacto de la medida con el fin de orientar de forma adecuada los escenarios de modelamiento se propone utilizar una metodología simplificada de evaluación de impacto para lo cual se utilizarán los siguientes antecedentes:

- Matriz Origen-Destino de transporte de carga proporcionada por SECTRA.
- Nivel de actividad del transporte de carga en el área de estudio, desagregada por tipo de tecnología, según Modelo de Emisiones MODEM de SECTRA.

La matriz OD (Origen Destino) proviene de la actualización de las simulaciones de transporte de carga año 2012 que fue abordada en el estudio, "Análisis y Desarrollo de Redes de Transporte Masivo en el Gran Santiago" de SECTRA, específicamente, en el desarrollo de la Tarea N°1 "Actualización y Validación de la Situación Base"⁴⁹.

Como dicho, aunque la medida se circunscriba en un área geográfica específica, está afecta también a lo que sucede fuera del área debido a que existe un gran número de viajes que recorren simultáneamente la ZBE y el exterior ya que un mismo vehículo puede realizar servicio en ambos lugares. Debido a lo anterior la estimación puede clasificarse en dos etapas: Afectación al interior de la ZBE y Afectación fuera de la ZBE

SECTRA desarrolló un escenario de modelamiento para el año 2012, el cual cuenta con los niveles de actividad para el Gran Santiago, los cuales se encuentran desagregados por tipo de tecnología, las que a su vez son ajustadas mediante conteos realizados bajo el estudio "Mediciones de Aforos de Tráfico y Perfiles de Carga en Servicios Troncales en el Gran Santiago", SECTRA 2013. Esta información será considerada como el escenario base para el cálculo de los NA afectos o no afectos a la medida.

- Afectación al interior de la ZBE

La afectación al interior de la ZBE implica asumir que toda la actividad en términos de veh-km/año reportada en el escenario entregado por la contraparte se compone de tecnologías permitidas. En términos prácticos esto implica alterar la composición tecnológica (CT) de la modelación respecto del escenario sin medida.

Cabe destacar que existen arcos al interior de la ZBE que han sido excluidos para permitir el paso de viajes externos, es decir, viajes con origen y destino fuera del área de estudio pero que necesitan atravesar la RM. Específicamente la Autopista Centra, Av. Américo Vespucio y sus caleteras.

Dado lo anterior es posible modelar un primer impacto identificando el nivel de actividad dentro de la zona y modificando la composición tecnológica y/o los factores de emisión asociados a la flota que cumple con dicha actividad.

$$\Delta E_k^{int} = \sum_{i,j,k} (NA_k^{int} * CT_{i,j,k}^{int} * FE_{i,j})_{base} - (NA_k^{int} * CT_{i,j,k}^{int} * FE_{i,j})_{proyecto} \quad \text{Ecuación 25}$$

Según la expresión anterior las variaciones en las emisiones al interior de la ZBE para el año k (ΔE_k^{int}), corresponden a la diferencia de emisiones entre la línea base y el escenario con proyecto, donde las emisiones se calculan a partir del nivel de actividad al interior de la Zona (NA_k^{int}), distribuido en la composición

⁴⁹ Minuta Actualización del Transporte de Carga Camión en la Red de ESTRAUS año 2012 25/06/2015 SECTRA

tecnológica para el año k (por tipo de camión⁵⁰ i, norma de emisiones⁵¹ j), multiplicado por la tasa de emisiones que correspondan según las categorías (i,j) por nivel de actividad respectivo a dicha categoría.

El Nivel de Actividad se puede expresar a partir del flujo de camiones de los arcos de la red sujetos a la restricción en la Zona, como es el caso de ESTRAUS, en los archivos de entrada para MODEM (“prepara emisiones”), o bien como un kilometraje anual total, por ejemplo a partir de la flota de camiones y sus kilometrajes anuales.

- Afectación fuera de la ZBE

Debido que existen vehículos que realizan viajes tanto dentro como fuera de la ZBE, es preciso estimar el nivel de actividad en términos de veh-km que se produce al exterior de la ZBE pero que se verán afectados debido a que tienen Origen o Destino al interior de la ZBE, por lo tanto, deben cumplir con los estándares exigidos.

Para conseguir esto se estudia la matriz O-D de carga identificando que proporción de los viajes con origen o destino fuera de la ZBE tienen su par al interior de la ZBE. Esta proporción se aplica al nivel de actividad registrado al exterior de la ZBE, asumiendo que es una aproximación válida debido a la intensidad que tiene la ZBE como origen o destino de viajes. Finalmente, mediante este análisis se estimará el porcentaje (α) de NA_k^{ext} , que está sujeto a los cambios de CT, como sigue:

$$\Delta E_k^{ext} = \sum_{i,j,k} (\alpha * NA_k^{ext} * CT_{i,j,k}^{int} * FE_{i,j})_{base} - (\alpha * NA_k^{ext} * CT_{i,j,k}^{int} * FE_{i,j})_{proyecto} \quad \text{Ecuación 26}$$

La información base para obtener estos valores ha sido las salidas de emisiones MODEM año 2012 para el Gran Santiago. En la siguiente tabla se presenta la información asociada a dicha corrida MODEM en la base de datos.

La presente sección del informe tiene por objetivo determinar niveles de actividad promedio expresado como KM-Veh/año y velocidades promedios, para todas las comunas consideradas en la modelación Estraus del Gran Santiago, desglosados por categorías vehiculares CCF8 existentes en el sistema MODEM.

La información base para obtener estos valores ha sido las salidas de emisiones MODEM año 2012 para el Gran Santiago. En la siguiente tabla se presenta la información asociada a dicha corrida MODEM en la base de datos.

Tabla 12.1 Ficha de Información Proyecto MODEM 2012 para el Gran Santiago

Campo	Descripción del Campo
Nombre	Gran Santiago_INV_v2
ANNO	2012
GRUPO	pacin 4
FECHA	15/05/2015
REGION	13

⁵⁰ Liviano, Mediano, Pesado

⁵¹ Ejemplo Euro I, Euro II, Euro II con DPF, etc.

Campo	Descripción del Campo
DESC	Gran Santiago con entradas emisiones corrida 2012 (sin txc) y archivos pacin IV 2010, con zonas y sectores extendidos a zona sur
ARCHIVO PREPRA EMISIONES AM	entrada_emision_am12.xls
ARCHIVO PREPRA EMISIONES FP	entrada_emisiones_fp12.xls

Fuente: MODEM 5.1

Para el caso específico del modelo de evaluación de la medida de zona de baja emisión, se utilizó la matriz origen destino para camiones totales del horario punta: pm.dat, utilizado en la corrida Etraus base que generó los archivos prepara emisiones para la elaboración del proyecto MODEM Gran Santiago_INV_v2. Este archivo contiene la zona de origen, zona de destino y número de viajes. Es importante destacar que esta matriz considera la generación y atracción de viajes para 690 zonas dentro de la comuna de la Región Metropolitana y 7 zonas genéricas que representan la atracción y generación de viaje hacia macrozonas fuera de las 690 zonas modeladas en Etraus en la Región Metropolitana. Por lo tanto, esta incluye la totalidad de los camiones que circulan dentro de la zona de modelación Etraus.

Finalmente los valores promedios obtenidos han sido utilizados como información de entrada para los modelos de emisiones simplificados generados para la evaluación de las medidas propuestas en el presente estudio.

Tomando como base las salidas de emisiones anuales a nivel de arco que entrega el sistema MODEM para cada CCF8 se obtuvieron los KM-Veh/Año, aclarando que en este sistema la variable kilómetros se maneja como un contaminante más.

Para el caso de la velocidad, se generó la variable tiempo acumulado por arco y por CCF8, de esta manera la velocidad se obtuvo dividiendo los kilómetros acumulados por los tiempos acumulados.

En el Anexo B se encuentran los resultados obtenidos para la totalidad de los arcos viales y de acceso para la corrida 2012 del Gran Santiago.

Obtención de nivel de actividad para zona de baja emisión

En el caso de la medida de Zona de Baja Emisión (ZBE), es necesario según la metodología propuesta, diferenciar para cada CCF8 de camiones ya sean livianos, medianos o pesados su nivel de actividad (km-Veh/año) en distintos criterios según si son afectados o no por la medida de baja emisión, para lo cual fue utilizada la información de nivel de actividad [km-Veh/Año] provenientes de la corrida MODME 2012 y la matriz origen destino.

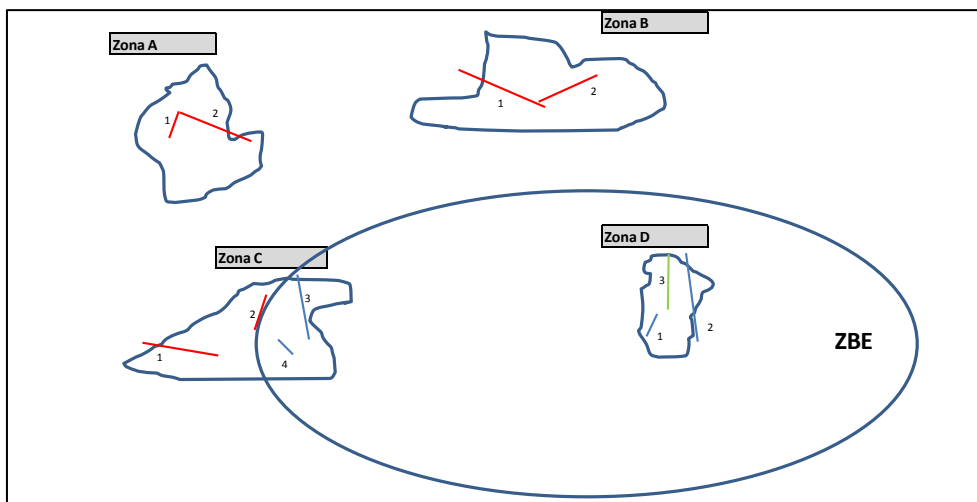
Para partir el análisis se identifican los siguientes tipos de zonas origen destino:

- Zonas Fuera de la ZBE, en el ejemplo de la **Figura 12.2**, Zona A y B
- Zonas que intersectan la ZBE, en el ejemplo Zona C
- Zonas al interior de la ZBE

Tomado en consideración este tipo de zonas los arcos fueron distribuidos de la siguiente manera:

- Arcos dentro de la ZBE, en el ejemplo: Zona C, arcos 3 y 4 y Zona D arcos 1 y 2. Coloreados en azul en la **Figura 12.2**. Para estos arcos se considera que la totalidad de su nivel de actividad [km-Veh/hr] es afectado por la medida de ZBE.
- Arcos dentro de la ZBE exentos de la medida, en el ejemplo: Zona D arco 3. Coloreado en verde en la **Figura 12.2**. Para estos arcos se considera que una fracción del nivel de actividad que circula en ellos está afectada por la ZBE y otra fracción no está afectada por la ZBE.
- Arcos fuera de la ZBE, en el ejemplo: Zona A, arco 1 y 2 y Zona B arco 1 y 2. Coloreado en rojo en la **Figura 12.2**. Para estos arcos se considera al igual que en el caso anterior, que una fracción del nivel de actividad que circula en ellos está afectada por la ZBE y otra fracción no está afectado por la ZBE.

Figura 12.2 Tipos de Arcos Considerados para el Análisis de la ZBE.



Fuente: Elaboración propia.

(*)En la figura la zona de baja emisión está representada por el ovalo azul

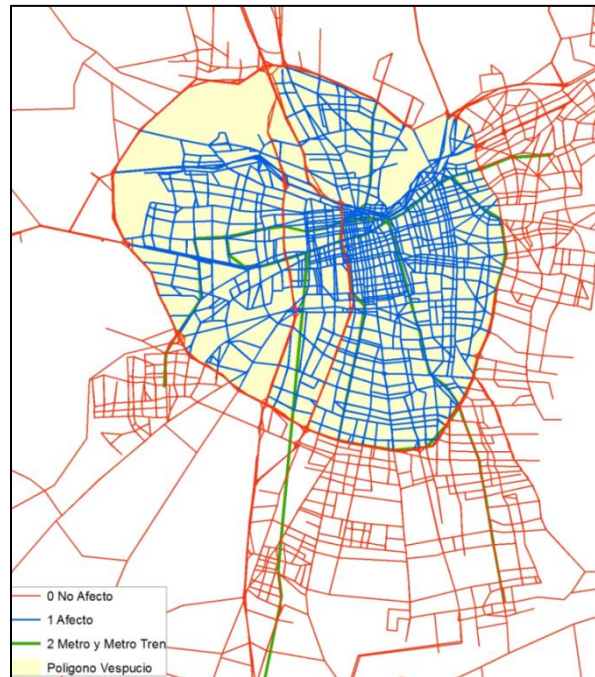
A continuación fue generada una cobertura geográfica que permitió identificar los siguientes tipos de arcos en la base de datos de arcos del MODEM:

- Arcos que delimitan la ZBE, principalmente Américo Vespucio y las caleteras de Américo Vespucio. Contorno de arcos rojo que envuelve la zona de color amarillos en la **Figura 12.3**.
- Arcos exentos de la restricción dentro de la ZBE. Arcos rojos en la **Figura 12.3**, que atraviesan la ZBE principalmente Autopista Central.
- Arcos dentro de la ZBE. Arcos azules en la **Figura 12.3**.
- Arcos fuera de la ZBE. Arcos pintados azul en la **Figura 12.3**.

Reacondicionamiento

Se simula el reacondicionamiento a partir del año 2018, considerando que los vehículos que se reacondicionan cumplen con estándar mínimo Euro III y que el costo del reacondicionamiento es menor al 50% del valor del vehículos, según sus años de uso.

Figura 12.3 Shape de intersección de Arcos con la ZBE.



Fuente: Elaboración propia

También fue necesario generar un shape de los arcos de acceso del proyecto⁵² MODEM identificando los que están dentro y fuera de la ZBE.

Con esta información fue posible desagregar el nivel de actividad de los camiones disponibles en MODEM a nivel de arco por Camión Liviano, Camión Mediano, Camión Pesado según tecnología, en:

- Km-veh/año fuera de la ZBE : Conformado por Arcos externos a la ZBE y Arcos que conforman la ZBE
- Km-veh/año dentro de la ZBE: Conformado por Arcos dentro de la ZBE
- Km-veh/año exentos dentro de la ZBE: Conformados por Arcos exentos dentro de la ZBE

Para el caso de “Km-veh/año dentro de la ZBE” se considera que el 100% de este nivel de actividad es afectado por la ZBE (arcos azules en la **Figura 12.3**)

⁵² Arcos de acceso corresponden a arcos virtuales que utiliza el modelo de transporte para generar o atraer flujos desde las zonas origen-destino hasta la red primaria considerada en el modelo.

Por tanto resta distinguir qué % del nivel de actividad de “Km-veh/año fuera de la ZBE” y “Km-veh/año exentos dentro de la ZBE” son afectados y qué % no es afectado (Arcos rojos de la **Figura 12.3**, incluyendo arcos que atraviesan cordón Américo Vespucio).

Para efectuar esta distribución se diseñó una metodología que toma en consideración los siguientes puntos:

- Los arcos dentro de la ZBE que son excluidos tienen el objetivo de permitir el paso de viajes externos, es decir, viajes con origen y destino fuera del área de estudio pero que necesitan atravesar la ZBE. Por tanto el nivel de actividad en estos arcos se ve afectado de la siguiente manera:
 - Los viajes de camiones que son sólo de paso, por los arcos excluidos, es decir, que tienen orígenes y destino fuera de la ZBE, se consideran no afectados por la medida.
 - Por su parte, los viajes de camiones que tengan origen y/o destino dentro de la ZBE y que usen estos arcos, necesariamente deben cumplir con la medida exigida en la ZBE.
- Los arcos fuera de la ZBE se ven afectados de la siguiente manera:
 - Los viajes de camiones que circulan exclusivamente entre orígenes y destinos que están fuera de la zona de baja emisión y que pasan por el arco, se consideran no afectados por la medida.
 - Por su parte, los viajes de camiones que tengan origen y/o destino dentro de la ZBE y que pasen por el arco, necesariamente deben cumplir con la medida exigida en la ZBE.
- Se considerará que el nivel de actividad (km-veh/año) de cada arco que esta fuera de la ZBE presenta una distribución de su nivel de actividad entre afecto y no afecto por la ZBE, en la misma proporción que el número de viajes que existen entre zonas externas a la ZBE versus viajes que existen entre zonas externas internas más viajes entre zonas internas externas a la ZBE. Esta proporción se aplica al nivel de actividad km-veh/año registrado para la suma de los arcos fuera de la ZBE, asumiendo que es una aproximación válida debido a la intensidad que tiene la ZBE como origen o destino de viajes.

$$P1 = \frac{\sum_{\text{zona externa-externa}} \text{Viajes}}{\sum_{\text{zona externa-externa}} \text{Viajes} + \sum_{\text{zona externa-interna}} \text{Viajes} + \sum_{\text{zona interna-externa}} \text{Viajes}}$$

Ecuación 27

$$P2 = \frac{\sum_{\text{zona externa-interna}} \text{Viajes} + \sum_{\text{zona interna-externa}} \text{Viajes}}{\sum_{\text{zona externa-externa}} \text{Viajes} + \sum_{\text{zona externa-interna}} \text{Viajes} + \sum_{\text{zona interna-externa}} \text{Viajes}}$$

Ecuación 28

Dónde:

- P1 : Porcentaje de viajes no afectados a la medida de zona de baja emisión
P2 : Porcentaje de viajes afectados a la medida de zona de baja emisión

Finalmente el cálculo del nivel de actividad de los arcos fuera de la zona de baja emisión, no afectos a la medida de ZBE se obtiene al multiplicar los km-veh/año totales de estos arcos por P1 y los afectos al multiplicar por P2.

