

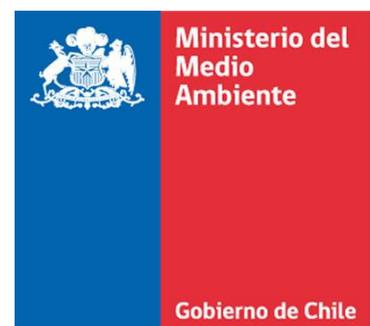


**GENERACIÓN DE ANTECEDENTES PARA EL ANÁLISIS
GENERAL DE IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL
ANTEPROYECTO DE REVISIÓN DE LA NORMA DE
EMISIÓN DE RUIDO PARA BUSES DE LOCOMOCIÓN
COLECTIVA URBANA Y RURAL
ID 608897-56-LE15**

Informe Final

Diciembre de 2015

Documento preparado para:



Jefe de Estudio: Marcelo Villena, Ph.D.
marcelo.villena@scl-econometrics.cl // marcelo.villena@uai.cl

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
1. GENERAR UNA BASE DE DATOS CON LOS NIVELES DE EMISIONES DE RUIDO DEL PARQUE DE BUSES DE LOCOMOCIÓN COLECTIVA NUEVOS Y USADOS A NIVEL NACIONAL A PARTIR DE INFORMACIÓN SECUNDARIA	3
2. TASAS ANUALES DE DETERIORO DEL NIVEL DE EMISIONES DE RUIDO DEL PARQUE DE BUSES DE LOCOMOCIÓN COLECTIVA NACIONAL, SEGÚN CATEGORÍAS RELEVANTES.	5
3. CARACTERIZACIÓN TÉCNICA Y MONETARIA DE ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE RUIDO FRENTE A UNA SUPERACIÓN DE LÍMITES DE EMISIÓN PARA BUSES DE LOCOMOCIÓN COLECTIVA NUEVOS Y EXISTENTES	21
3.1. Identificación de alternativas de reducción de emisiones según instancia de superación (homologación o revisión técnica)	21
3.1.1. Silenciador de Escape	22
3.1.2. Mejoramiento de Encierros mediante Absorción y Celosías Acústicas	26
3.1.3. Aislamiento Piso	29
3.2. Estimar el costo social de implementar las alternativas de reducción identificadas.	31
3.3. Reducción de emisiones esperada fruto de la implementación de la alternativa de reducción de emisiones identificadas.	37
3.4. Estimar el costo de renovación de buses de locomoción colectiva existente, generados por la aplicación de la norma.	38
4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN	45
4.1. Modelamiento.....	45
4.2. Supuestos utilizados.....	45

4.3.	Resultados	48
4.3.1.	Reducción de emisiones del parque	48
4.3.2.	Beneficios de la modificación de la norma	50
4.3.3.	Costos de la modificación de la norma	51
4.3.4.	Beneficios de la modificación de la norma	52

Índice de Tablas

Tabla 1. Tasas de deterioro escape buses urbanos, según tipo y año de fabricación	8
Tabla 2. Tasas de deterioro motor buses urbanos, según tipo y año de fabricación	9
Tabla 3. Tasas de deterioro promedio según año de fabricación	18
Tabla 4. Simulación de reducciones (dBA) por nivel	19
Tabla 5. Tasas deterioro para cada nivel.....	20
Tabla 6. Dimensiones y atenuación ofrecida por el fabricante para modelos de silenciadores seleccionados	25
Tabla 7. Itemizado de costos aproximados para fabricación de silenciador tipo 8-12 dBA.	25
Tabla 8. Itemizado de costos aproximados para fabricación de silenciador tipo 25-35 dBA.	26
Tabla 9. Itemizado de costos aproximados para fabricación de absorción y celosías acústicas	29
Tabla 10. Itemizado de costos aproximados para Reforzamiento Aislamiento Piso	30
Tabla 11. Valor Presente Neto de los costos de la implementación de las alternativas de reducción de ruido	31
Tabla 12. Número de buses que adoptan tecnología en escenarios de norma y sin ella, y VAN de costos buses urbano regiones.....	33
Tabla 13. Número de buses que adoptan tecnología en escenarios de norma y sin ella, y VAN de costos buses urbanos región Metropolitana	34
Tabla 14. Número de buses que adoptan tecnología en escenarios de norma y sin ella, y VAN de costos buses rurales región Metropolitana	36
Tabla 15. Diferencia en las reducciones esperadas (dBA) de locomoción colectiva entre escenario con norma o sin ella	37