Es importante señalar que existen zonas origen destino que cruzan la ZBE (ver zona C de la **Figura 12.2**), por tanto, tiene arcos dentro y fuera de la ZBE. Para resolver estos casos, se dividieron estas zonas en dos sub-zonas una que contiene los arcos dentro de la ZBE y otra sub-zona que contiene los arcos fuera de la ZBE. Para repartir los viajes entre estas 2 sub-zonas y el resto de las zonas, se distribuyeron los viajes de esta zona origen destino en forma proporcional al nivel de actividad km-veh/año de los arcos que están dentro de la ZBE y los arcos que están fuera de la ZBE.

- Para la distribución del nivel de actividad de los arcos exentos dentro de la ZBE, entre no afectos y afectos, se utilizaron los mismos valores P1 y P2 calculados para los arcos fuera de la ZBE.

Finalmente al aplicar estos supuestos se obtuvieron los valores de P1 y P2 y se generó la distribución de kilómetros requeridos requerida.

Los valores de P1 y P2 dieron respectivamente: 0,43 y 0,57. Es decir de los Km-Veh/año recorridos fuera de la ZBE, un 43% de ese nivel de actividad no se ve afecto por la medida y un 57% se ve afectado.

En la Tabla 12.2 siguiente se presentan los niveles de actividad distribuidos.

Tabla 12.2 Niveles de Actividad de Camiones en miles de kilómetros por CCF8 Distribuidos en: Afectos y No Afectos por la ZBE

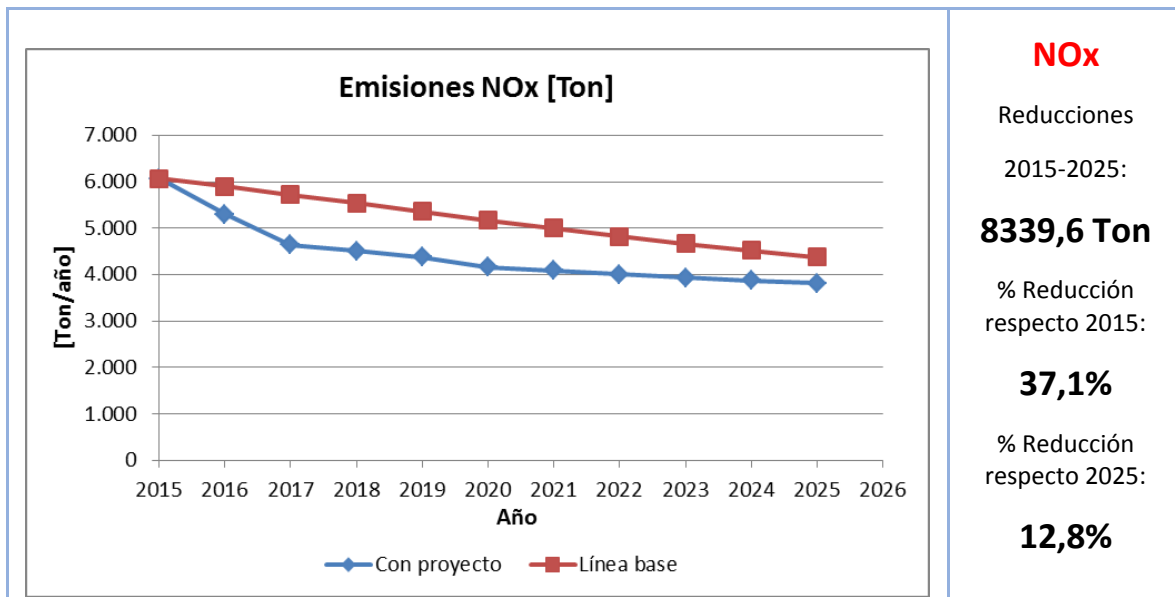
Descripción CCF8	Miles Km Recorrido Total	Miles Km Dentro de la ZBE Afectados	Miles Km Fuera de la ZBE NO Afectados	Miles Km Fuera de la ZBE Afectados	Miles Km Dentro de la ZBE Exentos NO Afectados	Miles Km Dentro de la ZBE Exentos Afectados
Camiones livianos diésel sin norma	49.935	7.305	14.519	19.178	3.848	5.083
Camiones livianos Diesel Euro 1	96.651	14.823	27.686	36.569	7.571	10.000
Camiones livianos Diesel Euro 2	175.338	26.474	50.054	66.114	14.087	18.607
Camiones livianos diésel Euro 3	182.867	31.789	51.075	67.462	14.021	18.519
Camiones medianos diésel sin norma	48.628	6.636	14.188	18.740	3.905	5.158
Camiones medianos diésel Euro 1	92.933	13.377	26.644	35.193	7.633	10.083
Camiones medianos diésel Euro 2	167.123	23.944	47.451	62.676	14.240	18.809
Camiones medianos diésel Euro 3	170.561	29.119	46.968	62.038	13.975	18.459
Camiones pesados diésel sin norma	35.879	3.538	9.887	13.059	4.047	5.345
Camiones pesados diésel Euro 1	46.940	5.594	13.297	17.564	4.517	5.966
Camiones pesados diésel Euro 2	63.549	8.958	17.547	23.177	5.974	7.890
Camiones pesados diésel Euro 3	95.691	11.862	26.406	34.878	9.713	12.830

Fuente: Elaboración propia

12.1.3 RESULTADOS

Tabla 12.3 Resultados Zona Baja Emisión

Elaboración Técnica																																					
<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none"> Anillo de restricción permanente para camiones en Américo Vespucio. Se exceptúan de la restricción en el eje Autopista Central (Ruta 5 y General Velásquez) y Circunvalación Américo Vespucio y sus caletas. Con proyecto, deberán dar cumplimiento los camiones con una antigüedad máxima de 12 años o 18 años si cuenta con Filtro de Partículas y cuentan con estándar mínimo Euro III. 																																					
<p>Supuestos para la Evaluación</p>																																					
<p>Línea Base:</p> <ul style="list-style-type: none"> Crecimiento del Nivel de Actividad (NA) global para camiones del 2%, según datos modelo STEP2010 (SECTRA), que resulta de una proyección sobre datos históricos, y validación con datos PRT 2011-2014 (promedio 3%). Crecimiento neto de la flota igual al del NA, con tasa de retiro de 4% en escenario base (según estimación estudio [Estrategia 2012]). En escenario base el retiro es distribuido entre PRE EURO a EURO III. 																																					
<p>Con Proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> Para alcanzar requerimiento de cumplimiento de estándar con proyecto se estima una tasa de retiro del 14% en periodo 2015-2017. Para los años posteriores la tasa estimada de retiro es de 12%. Con proyecto, deberán dar cumplimiento los camiones con una antigüedad máxima de 12 años o 18 años si cuenta con Filtro de Partículas y cuentan con estándar mínimo Euro III. 																																					
<p>Proyección Emisiones</p>																																					
<table border="1"> <caption>Emisiones MP2,5 [Ton]</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Con proyecto [Ton/año]</th> <th>Línea base [Ton/año]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2015</td><td>260</td><td>260</td></tr> <tr><td>2016</td><td>190</td><td>240</td></tr> <tr><td>2017</td><td>140</td><td>220</td></tr> <tr><td>2018</td><td>130</td><td>205</td></tr> <tr><td>2019</td><td>100</td><td>190</td></tr> <tr><td>2020</td><td>85</td><td>175</td></tr> <tr><td>2021</td><td>80</td><td>160</td></tr> <tr><td>2022</td><td>75</td><td>145</td></tr> <tr><td>2023</td><td>70</td><td>130</td></tr> <tr><td>2024</td><td>65</td><td>115</td></tr> <tr><td>2025</td><td>60</td><td>100</td></tr> </tbody> </table>	Año	Con proyecto [Ton/año]	Línea base [Ton/año]	2015	260	260	2016	190	240	2017	140	220	2018	130	205	2019	100	190	2020	85	175	2021	80	160	2022	75	145	2023	70	130	2024	65	115	2025	60	100	<p>MP2.5</p> <p>Reducciones</p> <p>2015-2025:</p> <p>682,3 Ton</p> <p>% Reducción respecto 2015:</p> <p>76,8%</p> <p>% Reducción respecto 2025:</p> <p>40,4%</p>
Año	Con proyecto [Ton/año]	Línea base [Ton/año]																																			
2015	260	260																																			
2016	190	240																																			
2017	140	220																																			
2018	130	205																																			
2019	100	190																																			
2020	85	175																																			
2021	80	160																																			
2022	75	145																																			
2023	70	130																																			
2024	65	115																																			
2025	60	100																																			



Fuente: Elaboración propia.

Para mayor detalle de emisiones por comuna, ver Anexo E.

12.2 MEDIDA 2: APLICACIÓN EURO VI/EPA2010 PARA BUSES DE TRANSANTIAGO

12.2.1 ESCENARIOS DE EVALUACIÓN

De acuerdo a lo precisado con la contraparte del estudio, los escenarios de evaluación considerados y la gradualidad en la aplicación es la siguiente:

Línea base:

Como Escenario base, se considerara que los buses que se renuevan de la flota de Transantiago deberán cumplir como mínimo con un nivel de emisiones de Euro 5. En este escenario no se considera la construcción de corredores (sin Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS).

Escenario 1:

Se considerara que los buses que se renuevan de flota de la Transantiago deberán cumplir como mínimo con un nivel de emisiones de Euro 6, a partir del año 2017. En este escenario no se considera la construcción de corredores (sin Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS).

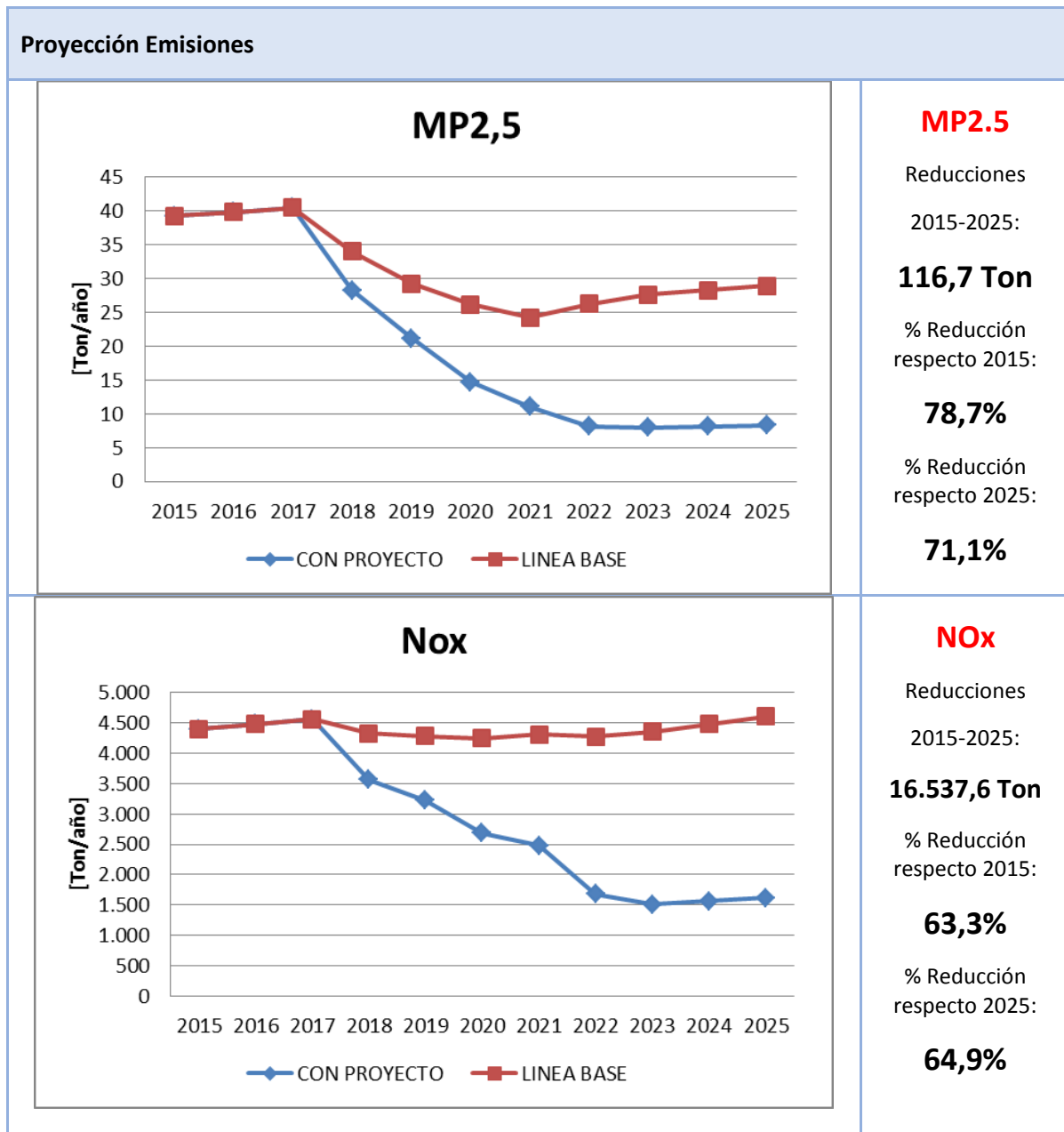
12.2.2 MODELACIÓN DE EMISIONES

Esta medida al igual que la medida anterior considera la elaboración de un modelo simplificado de emisiones, afectando la composición tecnológica de la flota, utilizando los Factores de Emisión COPERT, y el nivel de actividad y velocidades proyectadas según MODEM, con modelo de transporte 2025 sin PMTS. La proyección de flota es realizada según lo previsto en el programa de renovación de Transantiago (ver **Tabla 10.18**), para ello se hace el supuesto que el bus que se renovará es el que posea año de fabricación más antiguo. Respecto al nivel de emisión que deberán cumplir los nuevos vehículos que se incorporan, dependerá exclusivamente del escenario de simulación.

12.2.3 RESULTADOS

Tabla 12.4 Resultados para Medida 2

Elaboración Técnica
<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none">Se aplica estándar Euro VI a los buses nuevos que ingresen al sistema de transporte público a partir de 2017.
<p>Supuestos para la Evaluación</p>
<p>Línea Base:</p> <ul style="list-style-type: none">Se considera el programa de renovación 2017-2023 previsto por Transantiago, los buses renovados cumplirán con norma de emisiones Euro 5.Se considera nivel de actividad y velocidades medias por año, calculas por MODEM, sin considerar la construcción de corredores (Sin Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS). <p>Con Proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none">Se considera el programa de renovación 2017-2023 previsto por Transantiago, los buses renovados cumplirán con norma de emisiones Euro 6.Se considera nivel de actividad y velocidades medias por año, calculas por MODEM, sin considerar la construcción de corredores (Sin Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS).



Fuente: Elaboración propia.

Para mayor detalle de emisiones por comuna, ver **Anexo E**. y para observar las emisiones por unidad de negocio ver **Anexo F**.

12.3 MEDIDA 3: TECNOLOGÍA DE CERO Y BAJA EMISIÓN PARA TRANSANTIAGO

12.3.1 ESCENARIOS DE EVALUACIÓN

De acuerdo a lo precisado con la contraparte del estudio, los escenarios de evaluación considerados y la gradualidad en la aplicación es la siguiente:

Línea base:

Como Escenario base, se considerara que los buses que se renuevan de la flota de Transantiago deberán cumplir como mínimo con un nivel de emisiones de Euro 5, a partir del año 2018. En este escenario no se considera la construcción de corredores (sin Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS).

Escenario 1:

El escenario 1 de simulación considerara que los buses que se renuevan de la flota de Transantiago deberán cumplir como mínimo con un nivel de emisiones de Euro 6, a partir del año 2018 y además se incorpora un 5% de buses híbridos, para cumplir esto en el año 2018 un 25% de los buses que ingresan a la flota deberán ser híbridos. Además este escenario no considera la construcción de corredores (sin Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS).

Escenario 2:

Se evalúan los mismos parámetros que en caso anterior, sin embargo se considera como parte del escenario la construcción de corredores.

12.3.2 MODELACIÓN DE EMISIONES

Se considerarán las mismas condiciones de modelación que la medida anterior, mediante la aplicación de un modelo simplificado. El parámetro afectado por la presente medida es la composición tecnológica de troncales y alimentadores para el total de flotas de buses TRANSANTIAGO, considerando los valores de Nivel de Actividad y velocidades medias obtenidas con MODEM, con o sin PMTS, según el escenario proyectado.

12.3.3 RESULTADOS

Tabla 12.5 Resultados Medida 3 (Escenario 1)

Elaboración Técnica
<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none">• Se aplica estándar Euro VI a los buses nuevos que ingresen al sistema de transporte público a partir de 2017, y se incorpora un 5% de flota híbrida.• Se generan mecanismo que incentivan la incorporación de buses híbridos y eléctricos mediante extensión de plazo.

Supuestos para la Evaluación

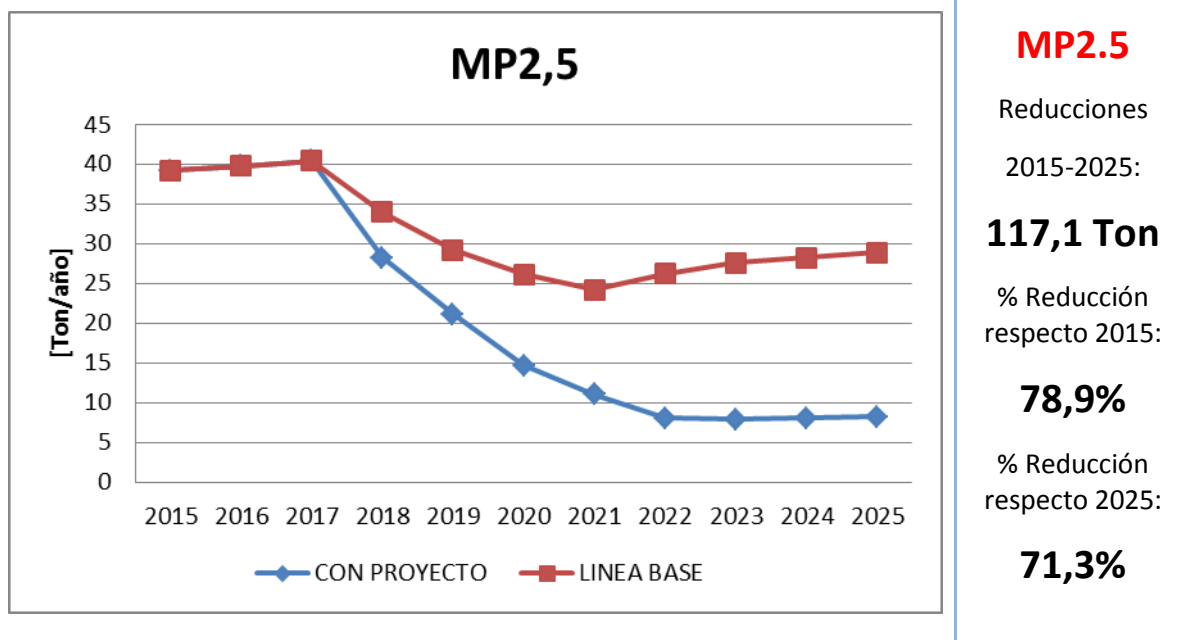
Línea Base:

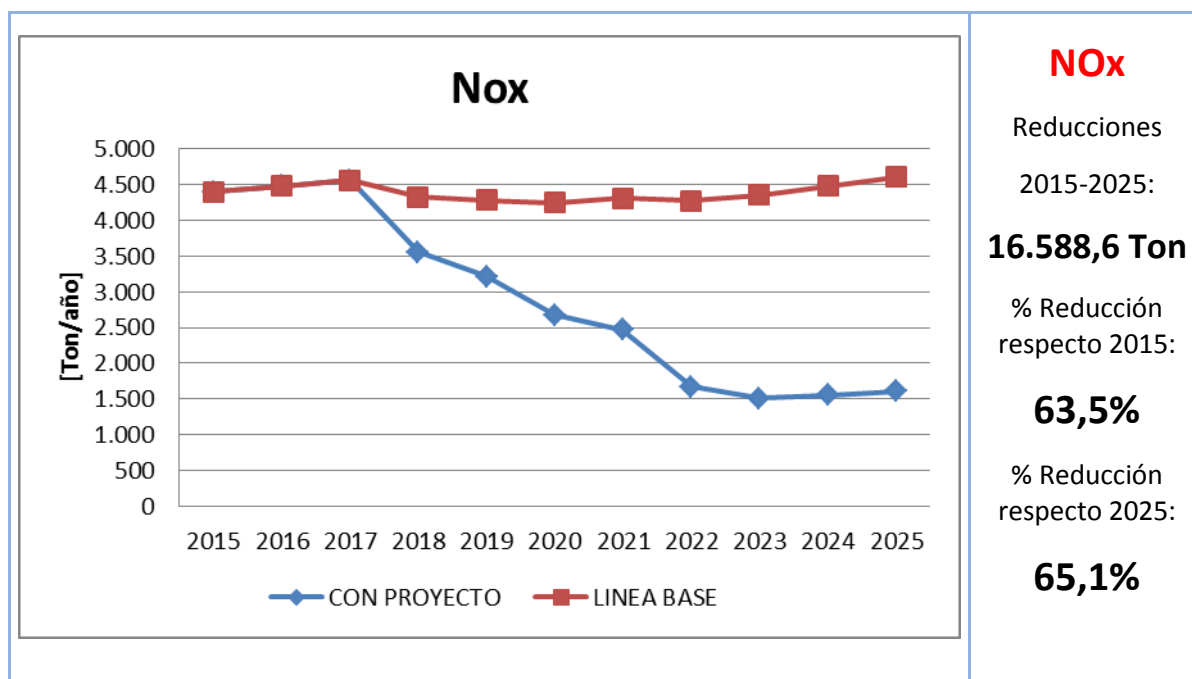
- Se considera el programa de renovación 2017-2023 previsto por Transantiago, los buses renovados cumplirán con norma de emisiones Euro 5.
- Se considera nivel de actividad y velocidades medias por año, calculas por MODEM, sin considerar la construcción de corredores (Sin Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS).

Con Proyecto:

- Se considera el programa de renovación 2017-2023 previsto por Transantiago, los buses renovados cumplirán con norma de emisiones Euro 6.
- Este escenario es complementaria con Buses estándar Euro VI, incorporando un 5% de Buses Híbridos con motor Diésel Euro 6 en la modelación.
- Se considera nivel de actividad y velocidades medias por año, calculas por MODEM, sin considerar la construcción de corredores (Sin Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS).

Proyección Emisiones

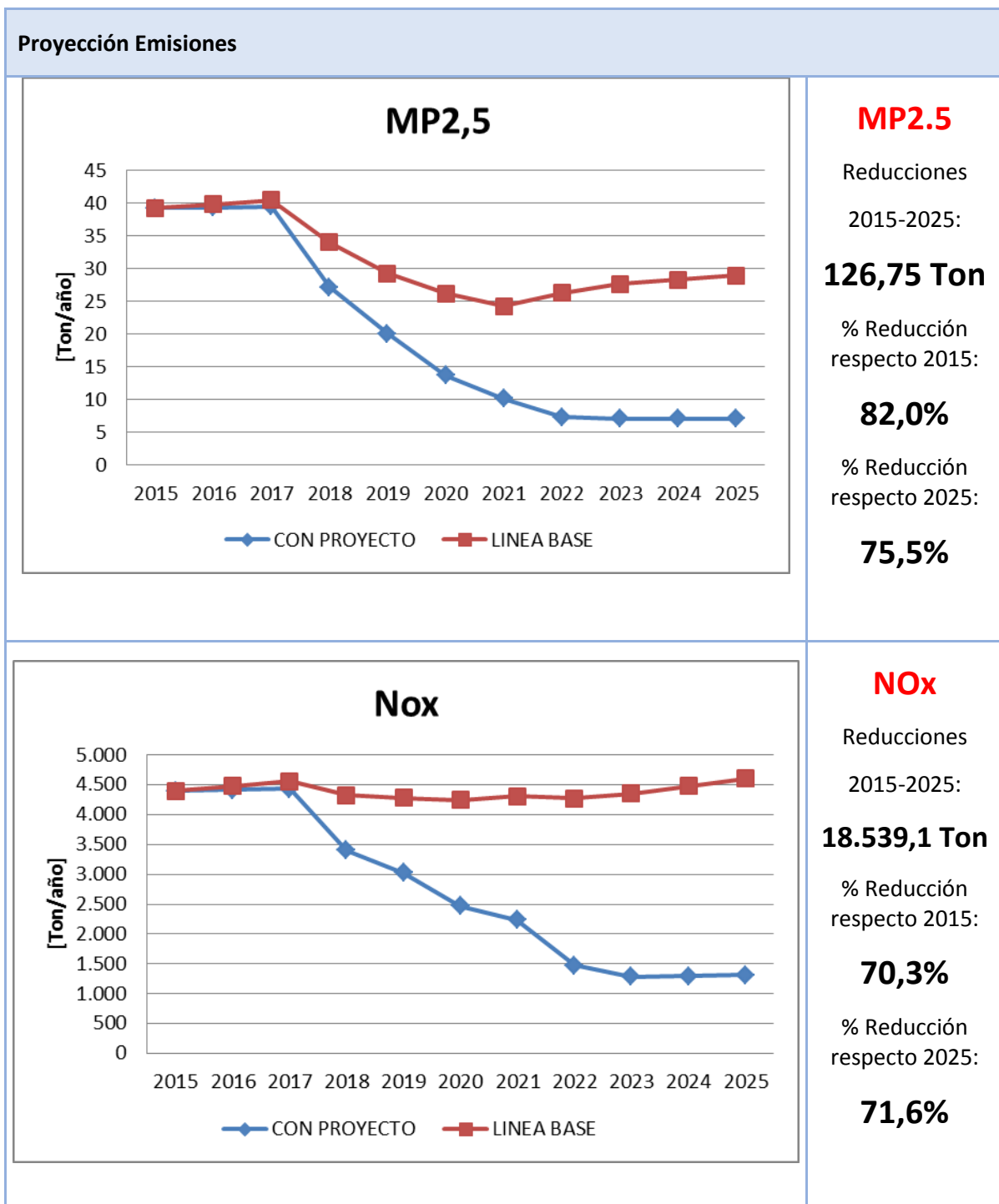




Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12.6 Resultados Medida 3 (Escenario 2)

Elaboración Técnica
<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none"> Se aplica estándar Euro VI a los buses nuevos que ingresen al sistema de transporte público a partir de 2017, y se incorpora un 5% de flota híbrida. Se generan mecanismo que incentivan la incorporación de buses híbridos y eléctricos mediante extensión de plazo.
Supuestos para la Evaluación
<p>Línea Base:</p> <ul style="list-style-type: none"> Se considera el programa de renovación 2017-2023 previsto por Transantiago, los buses renovados cumplirán con norma de emisiones Euro 5. Se considera nivel de actividad y velocidades medias por año, calculas por MODEM, sin considerar la construcción de corredores (Sin Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS). <p>Con Proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> Se considera el programa de renovación 2017-2023 previsto por Transantiago, los buses renovados cumplirán con norma de emisiones Euro 6. Este escenario es complementaria con Buses estándar Euro VI, incorporando un 5% de Buses Híbridos con motor Diésel Euro 6 en la modelación. Se considera nivel de actividad y velocidades medias por año, calculas por MODEM, considerando la construcción de corredores (Con Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS).



Fuente: Elaboración Propia

Para mayor detalle de emisiones por comuna, ver **Anexo E.** y para observar las emisiones por unidad de negocio ver **Anexo F.**

12.4 MEDIDA 4: RESTRICCIÓN VEHICULAR

12.4.1 ESCENARIOS DE EVALUACIÓN

De acuerdo a lo precisado con la contraparte del estudio, los escenarios de evaluación considerados y la gradualidad en la aplicación es la siguiente:

Línea base:

Como Escenario base, se considera que los vehículos que se renuevan del parque deberán cumplir como mínimo con un nivel de emisiones actual, es decir, Euro 5 para livianos y medianos, y de Euro 3 para motocicletas. Además se consideran las tasas de renovación vehicular proyectadas según 4.4.2 de este informe y no se considera la implementación del PMTS.

Escenario 1:

A partir del 2016, se incorporan a la restricción vehicular, entre el 01 de mayo al 31 de agosto de cada año, a los vehículos de más de 7 años de uso, incluido los vehículos con sello verde. Los vehículos que se renuevan del parque deberán cumplir como mínimo con un nivel de emisiones actual, es decir, Euro 5 para livianos y medianos, y de Euro 3 para motocicletas. Las tasas de renovación se incrementan para obtener un promedio de antigüedad de la flota 2 años menor que línea base al 2025. Además de considerará el efecto en el factor de emisión de aplicar los estándares finales de la EPA respecto al ASM. La proyección 2025 no considera la implementación del PMTS.

12.4.2 MODELACIÓN DE EMISIONES

En la modelación de esta medida se considera a vehículos diésel o gasolina, de las categorías livianos, medianos y motocicletas.

En la modelación de la línea base se utilizaron las tasas de retiro anual vehicular por cada subcategoría vehicular por rangos de año de fabricación, obtenidos en el estudio [Estrategia 2012] y de ventas según el punto 4.4.2 de este informe.

La tasa de retiro estimada por para cada categoría y rango de antigüedad, se aplicó a cada período de proyección obteniendo el total de vehículos retirados. Así también para las ventas, obteniendo la flota proyectada hasta el 2025, según línea base.

El nivel de actividad es proyectado a de acuerdo a una ecuación de la recta, esto debido a que se dispone del NA de moderm 2012 y el del año 2025, por lo tanto se hace el supuesto que este varia a una tasa constante.

Para el desarrollo del escenario con proyecto se considera que un año cuenta con 52,14 semanas al año, con lo cual, considerando el periodo de vigencia de la restricción y los días a la semana que aplica, se estima que un 6,7% del nivel de actividad total en el año está restringido para los vehículos afectados. A partir del estudio [HNC 2012]⁵³, se obtuvo que de los ciudadanos que se encuentran con restricción, un 63,8% usa transporte

⁵³ Evaluación del Programa Hoy No Circula en la Zona Metropolitana del Valle de México, Centro Mario Molina, 2012.

público el día de la restricción, un 13,8% no sale ese día, un 8,3% utiliza taxi, el 3,9% comparte ruta y sólo 4,5% compró un segundo auto.

Por lo tanto, si utilizamos estas cifras, se tendría que del total de vehículos que se encuentran con restricción, un 67,7% del nivel de actividad en vehículo privado es evitado por la medida del total restringido.

Para el caso del segundo vehículo el estudio [Montero 2015]⁵⁴ establece que este efecto es marginal al largo plazo, lo que si realmente es considerable es el incremento de las tasas de renovación y retiros debido a la restricción.

Otro resultado del estudio [HNC 2012] es que Ciudad de México, que cuenta con restricción por antigüedad, tiene una flota vehicular que en promedio es 4 años más joven que la de otras ciudades del País, con igual o similares indicadores socioeconómicos, después de 20 años de implementada la restricción. Para la simulación del escenario con restricción vehicular, se ha supuesto entonces, que al 2025 Santiago contará con una flota 2 años más joven respecto a la línea base (puesto que han pasado 10 años del inicio de la medida), esto quiere decir que se simularán tasas de venta y retiro de vehículos, incrementadas respecto de la línea base, hasta el punto de obtener el objetivo señalado.

Respecto del Nivel de Actividad y Velocidades Medias, se consideran las proyectadas 2025 sin PMTS.

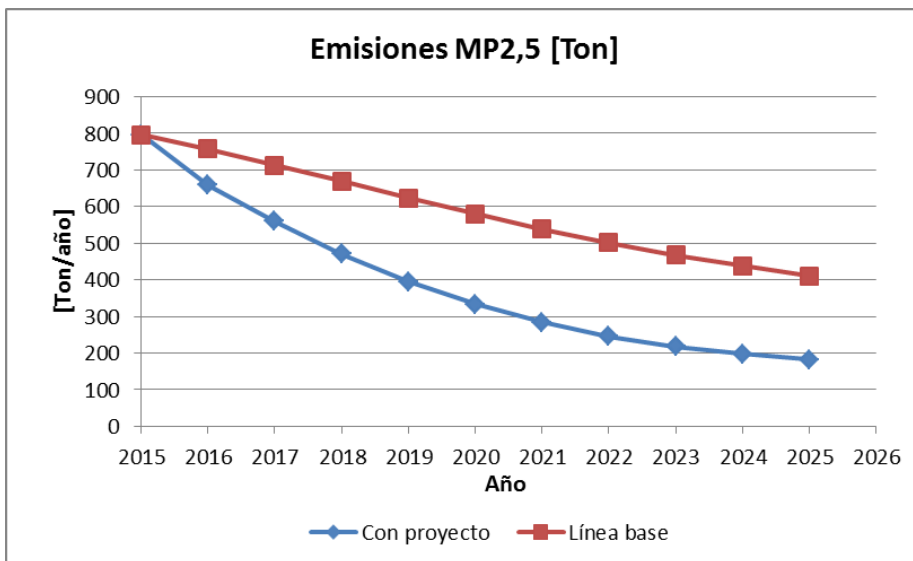
⁵⁴ "Adopting a cleaner technology: The effect of driving restrictions on fleet turnover", 2015.

12.4.3 RESULTADOS

Tabla 12.7 Resultados Restricción Vehicular a vehículos con año fabricación <2012.