Tabla 16. Alternativas de modelos de buses para ser usados como referencia en precios	39
Tabla 17. Costo bus liviano modelo Mercedes Benz, motor OF 1721	40
Tabla 18. Costo bus liviano modelo VOLKSWAGEN 9.140	41
Tabla 19. Costo modelo mediano MERCEDES BENZ OF 1721	42
Tabla 20. Costo modelo pesado MERCEDES BENZ OH 1420/51	43
Tabla 21. Diferencia de precios renovación según año de fabricación (\$MM)	44

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Tasa de deterioro NPS Motor 3/4 RPM máx., Mercedes Benz LO 712	11
Gráfico 2. Tasa de Deterioro NPS Escape 3/4 RPM máx., Mercedes Benz LO 712	12
Gráfico 3. NPS Interior 3/4 RPM max, Mercedes Benz LO 712	13
Gráfico 4. NPS Motor 3/4 RPM max, Volkswagen 9150 OD	14
Gráfico 5. NPS Escape 3/4 RPM max, Volkswagen 9150 OD.....	15
Gráfico 6. NPS Interior 3/4 RPM max, Volkswagen 9150 OD.....	16
Gráfico 7. Reducción promedio de emisiones del parque (unitarias).....	49
Gráfico 8. Flujo de beneficios de la modificación de la norma	52

Índice de Figuras

Figura 1. Instalación de silenciador en vehículo de locomoción colectiva	22
Figura 2. Fórmula utilizada en el cálculo de flujo de gases en el escape	23
Figura 3. Geometría de silenciador de escape.	24
Figura 4. Esquemas de celosías utilizadas para la mitigación de ruido.....	27
Figura 5. Fijación a paredes de la caja que contiene al motor de material fonoabsorbente	28
Figura 6. Material para el aislamiento de piso en buses.....	30



INTRODUCCIÓN

El presente informe desarrolla la consolidación de los datos recopilados y procesados respecto al nivel de emisiones de ruido de buses de locomoción colectiva a nivel nacional, y la proyección de las emisiones del parque entrante hasta el año 2025, lo cual responde a lo solicitado en el componente 2 de las bases técnicas. Del mismo modo, se desarrolla la estimación de las tasas de deterioro anuales del nivel de emisiones de ruido del parque de buses de locomoción colectiva nacional, al nivel de desagregación de categorías relevantes solicitadas.

Finalmente se presenta la valoración económica alternativas de reducción de emisiones de ruidos frente a una superación de límites de emisión para buses de locomoción colectiva nuevos y existentes (componente 5). También se presentará la caracterización de costos de medidas identificadas para la reducción de ruido.

La proyección de las emisiones del parque entrante hasta el año 2025 comprende un escenario con la norma de emisión de ruido implementada, y que al ser desagregada por tipo de bus y modelo, caracteriza al parque y determina su evolución futura. Se procedió además a estimar la emisión promedio del parque y su evolución temporal bajo supuestos e impactos que son simulados bajo la metodología de Montecarlo. Entre dichos supuestos destacan por ejemplo, la referida a los ingresos y salidas de buses del parque, en donde se asumió que la misma cantidad de buses que salen producto de la antigüedad máxima señalada en el punto anterior será la misma que ingresa. Otros supuestos incluyen el kilometraje promedio recorrido por los buses, vida útil, o variables de control, tal como precio del dólar o índice de actividad económica.

El objetivo general del estudio es “generar insumos para el Análisis General de Impacto Económico y Social de la revisión del D.S. 129/2002 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones que establece norma de emisión de ruido para buses de locomoción colectiva urbana y rural”. Los objetivos específicos del estudio son:



- a) Proyectar el parque de buses de locomoción colectiva a nivel nacional.
- b) Generar una base de datos con los niveles de emisiones de ruido del parque de buses de locomoción colectiva nuevos y usados a nivel nacional a partir de información secundaria.
- c) Caracterizar los potenciales beneficios de la revisión del D.S. 129/2002 del MTT.
- d) Estimar tasas de deterioro anuales del nivel de emisiones de ruido del parque de buses de locomoción colectiva.
- e) Caracterizar técnica y monetariamente alternativas de reducción de emisiones de ruido frente a una superación de límites de emisión para buses de locomoción colectiva nuevos y existentes



1. GENERAR UNA BASE DE DATOS CON LOS NIVELES DE EMISIONES DE RUIDO DEL PARQUE DE BUSES DE LOCOMOCIÓN COLECTIVA NUEVOS Y USADOS A NIVEL NACIONAL A PARTIR DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

La base para determinar las emisiones de ruido del parque considerado por la modificación de la norma fue la proyección de buses realizada de acuerdo a lo solicitado en el componente 1 de la presente consultoría.