Elaboración Técnica
<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none">• Restricción vehicular, entre el 01 de mayo al 31 de agosto de cada año, a los vehículos con año de fabricación menor a 2012, incluido los vehículos con sello verde.• Modelación realizada para vehículos diésel y gasolina, para los siguientes tipos de vehículos: livianos, medianos y motocicletas.• Incorporación del efecto en las emisiones de vehículos a gasolina, al utilizar los límites finales ASM.
<p>Supuestos para la Evaluación</p>
<p>Línea Base:</p> <ul style="list-style-type: none">• Se considera que los vehículos que se renuevan del parque deberán cumplir como mínimo con un nivel de emisiones actual, es decir, Euro 5 para livianos y medianos, y de Euro 3 para motocicletas.• Retiro según distribución por años de uso y tipo vehículo [Estrategia 2012]• Las ventas fueron ajustadas para alcanzar un crecimiento neto del parque en promedio de 4,8% para vehículos comerciales, 4,3% para las motocicletas y un 5,4% para los vehículos particulares.• Se considera nivel de actividad y velocidades medias por año, calculas por MODEM, sin considerar la construcción de corredores (Sin Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS).
<p>Con Proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none">• Se considera que los vehículos que se renuevan del parque deberán cumplir como mínimo con un nivel de emisiones actual, es decir, Euro 5 para livianos y medianos, y de Euro 3 para motocicletas.• Las ventas fueron ajustadas para alcanzar un crecimiento neto del parque en promedio de 4,8% para vehículos comerciales, 4,3% para las motocicletas y un 5,4% para los vehículos particulares.• Restricción vehicular, entre el 01 de mayo al 31 de agosto de cada año, a los vehículos con año de fabricación menor a 2012, incluido los vehículos con sello verde.• Nivel de actividad afectado para la flota con restricción es de 6,7% (considerando 17,38 días restringido en un año).• Del nivel de actividad afectado, sólo un 67,7% es derivado a transporte público según encuesta [HNC 2012], el resto comparte vehículo, usa taxi o realiza la compra de un segundo vehículo.• Las tasas de renovación se incrementan para los vehículos afectos a la medida, de tal modo que al año 2025 estos representen 15%. Esta meta se determinó bajo información del INE, la que indica que los vehículos no catalíticos al 2006 representan un 13%, es decir, 13 años después de iniciada la restricción. Por lo que se hace el supuesto que después 10 años de iniciada la restricción a estos, estos representarían un 15%.• Los vehículos rechazados con el nuevo nivel de exigencia en ASM, tiene una reducción en sus emisiones, debido a la reparación del convertidor catalítico del 70% para HC y CO, y de 30% para NOx.• Se considera nivel de actividad y velocidades medias por año, calculas por MODEM, sin considerar la construcción de corredores (Sin Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS).

Proyección Emisiones



MP2.5

Reducciones

2015-2025:

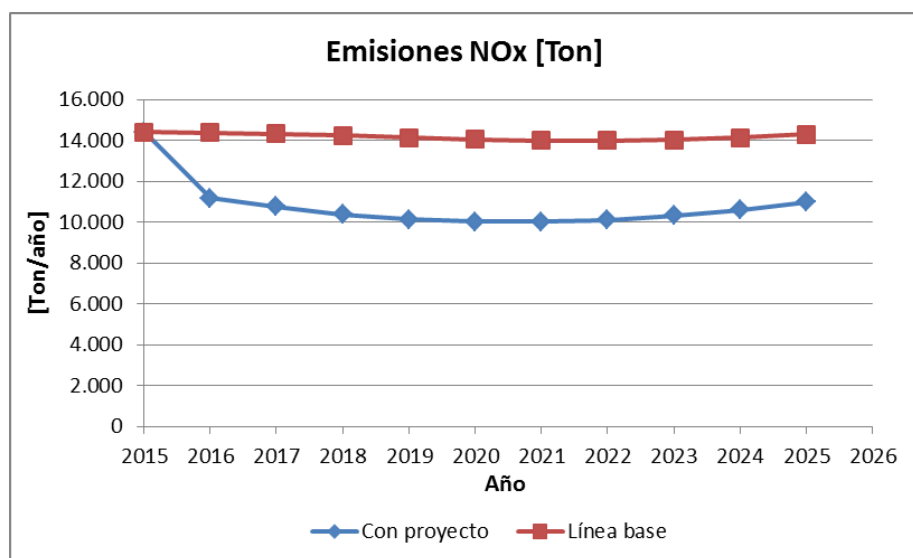
2.154,6 Ton

% Reducción respecto 2015:

77,1%

% Reducción respecto 2025:

55,6%



NOx

Reducciones

2015-2025:

37.096,5 Ton

% Reducción respecto 2015:

23,8%

% Reducción respecto 2025:

23,2%

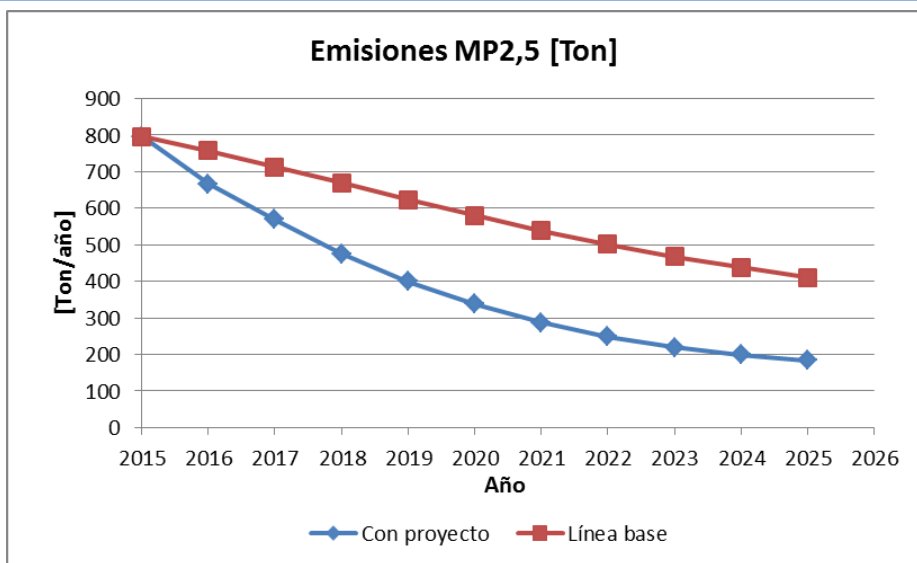
Fuente: Elaboración propia

Para mayor detalle de emisiones por comuna, ver Anexo E.

Tabla 12.8 Resultados Restricción Vehicular a vehículos > 7 años de antigüedad.

Elaboración Técnica
<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none">• Restricción vehicular, entre el 01 de mayo al 31 de agosto de cada año, a los vehículos con año de fabricación menor a 2012, incluido los vehículos con sello verde.• Modelación realizada para vehículos diésel y gasolina, para los siguientes tipos de vehículos: livianos, medianos y motocicletas.• Incorporación del efecto en las emisiones de vehículos a gasolina, al utilizar los límites finales ASM.
<p>Supuestos para la Evaluación</p>
<p>Línea Base:</p> <ul style="list-style-type: none">• Se considera que los vehículos que se renuevan del parque deberán cumplir como mínimo con un nivel de emisiones actual, es decir, Euro 5 para livianos y medianos, y de Euro 3 para motocicletas.• Retiro según distribución por años de uso y tipo vehículo [Estrategia 2012]• Las ventas fueron ajustadas para alcanzar un crecimiento neto del parque en promedio de 4,8% para vehículos comerciales, 4,3% para las motocicletas y un 5,4% para los vehículos particulares.• Se considera nivel de actividad y velocidades medias por año, calculas por MODEM, sin considerar la construcción de corredores (Sin Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS).
<p>Con Proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none">• Se considera que los vehículos que se renuevan del parque deberán cumplir como mínimo con un nivel de emisiones actual, es decir, Euro 5 para livianos y medianos, y de Euro 3 para motocicletas.• Las ventas fueron ajustadas para alcanzar un crecimiento neto del parque en promedio de 4,8% para vehículos comerciales, 4,3% para las motocicletas y un 5,4% para los vehículos particulares.• Restricción vehicular, entre el 01 de mayo al 31 de agosto de cada año, a los vehículos con año de fabricación menor a 2012, incluido los vehículos con sello verde.• Nivel de actividad afectado para la flota con restricción es de 6,7% (considerando 17,38 días restringido en un año).• Del nivel de actividad afectado, sólo un 67,7% es derivado a transporte público según encuesta [HNC 2012], el resto comparte vehículo, usa taxi o realiza la compra de un segundo vehículo.• Las tasas de renovación se incrementan para los vehículos afectos a la medida, de tal modo que al año 2025 la antigüedad de la flota vehicular sea 2 años menor respecto a la línea base.• Los vehículos rechazados con el nuevo nivel de exigencia en ASM, tiene un reducción en sus emisiones, debido a la reparación del convertidor catalítico del 70% para HC y CO, y de 30% para NOx.• Se considera nivel de actividad y velocidades medias por año, calculas por MODEM, sin considerar la construcción de corredores (Sin Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS).

Proyección Emisiones



MP2.5

Reducciones

2015-2025:

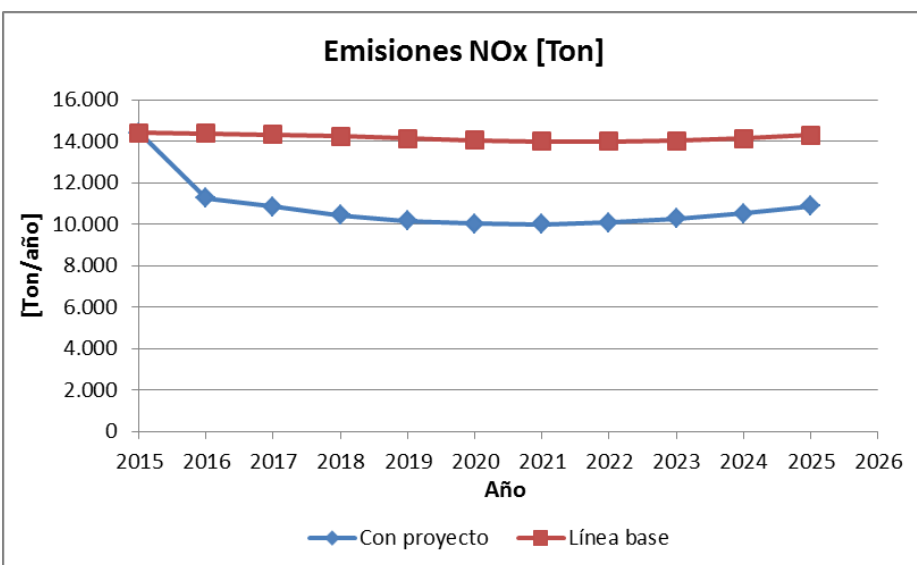
2.113,1 Ton

% Reducción respecto 2015:

76,9%

% Reducción respecto 2025:

55,2%



NOx

Reducciones

2015-2025:

37.112,0 Ton

% Reducción respecto 2015:

24,5%

% Reducción respecto 2025:

23,9%

Fuente: Elaboración propia

12.5 MEDIDA 5: LÍMITES FINALES ASM

12.5.1 ESCENARIOS DE EVALUACIÓN

De acuerdo a lo precisado con la contraparte del estudio, los escenarios de evaluación considerados y la gradualidad en la aplicación es la siguiente:

Línea base:

Como Escenario base, se considerara que los vehículos que se renuevan del parque deberán cumplir como mínimo con un nivel de emisiones actual, es decir, Euro 5 para livianos y medianos, y de Euro 3 para motocicletas. La proyección 2025 no considera la implementación del PMTS.

Escenario 1:

A partir del 2016, entran en vigencia los límites finales EPA (Ver Anexo D) lo que provoca que los vehículos que son rechazados con el nuevo estándar reparen su convertidor catalítico, lo cual afecta directamente al factor de emisión del NOx, HC y CO, reduciendo sus emisiones en un 30% para NOx y 70% para HC y CO.

12.5.2 MODELACIÓN DE EMISIONES

Para la modelación de emisiones se utiliza el modelo de la medida 4, al cual se le incorporo el efecto de introducir el límite final EPA.

Para ver el efecto de esta medida es necesario determinar las tasas de rechazo de los vehículos con el estándar actual y con nueva exigencia, para finalmente estimar la tasa de rechazados adicionales. Estas tasas son calculadas de la última información disponible de las PRT (año 2014), a la cual le aplica el límite final propuesto por el Ministerio del Medio Ambiente (disponible en el diario oficial, página 2⁵⁵). Mayor detalle del límite actual, final EPA y tasas de rechazo ver Anexo D.

Además de las tasas de rechazo es necesario conocer el efecto que esto tiene en el factor de emisión de los vehículos, para esto el consultor ha desarrollado el siguiente esquema metodológico:

- 1) Se considera que el FE es resultado de la flota limpia (que aprueban el límite) y la flota sucia (de rechazados por el límite), siendo α_i el porcentaje de vehículos sucios para el tipo de vehículo i , se tiene que el FE promedio de la flota, es:

$$FE_i = \alpha_i * FE_{rech,i} + (1 - \alpha_i) * FE_{aprob,i} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

FE_i : Factor de emisión de la flota.

α_i : Tasa de rechazo según tipo de vehículo i .

⁵⁵ http://www.mma.gob.cl/transparencia/mma/doc/RES_402Anteproyecto_RNORMAEMISIoN_NO_HC_CO_NOX_CHISPA.pdf

$FE_{rech,i}$: Factor de emisión de los vehículos que son rechazados en las PRT según tipo de vehículo i.

$FE_{aprob,i}$: Factor de emisión de los vehículos que son aprobados en las PRT según tipo de vehículo i.

- 2) Considerando que las emisiones másicas del motor son función de la concentración volumétrica de contaminantes en los gases de escape, ponderado por el flujo de dichos gases y la densidad del contaminante, se tiene que la medición de ASM, normalizado por el límite correspondiente (NE), que ya es función del tamaño del vehículo y del flujo de gases, es entonces proporcional a las emisiones másicas, entonces asumiremos que las emisiones medidas por las PRT dividido por el estándar ASM 5015, está directamente rectamente relacionado con el factor de emisión, por lo tanto se tiene:

$$\frac{\text{Concentraciones medidas en PRT}}{\text{Límite ASM}} = NE_i \propto FE_i \quad \text{Ecuación 30}$$

$$\frac{NE_{rech,i}}{NE_{aprob,i}} = \frac{FE_{rech,i}}{FE_{aprob,i}} = k \quad \text{Ecuación 31}$$

De lo anterior se concluye que existe una proporcionalidad entre los niveles de emisiones (NE), de los vehículos rechazados, con el NE de los aprobados, lo que es equivalente a realizar la misma proporcionalidad con los factores de emisión, como se observa en la ecuación 18.

- 3) Considerando según el DS 15/2000 del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones⁵⁶, se tiene que existe un porcentaje de reducción en las emisiones en los vehículos que son rechazados al realizar cambio de convertidor catalítico del 70% para el HC y CO y del 30% para el NOx. No obstante, se asume que existe una distribución uniforme de los vehículos sucios entre el valor de reparación ($FE_{rep,i}$) y el de rechazo. De lo anterior se establece que:

$$FE_{rep,i} = FE_{rech,i} \quad \text{Ecuación 32}$$

$$FE_i^{Proy} = \left[FE_{rep,i} + \frac{(FE_{rech,i} - FE_{rep,i})}{2} \right] * \alpha_i + FE_{aprob,i} * (1 - \alpha_i) \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde:

FE_i^{Proy} : Factor de emisión del vehículo i con proyecto, es decir, con la incorporación del nuevo estándar ASM.

f : Eficacia del convertidor catalítico de reposición, 30% para HC y CO, 70% para NOx.

- 4) Finalmente, para evaluar el factor de emisiones con proyecto, es posible evaluar $FE_{rech,i}$ y $FE_{aprob,i}$ como sigue:

⁵⁶ <http://www.mtt.gob.cl/wp-content/uploads/2014/01/dec15200.pdf>

$$FE_{rech,i} = \frac{FE_i}{[\alpha_i + (1 - \alpha_i)/k]} \quad \text{Ecuación 34}$$

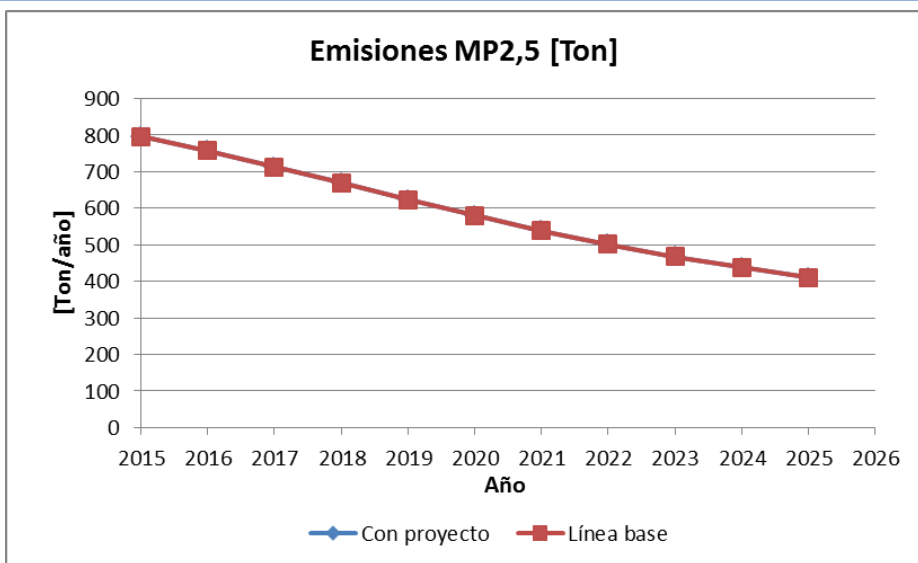
$$FE_{aprob,i} = \frac{FE_i}{k} \quad \text{Ecuación 35}$$

12.5.3 RESULTADOS

Tabla 12.9 Límites Finales ASM

Elaboración Técnica
<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelación realizada para vehículos diésel y gasolina, para los siguientes tipos de vehículos: livianos, medianos y motocicletas. • Incorporación del efecto en las emisiones de vehículos a gasolina, al utilizar los límites finales ASM.
<p>Supuestos para la Evaluación</p> <p>Línea Base:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se considera que los vehículos que se renuevan del parque deberán cumplir como mínimo con un nivel de emisiones actual, es decir, Euro 5 para livianos y medianos, y de Euro 3 para motocicletas. • Retiro según distribución por años de uso y tipo vehículo [Estrategia 2012]. • Las ventas fueron ajustadas para alcanzar un crecimiento neto del parque en promedio de 4,8% para vehículos comerciales, 4,3% para las motocicletas y un 5,4% para los vehículos particulares. • Se considera nivel de actividad y velocidades medias por año, calculas por MODEM, sin considerar la construcción de corredores (Sin Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS). <p>Con Proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se considera que los vehículos que se renuevan del parque deberán cumplir como mínimo con un nivel de emisiones actual, es decir, Euro 5 para livianos y medianos, y de Euro 3 para motocicletas. • Las tasas de ventas y retiro son las mismas que en línea base. • Los vehículos rechazados con el nuevo nivel de exigencia en ASM, tiene un reducción en sus emisiones, debido a la reparación del convertidor catalítico del 70% para HC y CO, y de 30% para NOx. • Se considera nivel de actividad y velocidades medias por año, calculas por MODEM, sin considerar la construcción de corredores (Sin Plan Maestro de Transporte de Santiago, PMTS).

Proyección Emisiones



MP2.5

Reducciones

2015-2025:

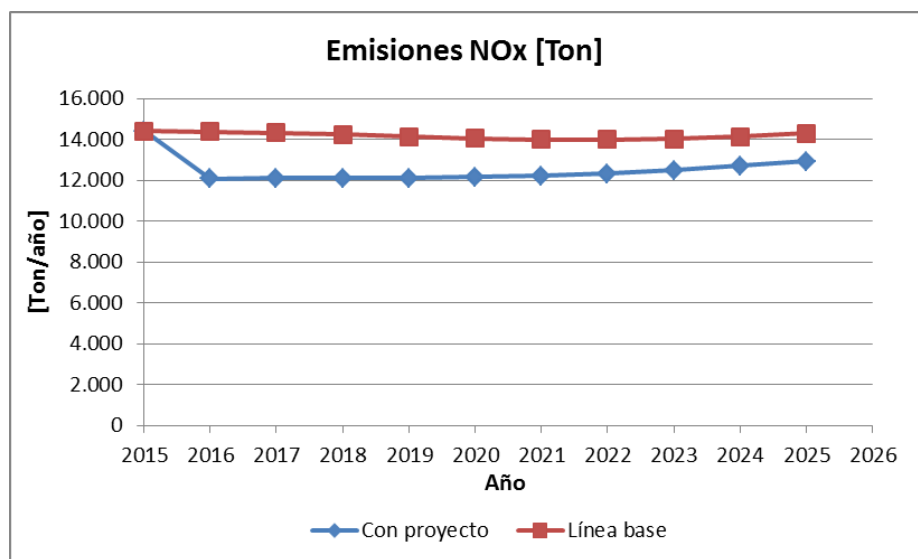
0,0 Ton

% Reducción respecto 2015:

48,4%

% Reducción respecto 2025:

0,0%



NOx

Reducciones

2015-2025:

18.326,2 Ton

% Reducción respecto 2015:

10,2%

% Reducción respecto 2025:

9,5%

Fuente: Elaboración Propia.

Para mayor detalle de emisiones por comuna, ver Anexo E.

12.6 MEDIDA 6: LÍMITES DE EMISIÓN CON RSD PARA VEHÍCULOS LIVIANOS Y MEDIANOS

12.6.1 ESCENARIOS DE AVALUACIÓN

Esta medida funciona como una herramienta de fiscalización que permite asegurar el beneficio de la implementación de los límites ASM, evitando, con fiscalización en ruta, la evasión o el fraude en el control en la PRT. En tal sentido figura como un costo de fiscalización, pero sus beneficios se recogen en la modelación de la norma ASM.

12.6.2 MODELACIÓN DE EMISIONES

La misma modelación que en la norma ASM.

12.6.3 RESULTADOS

Los mismos que en la norma ASM, en cada escenario (Ver punto 12.5.3).

12.7 MEDIDA 7: PROGRAMA REDUCCIÓN EMISIONES PARA MAQUINARIA CONSTRUCCIÓN

12.7.1 ESCENARIOS DE EVALUACIÓN

De acuerdo a lo precisado con la contraparte del estudio, los escenarios de evaluación considerados y la gradualidad en la aplicación es la siguiente:

Línea base sin norma de ingreso:

Para el escenario base se considera que la maquinaria ingresa según lo propuesto en el estudio “Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país”, elaborado por Geasur 2014. El cual establece que la maquinaria llega con 4 años de retraso tecnológico respecto a su país de origen.

Línea base con norma de ingreso:

Esta línea base considera, a diferencia de la anterior, que para el año 2017 todas las máquinas de puntoben cumplir como mínimo con el estándar Stage IIIA y que para el 2020 deberán cumplir con la norma Stage IIIB.

Escenario 1:

Las maquinarias del sector construcción pertenecientes a proyectos públicos con potencias superiores o iguales a 56[kW], son reacondicionadas con filtros de partículas 2017 (un 50% del total), y al 2020 son todas reacondicionadas.

Para este escenario se considera la línea base con norma de ingreso, es decir se hace el supuesto que ya existe norma de entrada para las maquinarias fuera de ruta, la cual establece que para el año 2017 todas las deben cumplir como mínimo con el estándar Stage IIIA y que para el 2020 deberán cumplir con la norma Stage IIIB.

12.7.2 MODELACIÓN DE EMISIONES

Para la expresión del cálculo de las emisiones provenientes de la maquinaria fuera de ruta, en esta metodología se utiliza la siguiente expresión para el factor de emisión (EF):

$$EF_{aj}(HC, CO, NOx) = EF_{EE} \cdot TAF \cdot FD \quad \text{Ecuación 36}$$

Dónde:

EF_{aj} : Factor de Emisión ajustado por operación transiente y deterioro, [g/kW-hr],

EF_{EE} : Factor de Emisión en estado estacionario de un equipo nuevo (hora cero), [g/kW-hr],

TAF : Factor de ajuste transiente para Tier 1 a Tier3, depende del tipo de operación de la maquinaria. (Tier 4 $TAF = 1$)

FD : Factor de Deterioro depende del envejecimiento del motor [adimensional].

En la expresión anterior EF_{EE} , corresponde típicamente al valor de certificación del motor, al valor límite de la norma o a valores experimentales. Para EPA se usa típicamente el valor de certificación de las emisiones medidas en las pruebas de dinamómetro de motor.

Para el material particulado se considerará una corrección por el contenido de azufre como sigue:

$$EF_{aj}(MP) = EF_{EE} \cdot TAF \cdot FD - S_{MPaj} \quad \text{Ecuación 37}$$

Dónde:

S_{MPaj} : Ajuste del MP por el contenido de azufre en el combustible [gr/kW-hr].

Este ajuste representa la variación del contenido de azufre en el combustible comercial respecto del utilizado para la certificación, el que se utiliza para obtener los valores de EF de los equipos nuevos (EF_{EE}).

A su vez la expresión para el ajuste por contenido de azufre S_{MPaj} , se entrega a continuación.

$$S_{MPaj} = BSFC \cdot TAF \cdot 7,0 \cdot soxcnv \cdot 0,01 \cdot (soxbas - soxdsl) \quad \text{Ecuación 38}$$

Dónde:

$BSFC$: Consumo específico de Combustible al Freno, [g/kW-hr]

$7,0$: Gramos de sulfato de MP / gramos de azufre en MP

$Soxcnv^{57}$: Gramos de Azufre en MP/gramos de Azufre en combustible Consumido.

0.01 : Conversión Porcentaje a Fracción

$Soxbas^{58}$: Contenido de azufre usado en el combustible de Certificación [%].

$Soxdsl^{59}$: Contenido de Azufre en el Combustible de Evaluación [%].

Los factores de emisión de CO_2 y SO_2 , por lo general son calculados en base al consumo de combustible específico del freno (BSFC). A continuación se presentan las ecuaciones para el cálculo de los factores de emisión:

$$EF(CO_2) = (BSFC_{adj} - HC_{adj}) \cdot 0,87 \cdot (44/12) \quad \text{Ecuación 39}$$

$$EF(SO_2) = (BSFC_{adj} \cdot (1 - soxcnv) - HC_{adj}) \cdot 0,01 \cdot soxdsl \cdot 2 \quad \text{Ecuación 40}$$

Dónde:

$EF(CO_2)$: Factor de emisión de CO_2 en [g/kW-hr]

$BSFC_{adj}$: consumo de combustible ajustado por factor transiente en [g/kW-hr]

HC_{adj} : Factor de emisión de HC ajustado por factor transiente en [g/kW-hr]

0,87 : Fracción de masa de carbono del diésel

44/12 : Proporción de CO_2 en masa a la masa de carbono

$EF(SO_2)$: Factor de emisión de SO_2 en [g/kW-hr]

$Soxcnv$: Gramos de Azufre en MP/gramos de Azufre en combustible Consumido.

0,01 : Factor de conversión de porcentaje a fracción

$Soxdsl$: Contenido de Azufre en el Combustible de Evaluación [%]

2 : Gramos de SO_2 formados a partir de un gramo de azufre

⁵⁷ $Soxcnv = 0,02247$ (Tier 0 a Tier 4A); $Soxcnv = 0,3$ (Tier 4)

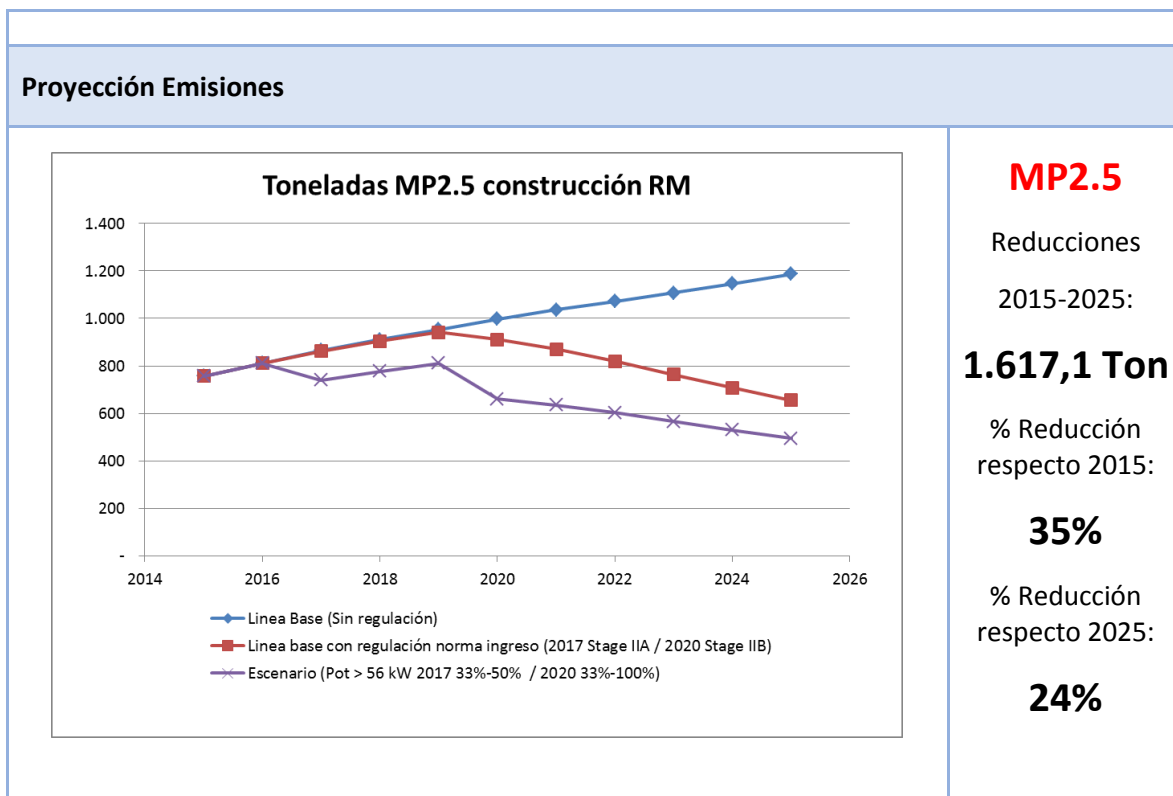
⁵⁸ $Soxbas = 0,33\%$ (Tier 0 a Tier 1); $Soxbas = 0,2\%$ (Tier 2 a Tier 3); $Soxbas = 0,05$ (Tier 4N); $Soxbas = 0,0015$ (Tier 4)

⁵⁹ $Soxdsl = 0,0015$ (Región Metropolitana); $Soxdsl = 0,005$ (Resto del país)

12.7.3 RESULTADOS

Tabla 12.10 MFR restricción 33% maquinarias sector público con potencias \geq 56kW.

Elaboración Técnica
<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none">• 33% de la maquinaria pertenece a proyectos públicos con potencia mayor o igual a 56 [kW].• 50% de la flota pertenecientes a proyectos públicos es reacondicionada al año 2017 (3.450 máquinas).• 100% de la flota pertenecientes a proyectos públicos es reacondicionada al año 2020 (8.920 máquinas).
<p>Supuestos para la Evaluación</p> <p>Línea Base:</p> <ul style="list-style-type: none">• Crecimiento de la flota mediante regresión lineal de datos históricos de bases de datos de Aduanas.• La maquinaria hasta el 2016 llega con 4 años de retraso tecnológico a Chile de los países provenientes de EEUU, Europa y Japón. <p>Con Proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none">• Crecimiento de la flota mediante regresión lineal de datos históricos de bases de datos de Aduanas.• La maquinaria hasta el 2016 llega con 4 años de retraso tecnológico a Chile de los países provenientes de EEUU, Europa y Japón.• Para el año 2017 toda la maquinaria que ingresa a Chile debe cumplir como mínimo norma de emisión Stage IIIA.• Para el año 2020 toda la maquinaria que ingresa a Chile debe cumplir como mínimo norma de emisión Stage IIIB.• La maquinaria reacondicionada tiene una eficiencia en material particulado del 90%



Fuente: Elaboración propia

Para mayor detalle de emisiones por comuna, ver Anexo E.

12.8 MEDIDA 8: IMPLEMENTACIÓN CORREDORES TRANSPORTE PÚBLICO

12.8.1 MODELACIÓN DE EMISIONES

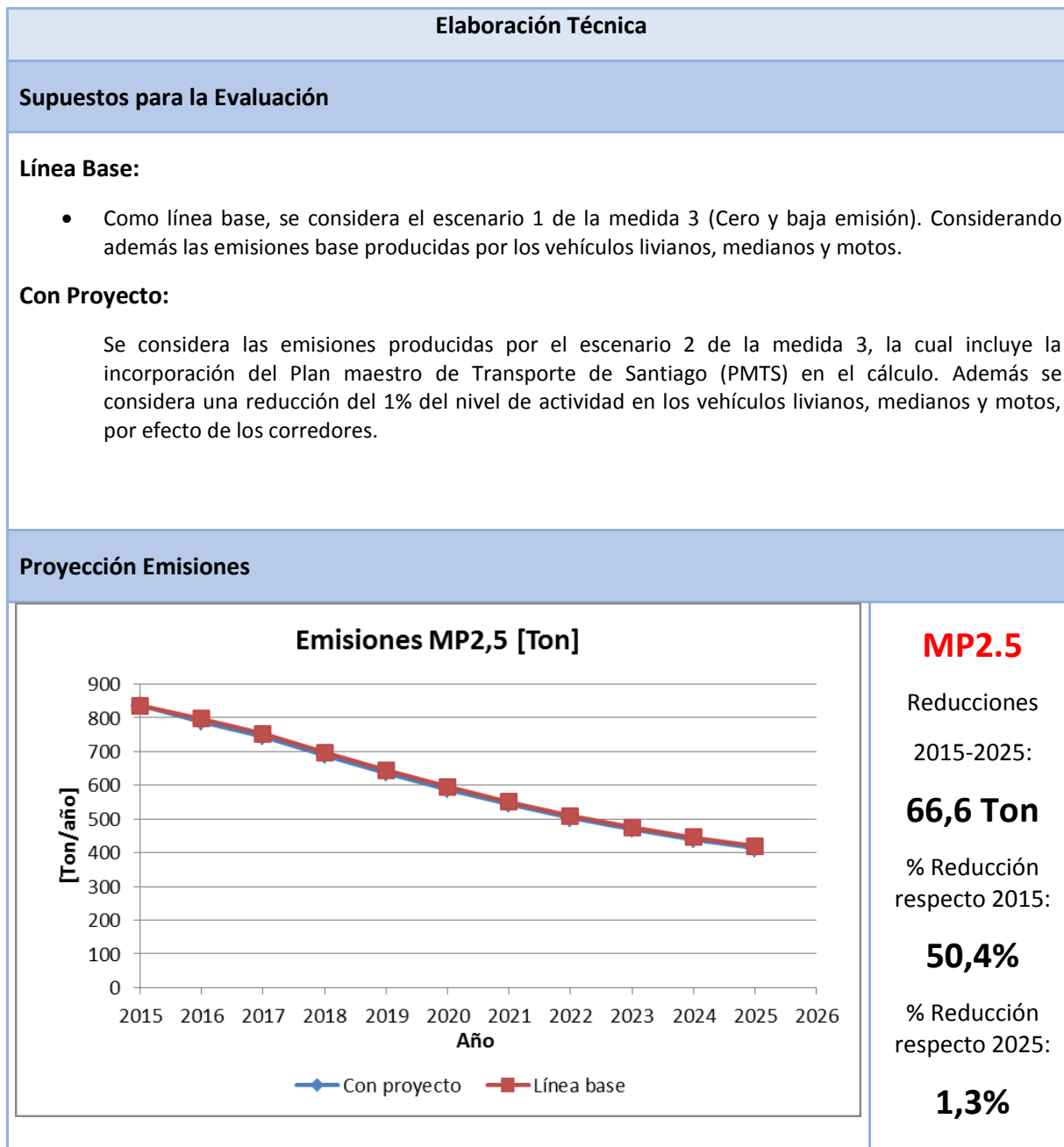
La implementación de esta medida generará impactos en el Sistema de Transporte, afectando por un lado el nivel de actividad del transporte privado, lo que se reflejará finalmente en el flujo vehicular y en un cambio en la partición modal, derivado del aumento en el nivel de servicio del transporte público. Estos efectos simulados simultáneamente entregan el impacto de la medida. Respecto a la magnitud del cambio en la partición modal se utilizó como referencia información del Plan Maestro de Transporte Santiago 2025 para los viajes en punta mañana, cuyo valor es de 3% a favor del transporte público. Se modelará un escenario considerando cambio modal hacia el transporte público de 1%, con la correspondiente reducción del NA para los modos privados. El escenario con proyecto corresponde a una variación proporcional en el nivel de actividad del transporte privado según los niveles de actividad ESTRAUS-MODEM 2012-2025 disponibles.