Para construir la base de datos de emisiones se cruzó la data del parque proyectado con la base del 3CV que contiene los niveles referenciales de emisión de los buses homologados (es decir, el nivel de emisiones que tenían cuando estaban “nuevos”). Los valores de emisión de la base del 3CV se consideran así como los valores base referenciales de las emisiones para los buses proyectados.

Por otra parte, la proyección de los niveles de emisión se basó en tasas de deterioro previamente calculadas, lo que se detalla en el capítulo siguiente.

Los resultados fueron sistematizados en una planilla que conforma la base de datos de emisiones por las categorías seleccionadas.

En resumen, se deben considerar los siguientes supuestos utilizados en el cálculo:

- Las emisiones base están basadas en los valores entregados por 3CV para emisiones de buses homologados.
- A cada bus del parque proyectado se le asignó un nivel de emisiones de acuerdo al modelo correspondiente de la base 3CV, o uno equivalente. Para el caso de la evaluación se consideró como valor referencial las emisiones del escape del bus.



- Dado que la base del 3CV se refiere a vehículos nuevos, se actualizó la emisión de cada bus considerando una tasa de deterioro determinada de acuerdo a la categoría de cada bus. Por ejemplo, si un bus fue fabricado el 2010, para proyectar la emisión de dicho bus el año 2016 se consideró la tasa de deterioro para los años que hayan pasado entre el año de fabricación y el año a evaluar. En el caso del ejemplo se consideró una tasa por un periodo de 6 años.
- Si las emisiones superan la norma evaluada, se considera la instalación de un dispositivo silenciador, que aminora las emisiones con un valor esperado de 10 dbA. Este aparato tiene una vida útil de 3 años, al término del cual se evalúa nuevamente si lo requerirá.

Para la estimación del promedio de emisiones, del año en que se realizó la medición, se utilizó el promedio logarítmico, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\overline{L_p} = \frac{10 \cdot \log(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pN}}{10}})}{N}$$

Donde $\overline{L_p}$ es el promedio de presión sonora de varias fuentes, L_{p1} es el nivel de presión sonora de la fuente 1, L_{p2} es el nivel de presión sonora de la fuente 2, y así sucesivamente hasta la fuente N .

Dados los promedios estimados, se procedió a utilizar las proyecciones del parque para asignar dichas emisiones a los buses según año de fabricación y categoría. Luego, se obtiene una proyección de emisiones entre el 2016 y 2025. La base consolidada se entrega en planilla Excel como anexo al informe.



2. TASAS ANUALES DE DETERIORO DEL NIVEL DE EMISIONES DE RUIDO DEL PARQUE DE BUSES DE LOCOMOCIÓN COLECTIVA NACIONAL, SEGÚN CATEGORÍAS RELEVANTES.

De acuerdo a la normativa vigente, la reducción de los niveles de ruido será una tendencia en las exigencias que se realizan a los modelos de vehículos que ingresan al parque nacional. Sin embargo, a medida que transcurra la vida útil de cada vehículo, se producirá una reducción en su capacidad de reducir emisiones de ruido, por lo que en algunos casos existirá la posibilidad de que los niveles exigidos sean superados.

La estimación de las tasas de deterioro consideró 2 alternativas, de acuerdo a la información disponible. En primer lugar, se utilizaron las bases de datos de las revisiones técnicas en la región Metropolitana, estimando formas funcionales de ajuste para cada año de fabricación del modelo revisado, según el año de medición. Ello permitió estimar la pendiente o tasa de cambio de decibel medido para cada año, y para cada posición (escape o motor). De esta manera, las estimaciones estarán condicionadas al contexto bajo el cual se llevaron los ensayos de las revisiones, lo que en algunos casos llevó a que no se presentaran datos de las mediciones, pero que se señalaba explícitamente que el ensayo había sido rechazado. En esos casos, se asumió que dicho vehículo sobrepasaba la norma establecida en un porcentaje variable.

Seguidamente, se procedió a estimar las emisiones promedio, para la locomoción colectiva urbana y rural de la Región Metropolitana, de acuerdo a categorías correspondientes a las variables año de fabricación de la máquina y categoría (liviano, mediano, pesado) del vehículo. En el caso de la locomoción colectiva de regiones, se utilizó la base de datos del MMA denominada Catastro medición ruido Buses regiones.