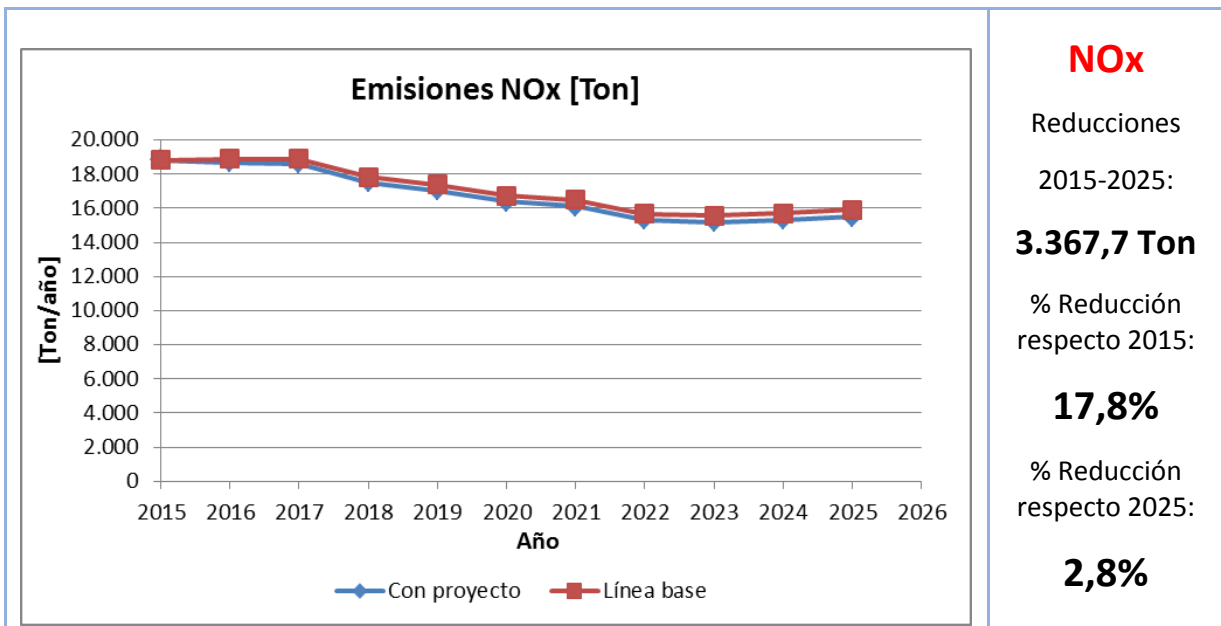
Esta medida afecta la velocidad media de los buses y de los automóviles por reasignación de espacio vial. Las velocidades medias simuladas fueron las entregadas por el modelo de Transporte 2012-2025, en sus

escenarios con corredores y sin corredores. Las composiciones tecnológicas utilizadas corresponden al escenario de renovación de la flota con buses EURO VI y un 5% de buses Híbridos.

12.8.2 RESULTADOS

Tabla 12.11 Corredores.





Fuente: Elaboración propia

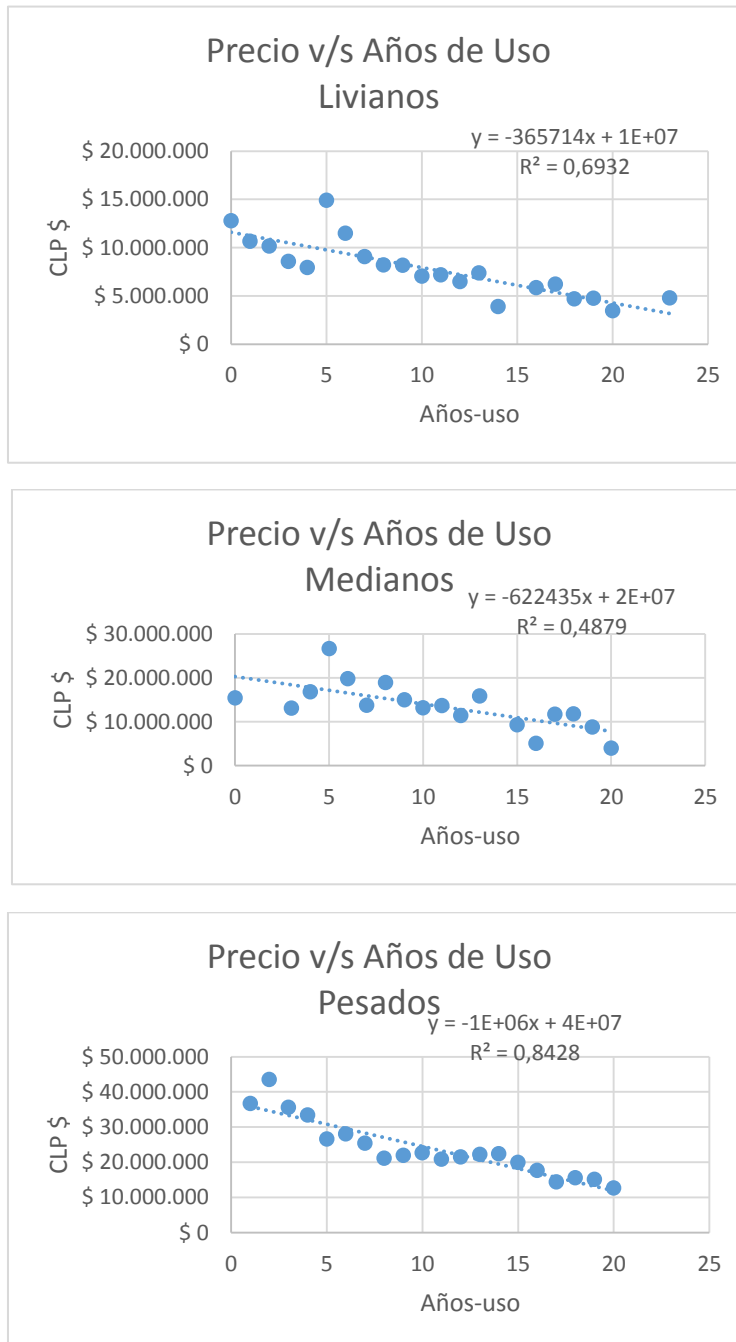
13. IDENTIFICACIÓN DE COSTOS

13.1. COSTOS DE INVERSIÓN

13.1.1. PRECIO CAMIONES

Para determinar el precio de un camión se contó con una muestra de 341 casos de precio de venta de camiones, los cuales fueron agrupados en las categorías Livianos, Medianos y Pesados, construyéndose una regresión lineal dependiente de los años de uso. A continuación se presentan las regresiones utilizadas para la estimación de precios.

Figura 13.1 Precios camiones por años de uso.



Fuente: Elaboración propia

En base a la misma muestra y agrupando por norma de emisión se obtuvo el precio por norma de emisión que se presenta a continuación:

Tabla 13.1 Precios 2015, Camiones por tipo y por Norma.

Tipo	Norma	Precio [CLP \$]
Camiones-Liviano	Sin Norma	\$ 3.212.821,00
	Euro I	\$ 5.020.225,00
	Euro II	\$ 7.322.139,00
	Euro III	\$ 9.158.188,00
	Euro IV	\$ 10.853.477,00
	Euro V	\$ 12.767.218,00
Camiones-Mediano	Sin Norma	\$ 5.911.945,00
	Euro I	\$ 8.525.613,00
	Euro II	\$ 13.273.107,00
	Euro III	\$ 16.591.000,00
	Euro IV	\$ 18.925.000,00
	Euro V	\$ 20.151.000,00
Camiones-Pesado	Sin Norma	\$ 6.977.000,00
	Euro I	\$ 13.000.000,00
	Euro II	\$ 21.998.000,00
	Euro III	\$ 28.386.000,00
	Euro IV	\$ 33.000.000,00
	Euro V	\$ 36.666.667,00

Fuente: Elaboración propia

13.1.2. PRECIO BUSES

Para obtener los precios de los buses se desarrollaron entrevistas con profesionales de la industria⁶⁰, obteniéndose la siguiente Tabla de resumen:

Tabla 13.2 Precios 2015, Buses por tipo y por norma

TIPO COMBUSTIBLE	NORMA	LARGO	TIPO BUS	USD ⁽¹⁾
DIESEL	EURO III	12 MT	RIGIDO	USD 180.000
DIESEL	EURO III	18 MT	ARTICULADO	USD 250.000
DIESEL	EURO V	12 MT	RIGIDO	USD 200.000
DIESEL	EURO V	18 MT	ARTICULADO	USD 270.000
DIESEL / ELECTRICO (HIBRIDO)	EURO V - HIBRIDO	12 MT	RIGIDO	USD 280.000
DIESEL / ELECTRICO (HIBRIDO)	EURO V - HIBRIDO	18 MT	ARTICULADO	USD 350.000
DIESEL	EURO VI	12 MT	RIGIDO	USD 230.000
DIESEL	EURO VI	18 MT	ARTICULADO	USD 310.500
DIESEL / ELECTRICO (HIBRIDO)	EURO VI - HIBRIDO	12 MT	RIGIDO	USD 322.000
DIESEL / ELECTRICO (HIBRIDO)	EURO VI - HIBRIDO	18 MT	ARTICULADO	USD 402.500

Fuente: Elaboración propia

Para los buses usados se ha considerado valor residual cero, toda vez que no hay un mercado para buses usados de Transantiago.

⁶⁰ Profesionales de Kaufmann, Volvo y Subus.

13.1.3. COSTO FILTRO DE PARTÍCULAS

Como parte de los costos de inversión para el reacondicionamiento con Filtro de Partículas se ha considerado el Precio del filtro y el costo de instalación.

Para estimar el precio del filtro se ha usado un modelo de costos desarrollado por el Dr.h.c Andreas Mayer, experto en esta tecnología, reconocido mundialmente. El modelo de costo propuesto considera un precio para el filtro dependiente de la potencia del motor en [kW], como sigue:

$$Precio = 1044 * kW^{-0,4911} * FA \quad [USD \$] \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde FA es un factor de ajuste para el caso de aplicaciones fuera de ruta (FA=1) o aplicaciones en ruta (FA=0,5). Este último factor de ajuste ha sido incorporado por el consultor considerando que para el caso de Santiago se conocen los precios para aplicaciones en buses.

Para estimar el costo de instalación se ha considerado la estimación del mismo modelo de precios antes citado, que establece para este caso los siguientes valores por rango de potencia:

Tabla 13.3 Costo de instalación filtro, por rango potencia del motor

Rango potencia (kW)	< 18	18 - 37	37 - 75	75 - 130	130 - 560
Costos (USD)	1127	1353	1691	2029	2818
Ajustados (USD)	564	676	845	1015	1409

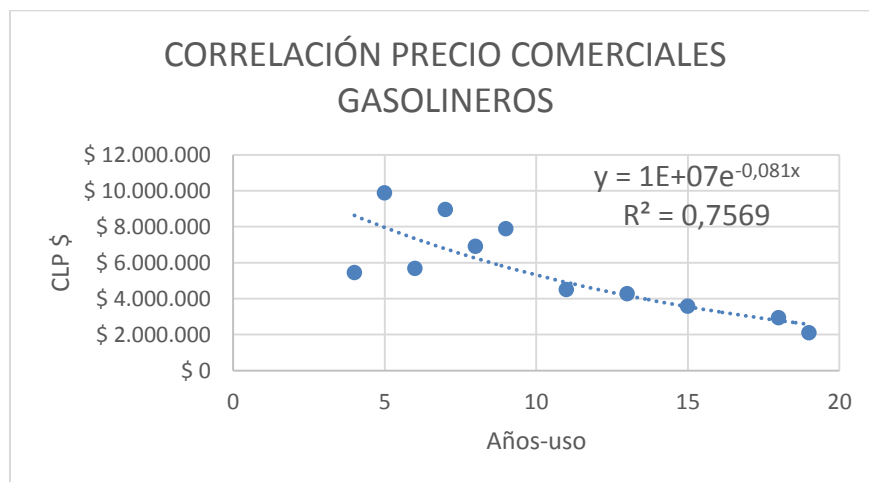
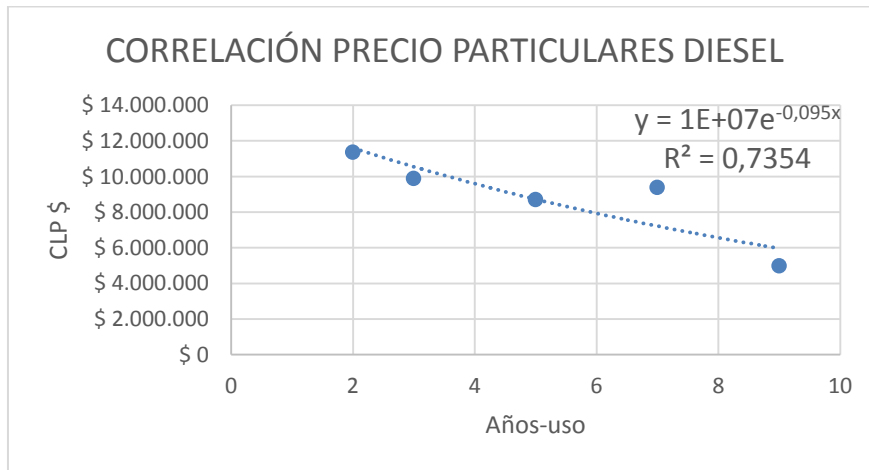
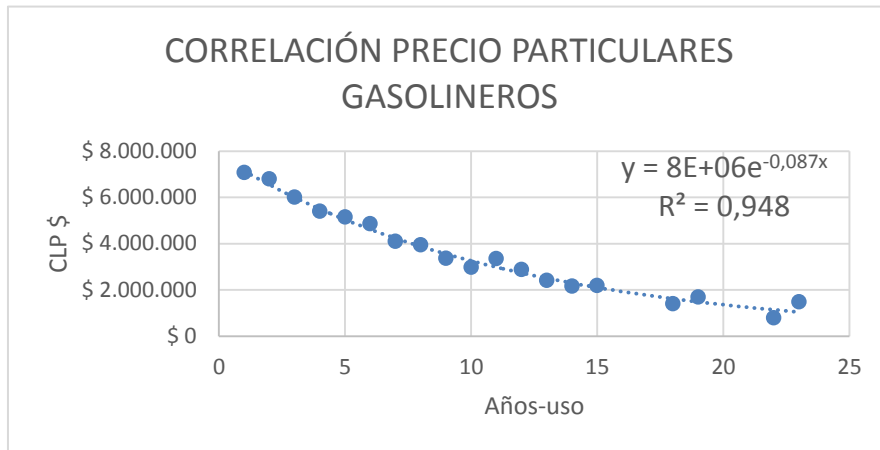
Fuente: Elaboración propia

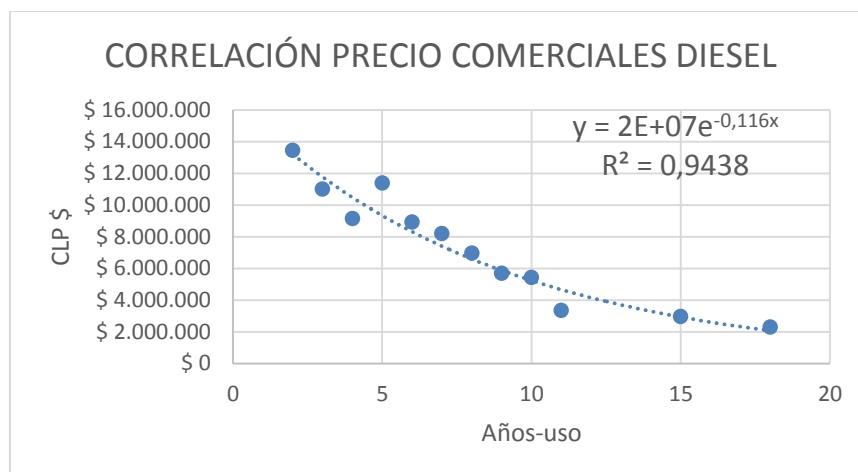
Dado que estos costos están determinados principalmente por costos de mano de obra en Suiza, se ha hecho un ajuste por ingreso per cápita.

13.1.4. PRECIO VEHÍCULOS LIVIANOS

Como en el caso de Camiones, para determinar el precio de un vehículos liviano se contó con una muestra de 234 casos de precio de venta de vehículos, los cuales fueron agrupados en las categorías Vehículos Particulares Gasolineros, Vehículos Particulares Diésel, Vehículos Comerciales Gasolineros y Vehículos Comerciales Diésel, construyéndose, en cada caso, una regresión exponencial, con mejor ajuste que una lineal y con una aproximación asintótica a cero más adecuada considerando que los precios son siempre positivos, dependiente de los años de uso. A continuación se presentan las regresiones utilizadas para la estimación de precios.

Figura 13.2 Precios vehículos por años de uso.





Fuente: Elaboración propia

En el caso de la restricción vehicular se aplicó un castigo al precio del 20%, para los vehículos que quedarán sujetos a restricción⁶¹. Respecto de los precios por tecnología se ha considerado el valor del vehículo proyectado a los años de uso de vida media, que tiene valor distinto con o sin restricción, debido a que con restricción se anticipa la renovación de los vehículos, acortando la vida media, como sigue:

Tabla 13.4 Precios 2015, Vehículos Livianos y Motocicletas

Tipo Vehículo	Combustible	Norma	Promedio de Precio/con RV	Promedio de Precio/sin RV	Precio Vehículo Nuevo ⁽¹⁾
Motocicletas de cuatro tiempos	gasolineros	sin norma	-	-	\$ 3.399.500
Motocicletas de cuatro tiempos	gasolineros	Euro 1	\$ 162.194	\$ 201.429	\$ 3.399.500
Motocicletas de cuatro tiempos	gasolineros	Euro 3	\$ 1.180.478	\$ 1.214.619	\$ 3.399.500
Motocicletas de dos tiempos	gasolineros	sin norma	\$ 9.959	\$ 12.449	\$ 3.399.500
Motocicletas de dos tiempos	gasolineros	Euro 1	\$ 162.194	\$ 201.429	\$ 3.399.500
Motocicletas de dos tiempos	gasolineros	Euro 3	\$ 1.180.478	\$ 1.214.619	\$ 3.399.500
Taxis colectivos	diésel	Euro 1	\$ 2.137.792	\$ 2.672.239	\$ 12.970.000
Taxis colectivos	diésel	Euro 3	\$ 2.179.974	\$ 2.724.968	\$ 12.970.000
Taxis colectivos	diésel	Euro 4	\$ 2.542.850	\$ 3.130.314	\$ 12.970.000
Taxis colectivos	diésel	Euro 5	\$ 4.677.320	\$ 4.818.485	\$ 12.970.000
Taxis colectivos	gasolineros	Euro 1	\$ 1.741.897	\$ 2.177.372	\$ 7.804.000
Taxis colectivos	gasolineros	Euro 3	\$ 2.126.404	\$ 2.644.458	\$ 7.804.000
Taxis colectivos	gasolineros	Euro 4	\$ 2.966.898	\$ 3.373.654	\$ 7.804.000
Taxis colectivos	gasolineros	Euro 5	\$ 4.211.136	\$ 4.261.007	\$ 7.804.000
Vehículos comerciales	diesel	sin norma	\$ 333.765	\$ 328.390	\$ 12.955.000
Vehículos comerciales	diésel	Euro 1	\$ 635.293	\$ 635.293	\$ 12.955.000
Vehículos comerciales	diésel	Euro 2	\$ 1.005.909	\$ 1.005.909	\$ 12.955.000
Vehículos comerciales	diésel	Euro 3	\$ 1.337.518	\$ 1.337.518	\$ 12.955.000
Vehículos comerciales	diésel	Euro 4	\$ 1.847.287	\$ 1.847.287	\$ 12.955.000

⁶¹ Lepeley y Cifuentes.

Tipo Vehículo	Combustible	Norma	Promedio de Precio/con RV	Promedio de Precio/sin RV	Precio Vehículo Nuevo ⁽¹⁾
Vehículos comerciales	diésel	Euro 5	\$ 4.327.328	\$ 4.327.328	\$ 12.955.000
Vehículos comerciales	gasolineros	no catalíticos	\$ 432.770	\$ 427.092	\$ 11.849.000
Vehículos comerciales	gasolineros	Euro 1	\$ 841.185	\$ 1.051.482	\$ 11.849.000
Vehículos comerciales	gasolineros	Euro 2	\$ 1.159.130	\$ 1.448.912	\$ 11.849.000
Vehículos comerciales	gasolineros	Euro 3	\$ 1.656.824	\$ 2.059.999	\$ 11.849.000
Vehículos comerciales	gasolineros	Euro 4	\$ 2.452.006	\$ 2.788.161	\$ 11.849.000
Vehículos comerciales	gasolineros	Euro 5	\$ 3.623.614	\$ 3.664.497	\$ 11.849.000
Vehículos de alquiler - Taxi	diésel	Euro 1	\$ 2.137.792	\$ 2.672.239	\$ 12.970.000
Vehículos de alquiler - Taxi	diésel	Euro 3	\$ 2.179.974	\$ 2.724.968	\$ 12.970.000
Vehículos de alquiler - Taxi	diésel	Euro 4	\$ 2.542.850	\$ 3.130.314	\$ 12.970.000
Vehículos de alquiler - Taxi	diésel	Euro 5	\$ 4.677.320	\$ 4.818.485	\$ 12.970.000
Vehículos de alquiler - Taxi	gasolineros	Euro 1	\$ 1.799.599	\$ 2.249.499	\$ 7.804.000
Vehículos de alquiler - Taxi	gasolineros	Euro 3	\$ 2.126.404	\$ 2.644.458	\$ 7.804.000
Vehículos de alquiler - Taxi	gasolineros	Euro 4	\$ 2.966.898	\$ 3.373.654	\$ 7.804.000
Vehículos de alquiler - Taxi	gasolineros	Euro 5	\$ 4.211.136	\$ 4.261.007	\$ 7.804.000
Vehículos particulares	diésel	Pre Euro	\$ 299.978	\$ 295.989	\$ 12.970.000
Vehículos particulares	diésel	Euro 1	\$ 689.844	\$ 862.305	\$ 12.970.000
Vehículos particulares	diésel	Euro 3	\$ 948.949	\$ 1.186.186	\$ 12.970.000
Vehículos particulares	diésel	Euro 4	\$ 1.108.512	\$ 1.364.876	\$ 12.970.000
Vehículos particulares	diésel	Euro 5	\$ 2.170.162	\$ 2.230.925	\$ 12.970.000
Vehículos particulares	gasolineros	no catalíticos	\$ 245.202	\$ 245.202	\$ 7.804.000
Vehículos particulares	gasolineros	Euro 1	\$ 674.149	\$ 842.687	\$ 7.804.000
Vehículos particulares	gasolineros	Euro 3	\$ 995.240	\$ 1.237.760	\$ 7.804.000
Vehículos particulares	gasolineros	Euro 4	\$ 1.361.469	\$ 1.547.984	\$ 7.804.000
Vehículos particulares	gasolineros	Euro 5	\$ 2.109.856	\$ 2.133.190	\$ 7.804.000

(1) Representa el costo de un vehículo nuevo conforme estándar vigente, Euro 5 para livianos o Euro 3 para motocicletas.

Fuente: Elaboración propia

13.1.5. COSTO CORREDORES SEGREGADOS

Como se puede ver en la siguiente tabla, el monto promedio de inversión considerado en el PMTS 2025 es de MM\$6.358 por kilómetro. Este monto es un poco mayor al de los tres niveles de implementación de esta medida estudiados por MAPS-Chile. Esto se debe a que en el PMTS cada proyecto de corredor varía su costo de inversión de acuerdo a las obras y a las expropiaciones que se debe realizar, a diferencia de los escenarios de MAPS, en los que se trabajó con el supuesto de que el costo por kilómetro sería fijo.

Tabla 13.5 Proyectos de corredor considerados en el PMTS 2025 (escenario base y plan)

Tipo	Proyecto	Km	Inversión MM\$	MM\$/Km
BASE	Departamental Poniente Entre Ruta 5 y V. Mackenna	5,4	\$ 36.779	\$ 6.811
BASE	Santa Rosa Entre Lo Ovalle y Vespucio.	2,6	\$ 14.043	\$ 5.401
BASE	V. Mackenna Entre Av. Matta y Vicente Valdés	9,1	\$ 89.133	\$ 9.795
BASE	Dorsal Entre J.M. Caro y El Salto	3,1	\$ 43.913	\$ 14.166
BASE	Las Rejas Norte Entre Mapocho y Alameda	5,8	\$ 60.067	\$ 10.356
BASE	Rinconada Entre Las Naciones y Primera Transversal.	2,6	\$ 10.652	\$ 4.097
BASE	San Pablo Entre Vespucio y Antonio Ebner	7,9	\$ 41.627	\$ 5.269
BASE	Lo Espinoza Entre Mapocho y J. Hirmas	2	\$ 10.702	\$ 5.351
PMT2025	Gran Avenida Sur Entre Vespucio y Balmaceda	6,4	\$ 33.412	\$ 5.221
PMT2025	Alameda Entre Pajaritos y Vicuña Mackenna	7,6	\$ 69.915	\$ 9.199
PMT2025	Providencia Entre Vicuña Mackenna y Tobalaba	4	\$ 22.509	\$ 5.627
PMT2025	Gran Avenida Sur Entre Américo Vespucio y Placer	6,9	\$ 7.813	\$ 1.132
PMT2025	Melipilla Entre Esquina Blanca y Ciudad Satélite	8	\$ 28.086	\$ 3.511
PMT2025	Tobalaba Entre Departamental y Camilo Henríquez	7,8	\$ 43.511	\$ 5.578
PMT2025	Las Condes Entre Manquehue y La Dehesa	6,5	\$ 32.734	\$ 5.036
TOTAL		85,7	\$ 544.896	\$ 6.358

Fuente: Documento PMTS 2025

13.2. COSTOS OPERACIONALES

Los costos operacionales se han expresado en \$/km para vehículos en ruta, y en \$/(hora de operación), para la maquinaria fuera de ruta, toda vez que los niveles de actividad se expresan en esas unidades en cada caso.

13.2.1. COSTO CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Para los costos operacionales provenientes del consumo de combustible se ha considerado la estimación de consumo de combustible FC (Fuel Consumption), reportado por COPERT según los factores de emisión [COPERT IV 2013]. A continuación se presentan los costos en CLP \$/km.

Tabla 13.6 Costo consumo combustible por km, vehículos.

CCF8 (Simplificado)	Combustible	Norma	COMBUSTIBLE	
			km/lt	CLP \$/km
Buses licitado urbanos-Articulado	Diésel	Euro III	2,15	\$ 279,5
Buses licitado urbanos-Articulado	Diésel	Euro III con filtro	2,10	\$ 285,1
Buses licitado urbanos-Articulado	Diésel	Euro V	2,32	\$ 258,4
Buses licitado urbanos-Articulado	Diésel	Euro V - HIBRIDO	3,32	\$ 180,9
Buses licitado urbanos-Articulado	Diésel	Euro VI	2,42	\$ 248,1
Buses licitado urbanos-Articulado	Diésel	Euro VI - HIBRIDO	3,46	\$ 173,7
Buses licitados urbanos-Rígido	Diésel	Euro III	2,72	\$ 220,3
Buses licitados urbanos-Rígido	Diésel	Euro III con filtro	2,67	\$ 224,7
Buses licitados urbanos-Rígido	Diésel	Euro V	2,99	\$ 200,5
Buses licitados urbanos-Rígido	Diésel	Euro V - HIBRIDO	4,27	\$ 140,4
Buses licitados urbanos-Rígido	Diésel	Euro VI	3,12	\$ 192,5
Buses licitados urbanos-Rígido	Diésel	Euro VI - HIBRIDO	4,45	\$ 134,8
Buses licitados urbanos	Diésel	Euro III	3,64	\$ 165,0

CCF8 (Simplificado)	Combustible	Norma	COMBUSTIBLE	
			km/lt	CLP \$/km
Buses licitados urbanos	Diésel	Euro III con filtro	3,56	\$ 168,3
Buses licitados urbanos	Diésel	Euro V	4,09	\$ 146,6
Buses licitados urbanos	Diésel	Euro V - HIBRIDO	5,85	\$ 102,6
Buses licitados urbanos	Diésel	Euro VI	2,98	\$ 201,1
Buses licitados urbanos	Diésel	Euro VI - HIBRIDO	4,26	\$ 140,8
Camiones-Livianos	Diésel	Sin Norma	7,57	\$ 79,3
Camiones-Livianos	Diésel	Euro I	9,45	\$ 63,5
Camiones-Livianos	Diésel	Euro II	9,81	\$ 61,2
Camiones-Livianos	Diésel	Euro III	9,32	\$ 64,4
Camiones-Livianos	Diésel	Euro IV	9,31	\$ 64,4
Camiones-Livianos	Diésel	Euro V	9,71	\$ 61,8
Camiones-Livianos	Diésel	Euro III con filtro	9,13	\$ 65,7
Camiones-Mediano	Diésel	Sin Norma	5,05	\$ 118,8
Camiones-Mediano	Diésel	Euro I	5,76	\$ 104,2
Camiones-Mediano	Diésel	Euro II	5,95	\$ 100,9
Camiones-Mediano	Diésel	Euro III	5,68	\$ 105,5
Camiones-Mediano	Diésel	Euro IV	5,85	\$ 102,6
Camiones-Mediano	Diésel	Euro V	6,04	\$ 99,3
Camiones-Mediano	Diésel	Euro III con filtro	5,57	\$ 107,7
Camiones-Pesados	Diésel	Sin Norma	3,13	\$ 191,8
Camiones-Pesados	Diésel	Euro I	3,59	\$ 166,9
Camiones-Pesados	Diésel	Euro II	3,69	\$ 162,7
Camiones-Pesados	Diésel	Euro III	3,56	\$ 168,6
Camiones-Pesados	Diésel	Euro IV	3,65	\$ 164,6
Camiones-Pesados	Diésel	Euro V	3,78	\$ 158,6
Camiones-Pesados	Diésel	Euro III con filtro	3,49	\$ 172,0
Vehículos -Comerciales	Gasolina	Sin Norma	6,99	\$ 114,4
Vehículos -Comerciales	Gasolina	Euro I	5,97	\$ 134,0
Vehículos -Comerciales	Gasolina	Euro II	5,97	\$ 134,0
Vehículos -Comerciales	Gasolina	Euro III	5,97	\$ 134,0
Vehículos -Comerciales	Gasolina	Euro IV	5,97	\$ 134,0
Vehículos -Comerciales	Gasolina	Euro V	11,16	\$ 71,6
Vehículos -Comerciales	Diésel	Sin Norma	9,75	\$ 61,5
Vehículos -Comerciales	Diésel	Euro I	10,78	\$ 55,7
Vehículos -Comerciales	Diésel	Euro II	10,59	\$ 56,6
Vehículos -Comerciales	Diésel	Euro III	10,59	\$ 56,6
Vehículos -Comerciales	Diésel	Euro IV	10,59	\$ 56,6
Vehículos -Comerciales	Diésel	Euro V	11,36	\$ 52,8
Vehículos - Particulares	Gasolina	Sin Norma	8,75	\$ 91,3
Vehículos - Particulares	Gasolina	Euro I	9,13	\$ 87,6
Vehículos - Particulares	Gasolina	Euro II		\$ -

CCF8 (Simplificado)	Combustible	Norma	COMBUSTIBLE	
			km/lt	CLP \$/km
Vehículos - Particulares	Gasolina	Euro III	10,38	\$ 77,0
Vehículos - Particulares	Gasolina	Euro IV	10,14	\$ 78,9
Vehículos - Particulares	Gasolina	Euro V	11,44	\$ 69,9
Vehículos - Particulares	Diésel	Sin Norma		\$ -
Vehículos - Particulares	Diésel	Euro I	15,83	\$ 37,9
Vehículos - Particulares	Diésel	Euro II		\$ -
Vehículos - Particulares	Diésel	Euro III	12,65	\$ 47,4
Vehículos - Particulares	Diésel	Euro IV	12,65	\$ 47,4
Vehículos - Particulares	Diésel	Euro V	12,65	\$ 47,4
Motocicletas	Gasolina	Sin Norma	16,13	\$ 49,6
Motocicletas	Gasolina	Euro I	17,56	\$ 45,5
Motocicletas	Gasolina	Euro II	19,46	\$ 41,1
Motocicletas	Gasolina	Euro III	19,46	\$ 41,1

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la maquinaria fuera de ruta se ha considerado la estimación de consumo de combustible FC (Fuel Consumption), reportado por [CORINAIR 2013] según los factores de emisión. A continuación se presentan los costos en CLP \$/hr.

Tabla 13.7 Costo consumo combustible por hora, maquinaria.

Rango potencia [kW]	Norma	Combustible S/Filtro		Combustible C/Filtro	
		[lt/hr]	[CLP \$/hr]	lt/hr	[CLP \$/hr]
19 ≤ kW < 37	Sin norma	4,41	\$ 2.648,49	4,50	\$ 2.701,46
19 ≤ kW < 37	Stage I	4,41	\$ 2.648,49	4,50	\$ 2.701,46
19 ≤ kW < 37	Stage II	4,41	\$ 2.648,49	4,50	\$ 2.701,46
19 ≤ kW < 37	Stage IIIA	4,41	\$ 2.648,49	4,50	\$ 2.701,46
37 ≤ kW < 56	Sin norma	6,18	\$ 3.705,34	6,30	\$ 3.779,44
37 ≤ kW < 56	Stage I	6,18	\$ 3.705,34	6,30	\$ 3.779,44
37 ≤ kW < 56	Stage II	6,18	\$ 3.705,34	6,30	\$ 3.779,44
37 ≤ kW < 56	Stage IIIA	6,18	\$ 3.705,34	6,30	\$ 3.779,44
56 ≤ kW < 75	Sin norma	7,64	\$ 4.585,42	7,80	\$ 4.677,13
56 ≤ kW < 75	Stage I	7,64	\$ 4.585,42	7,80	\$ 4.677,13
56 ≤ kW < 75	Stage II	7,64	\$ 4.585,42	7,80	\$ 4.677,13
56 ≤ kW < 75	Stage IIIA	7,64	\$ 4.585,42	7,80	\$ 4.677,13
56 ≤ kW < 75	Stage IIIB	7,64	\$ 4.585,42	7,80	\$ 4.677,13
75 ≤ kW < 130	Sin norma	15,99	\$ 9.592,93	16,31	\$ 9.784,79
75 ≤ kW < 130	Stage I	15,99	\$ 9.592,93	16,31	\$ 9.784,79
75 ≤ kW < 130	Stage II	15,99	\$ 9.592,93	16,31	\$ 9.784,79
75 ≤ kW < 130	Stage IIIA	15,99	\$ 9.592,93	16,31	\$ 9.784,79
75 ≤ kW < 130	Stage IIIB	15,99	\$ 9.592,93	16,31	\$ 9.784,79
130 ≤ kW < 300	Sin norma	33,09	\$ 19.854,65	33,75	\$ 20.251,74
130 ≤ kW < 300	Stage I	33,09	\$ 19.854,65	33,75	\$ 20.251,74
130 ≤ kW < 300	Stage II	33,09	\$ 19.854,65	33,75	\$ 20.251,74
130 ≤ kW < 300	Stage IIIA	33,09	\$ 19.854,65	33,75	\$ 20.251,74
130 ≤ kW < 300	Stage IIIB	33,09	\$ 19.854,65	33,75	\$ 20.251,74
300 ≤ kW < 560	Sin norma	66,27	\$ 39.761,85	67,60	\$ 40.557,09
300 ≤ kW < 560	Stage I	66,27	\$ 39.761,85	67,60	\$ 40.557,09
300 ≤ kW < 560	Stage II	66,27	\$ 39.761,85	67,60	\$ 40.557,09
300 ≤ kW < 560	Stage IIIA	66,27	\$ 39.761,85	67,60	\$ 40.557,09
300 ≤ kW < 560	Stage IIIB	66,27	\$ 39.761,85	67,60	\$ 40.557,09

Fuente: Elaboración propia

13.2.2. COSTOS AD-BLUE CAMIONES Y BUSES CON SCR

Se ha considerado el costo operacional de la norma Euro V y Euro VI para buses y camiones, por suministro de aditivo, necesario para la correcta operación del sistema de control de emisiones SCR, que incorporan estos vehículos a partir de Euro V. El precio estimado para el aditivo es de CLP \$ 840/lt⁶² y el consumo es proporcional al consumo de combustible a una tasa del 5%. Para el consumo de combustible se utilizó el valor de FC (Fuel Consumption), reportado por COPERT según los factores de emisión [COPERT IV 2013].

A continuación se presentan los costos por kilómetro correspondientes a este concepto:

Tabla 13.8 Costo consumo combustible por km.

CCF8 (Simplificado)	Combustible	Norma	UREA
			CLP \$/km
Buses licitado urbanos-Articulado	Diésel	Euro V	\$ 18,1
Buses licitado urbanos-Articulado	Diésel	Euro V - HIBRIDO	\$ 12,7
Buses licitado urbanos-Articulado	Diésel	Euro VI	\$ 17,4
Buses licitado urbanos-Articulado	Diésel	Euro VI - HIBRIDO	\$ 12,2
Buses Urbanos-Rígido	Diésel	Euro V	\$ 14,0
Buses Urbanos-Rígido	Diésel	Euro V - HIBRIDO	\$ 9,8
Buses Urbanos-Rígido	Diésel	Euro VI	\$ 13,5
Buses Urbanos-Rígido	Diésel	Euro VI - HIBRIDO	\$ 9,4
Buses Urbanos-Turismo	Diésel	Euro V	\$ 10,3
Buses Urbanos-Turismo	Diésel	Euro V - HIBRIDO	\$ 7,2
Buses Urbanos-Turismo	Diésel	Euro VI	\$ 9,9
Buses Urbanos-Turismo	Diésel	Euro VI - HIBRIDO	\$ 14,1
Camiones-Liviano	Diésel	Euro V	\$ 4,3
Camiones-Mediano	Diésel	Euro V	\$ 6,9
Camiones-Pesado	Diésel	Euro V	\$ 11,1

Fuente: Elaboración propia

13.2.3. MANTENCIÓN FILTRO DE PARTÍCULAS

El filtro de partículas es un componente destinado a retener el hollín que produce el motor diésel y regenerarlo mediante un proceso de oxidación cuyos residuos son principalmente CO₂ y ceniza. Dado que la ceniza es incombustible esta se acumula en el tiempo hasta que se hace necesaria una limpieza. Para estimar este costo de mantención se utilizará el modelo de costo antes indicado para la estimación del precio y del costo de instalación del filtro. Dicho modelo entrega valores de mantención del filtro por rangos de potencia:

⁶² [Sistemas Sustentables 2013].

Tabla 13.9 Costo mantención Filtro Partículas.

Rango potencia (kW)	< 18	18 - 37	37 - 75	75 - 130	130 - 560
Mantenimiento (USD)	225	338	564	676	845
Limpieza DPF (USD)	113	169	338	564	1.353
Total (USD/1000 horas)	338*FA	507*FA	902*FA	1.240*FA	2.198*FA

Fuente: Elaboración propia

Para los vehículos pesados se ha supuesto, conforme la experiencia, que el periodo de mantención es anual. Por otro lado, se ha considerado, para buses y camiones un Factor de Ajuste de 0,5, teniendo en cuenta los valores que se conocen para buses urbanos en Santiago. Con alcances se llega a los siguientes costos CLP/km.

Tabla 13.10 Costo mantención Filtro Partículas vehículos Pesados.

CCF8 (Simple)	Combustible	Norma	MANTENIMIENTO
			CLP \$/km
Buses Urbanos-Articulado	Diesel	Euro III con filtro	\$ 8,30
Buses Urbanos-Articulado	Diesel	Euro VI	\$ 8,30
Buses Urbanos-Articulado	Diesel	Euro VI - HIBRIDO	\$ 8,30
Buses Urbanos-Rígido	Diesel	Euro III con filtro	\$ 4,68
Buses Urbanos-Rígido	Diesel	Euro VI	\$ 4,68
Buses Urbanos-Rígido	Diesel	Euro VI - HIBRIDO	\$ 4,68
Buses Urbanos-Turismo	Diesel	Euro III con filtro	\$ 4,68
Buses Urbanos-Turismo	Diesel	Euro VI	\$ 4,68
Buses Urbanos-Turismo	Diesel	Euro VI - HIBRIDO	\$ 4,68
Camiones-Liviano	Diesel	Euro III con filtro	\$ 9,80
Camiones-Mediano	Diesel	Euro III con filtro	\$ 8,97
Camiones-Pesado	Diesel	Euro III con filtro	\$ 12,67

Fuente: Elaboración propia

Para la maquinaria de construcción se ha supuesto, que el periodo de mantención se ajusta a las 1.000 horas y que el FA es en este caso 1. Con estas consideraciones se llega a los siguientes costos CLP/km.

Tabla 13.11 Costo mantención Filtro Maquinaria Construcción.

Rango potencia [kW]	Norma	Mantención [CLP \$/hr]
19 ≤ kW < 37	Sin norma	\$ 177,55
19 ≤ kW < 37	Stage I	\$ 177,55
19 ≤ kW < 37	Stage II	\$ 177,55
19 ≤ kW < 37	Stage IIIA	\$ 177,55
37 ≤ kW < 56	Sin norma	\$ 246,59
37 ≤ kW < 56	Stage I	\$ 246,59
37 ≤ kW < 56	Stage II	\$ 246,59
37 ≤ kW < 56	Stage IIIA	\$ 246,59
56 ≤ kW < 75	Sin norma	\$ 315,64
56 ≤ kW < 75	Stage I	\$ 315,64
56 ≤ kW < 75	Stage II	\$ 315,64
56 ≤ kW < 75	Stage IIIA	\$ 315,64
56 ≤ kW < 75	Stage IIIB	\$ 315,64
75 ≤ kW < 130	Sin norma	\$ 374,82
75 ≤ kW < 130	Stage I	\$ 374,82
75 ≤ kW < 130	Stage II	\$ 374,82
75 ≤ kW < 130	Stage IIIA	\$ 374,82
75 ≤ kW < 130	Stage IIIB	\$ 374,82
130 ≤ kW < 300	Sin norma	\$ 601,69
130 ≤ kW < 300	Stage I	\$ 601,69
130 ≤ kW < 300	Stage II	\$ 601,69
130 ≤ kW < 300	Stage IIIA	\$ 601,69
130 ≤ kW < 300	Stage IIIB	\$ 601,69
300 ≤ kW < 560	Sin norma	\$ 769,37
300 ≤ kW < 560	Stage I	\$ 769,37
300 ≤ kW < 560	Stage II	\$ 769,37
300 ≤ kW < 560	Stage IIIA	\$ 769,37
300 ≤ kW < 560	Stage IIIB	\$ 769,37

Fuente: Elaboración propia

13.2.4. COSTO BATERÍAS VEHÍCULOS HÍBRIDOS

La operación de un bus híbrido cuenta con un costo adicional no recogido en el precio del bus, como un costo de inversión. Se trata del arriendo de las baterías, y es que el modelo de negocio considerado, principalmente por Volvo, para la comercialización de buses híbridos, supone un contrato de arriendo de las baterías, en \$/km de operación del bus, de tal forma que sea responsabilidad del proveedor, la operación y reemplazo de este componente del vehículo. Este costo se ha estimado en 0,137 USD \$/km, conforme estudio [Sistemas Sustentables 2013]. Este valor se ha considerado para todos los casos de buses híbridos.

13.3. COSTOS DE FISCALIZACIÓN

Se identifican dos medidas que implican costos de Fiscalización:

- Fiscalización Zona de Baja Emisión:
- Fiscalización mediante cámaras del Centro Estratégico del Programa Nacional de Fiscalización.
- Instalación de 400 cámaras fijas.
- Aproximadamente USD 12 millones Inversión + USD 1,4 millones/año.
- Tiempo de instalación y puesta en marcha de 2 a 3 años.

Costo administración programa RSD para la fiscalización de la norma ASM:

- Costo operación anual 5 unidades para fiscalización = USD \$ 2,2 millones/año.

14. CONCLUSIONES

Para este avance el consultor entrega los antecedentes y discusiones llevados a cabo con la contraparte y por recopilación propia y que tienen el objetivo de precisar los escenarios de evaluación de las medidas, los resultados de la modelación de emisiones y la evaluación de los costos de inversión, operación y fiscalización. Lo anterior en una condición de escenario final propuesto para la medida.

La modelación de las emisiones ha considerado los cambios en la distribución de niveles de actividad por estándar tecnológico y antigüedad de la flota, impulsados por la renovación de la flota según cada medida y los factores de emisión COPERT, corregidos según las mediciones en ruta de la flota con RSD, lo que refleja un importante dependencia de las emisiones según la antigüedad de la flota. Asimismo los factores de emisión reflejan también el efecto de reducción producto del circuito de rechazo y reparación del nuevo estándar ASM propuesto.

Respecto la Zona de Baja Emisión, fue importante la consideración de aquellas emisiones evitadas fuera de la zona, producto de los niveles de actividad asociados a la flota que circula con origen o destino fuera de la zona, lo que se determinó conforme las matrices de Origen-Destino disponibles por SECTRA para vehículos de carga.

En general los niveles de actividad y velocidades medias de línea base del sector fueron ajustados a las modelaciones de transporte ESTRAUS disponibles por SECTRA, para la línea temporal 2015-2025. Para los escenarios con proyecto se consideraron los mismos niveles de actividad y velocidades medias, excepto para la medida de corredores que considera un cambio modal del 1%, reflejado en el nivel de actividad de los vehículos privados, y un cambio en las velocidades medias conforme el escenario ESTRAU 2025 con Plan Metropolitano de Transporte de Santiago (PMTS).

La modelación de las emisiones entrega que la medida de mayor efecto en la reducción de MP2.5 y NOx, es por lejos la restricción vehicular. En segundo término, destaca el reacondicionamiento de maquinaria de construcción, para la reducción del MP2.5, y ASM y Euro VI para buses, en las reducciones NOX. En el Capítulo I de este informe se realiza la discusión de estas medidas en términos de costo-beneficio.

15. BIBLIOGRAFÍA

- [Ambiosis 2011] “Estudio de Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica Región de Valparaíso, Construcción de un Inventario de Emisiones Regional”, Ambiosis 2011.
- [Copert IV 2013] “ Road trnasport”, Guidebook 2013.
- [Corinair 2013] “Non-road mobile sources and machinery”, Guidebook 2013
- [Dictuc 2009] “Apoyo a la implementación de nuevas medidas del PPDA en el sector transporte”, Dictuc 2009.
- [DPF 2011] “The Santiago de Chile Diesel Particle Filter Program for Buses of Public Urban Transport Model Case for Cities of Emerging Countries and Success Story of the Swiss-Chilean Cooperation Berne – Switzerland / Santiago de Chile” – November 2011.
- [EPA 1998] “Final Regulatory Impact Analysis: Control of Emissions from Nonroad Diesel Engines”, EPA420-R-98-016. 1998
- [Estrategia 2012] “Elaboración de una estrategia nacional para reducir la emisión de contaminantes atmosféricos provenientes del sector transporte”, Sistemas Sustentables-Geasur, 2012.
- [Farrow S. 2009] Incorporating Equity in Regulatory and Benefit-Cost Analysis. Prepared for the SRA/RfF Workshop on New Ideas for Risk Regulation, June 22-23, 2009
- [Geasur 2011-1] “Elaboración de propuestas de mejoramiento y apoyo a la implementación de la nueva norma ASM y diagnóstico del sistema de reparación y recambio de convertidores catalíticos”
- [Geasur 2011-2] “Análisis técnico-económico de la aplicación de la nueva norma de emisión ASM en Plantas de Revisión Técnica”
- [Geasur 2013] “Estudio de Implementación de RSD para RM”, Geasur 2013.
- [Geasur 2014] “Análisis técnico-económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país”, Geasur 2014.
- [Geasur 2015] “Análisis Y Desarrollo De Factores De Deterioro Y Caracterización De Las Emisiones De La Flota Mediante El Sistema Remote Sensing Devices (RSD)”, Geasur 2015.
- [Glickman, T. y Gough M., 2014] Readings in risk. Routledge, 2014.
- [HNC 2012] Evaluación del Programa Hoy No Circula en la Zona Metropolitana del Valle de México, Centro Mario Molina, 2012. Preferencias reveladas.
- [ICCT 2012] Urban off-cycle NOx emissions from Euro IV/V trucks and buses. Problems and solutions for Europe and developing countries, ICCT.

- [MDS 2012] <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/>
- [MDS 2013] Estimación del precio Social del carbón. En: <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/>
- [MMA 2013] “Guía metodológica para la elaboración de un análisis general de impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire”, encargado a DICTUC S.A, Santiago, 2012.
- [Montero 2015] “Adopting a cleaner technology: The effect of driving restrictions on fleet turnover”, 2015.
- [Rizzi et al 2013] “Costos externos del transporte urbano motorizado región Metropolitana” Informe presentado en el marco del proyecto Fondecyt Regular - 2010 – 1100631.
- [Rizzi et al 2014] “Valuing air quality impacts using stated choice analysis: Trading off visibility against morbidity effects”. Journal of environmental management, 146, 470-480.
- [Rizzi et al 2015] “Costos externos del transporte urbano motorizado región Metropolitana” Presentado en el XVII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, Concepción, Chile.
- [Sistemas Sustentables 2012] “Actualización Metodológica del Modelo de Consumo Energético y Emisiones para el Sector Transporte (STEP)”, Sistemas Sustentables 2012.
- [Sistemas Sustentables 2013] “Proyecto de Mejoramiento Tecnológico en Buses del Sistema de Transporte Público de Santiago”, Sistemas sustentables 2013.
- [TTM Mayer] “Elimination of Engine Generated Nanoparticles, problems and solutions”, Andreas Mayer.
- [USEPA 1991] "Guidelines for Performing Regulatory Impact Analysis." En: <http://yosemite.epa.gov/ee/epa/>
- [USEPA 2012] “Environmental Benefits Mapping and Analysis Program (BenMap)”. Prepared by Abt Associates Inc. Research Triangle Park, NC. Available at: <http://www.epa.gov/benmap>