La otra alternativa fue estimar las tasas de acuerdo a la base de homologación del 3CV, en que se disponía del nivel referencial de 363 modelos que ingresaban nuevos al país. De esta forma, con el código de cada modelo, fue posible determinar la evolución de la medición de los decibels en el transcurso del tiempo cruzando la data con el Catastro medición Buses 2015. Se utilizó la medición a máxima potencia del motor (aunque se estimaron todos los ensayos), y el modelo fue identificado a través a través de la patente.

Las estimaciones se realizaron para cada vehículo, a nivel de escape, motor e interior, restando en cada caso los valores medidos en el catastro con los valores registrados en la base de homologados del 3CV, y dividiendo por la diferencia entre el período de medición y el año de fabricación. Esto daría una noción de cuanto se han deteriorado los niveles en cada máquina, dado que la diferencia implica cuanto se ha desviado desde su nivel base el vehículo en el período que va desde su internación, hasta el año en que fueron medidas sus emisiones. En los casos en que no existieron registros de la medición en el catastro, se asumió el valor de la norma actual, según la categoría del vehículo.

Una vez computadas todas las tasas para cada nivel (escape, motor e interior), se procedió a estimar el promedio simple de las tasas en cada nivel, encontrándose que en todos los casos los resultados fueron negativos, excepto en el motor medido a $\frac{3}{4}$ de la máxima potencia. Esto puede significar o bien que las mediciones están viciadas, o bien que los vehículos durante el transcurso de su existencia, y con el fin de adaptarse a la normativa vigente, han adoptado mitigaciones tecnológicas para reducir los niveles de ruido. Esta última situación los ha llevado a que las atenuaciones de los decibels hayan sido tan profundas que han sido inferiores al nivel basal de homologación, con lo que las tasas de deterioro resultan negativas.

Luego, se realizó el supuesto que los propietarios de los vehículos adoptaron equipamiento tecnológico que les permitió reducir los niveles de ruido en niveles de decibels acorde a los reportados en los silenciadores, celosías y recubrimiento para el interior.



De esta forma podrían resultar 2 conjuntos de estimaciones, aquella sin considerar los elementos mitigadores, y otra que considera la disminución real de emisiones en todos los niveles, y atribuible a silenciadores, celosías o recubrimiento.

La información que se obtenga al determinar las tasas fue utilizada posteriormente en la planilla que estimó la proyección de emisiones de acuerdo al parque existente. A continuación se presenta en mayor detalle las estimaciones realizadas en cada alternativa.

Alternativa 1: Uso de data de revisiones técnica

La base original fue consolidada en una sola planilla que consideró todos los años existentes, y fue filtrada de acuerdo al tipo de servicio que prestaba el bus (urbanos y rurales licitados), tipo de vehículo (liviano, mediano y pesado), y eliminando valores inconsistentes en las mediciones (valores no medidos, nulos), estableciéndose un intervalo de medición válido de entre 70 y 110 dBA para las emisiones a nivel de motor y escape. En aquellos caso en que no existía un valor asociado a la medición, pero que se explicitaba que la máquina había sido aprobada en la revisión, se utilizó como valor el máximo correspondiente a la norma, según su categoría.

De acuerdo al año de la revisión, se puede establecer una tasa evolutiva de las emisiones promedio, y ajustarse una expresión funcional que refleje tal variación. Dicha expresión sirve para proyectar las emisiones de la tasa de deterioro anual del nivel de emisiones de ruido. Se procedió a estimar a nivel de escape para los buses urbanos y rurales de la RM de acuerdo al promedio logarítmico señalado anteriormente. Los resultados se presentan en la tabla siguiente.



Tabla 1. Tasas de deterioro escape buses urbanos, según tipo y año de fabricación

Año de Fabricación	Urbano RM			Rural RM	
	L	M	P	L	M
1996	1,385	0,206	-0,167	-0,066	0,072
1997	0,428	-0,486	-0,260	0,163	0,177
1998	0,114	-0,337	-0,003	0,063	0,259
1999	0,274	-0,362	-0,173	0,318	0,189
2000	0,589	-0,328	-0,464	0,337	0,279
2001	0,227	-0,184	-0,236	0,289	0,478
2002	0,275	-0,143	-0,151	0,290	0,742
2003	0,478	0,366	0,229	0,371	0,657
2004	0,398	0,351	0,312	0,250	0,602
2005	-0,626	0,373	0,034	0,296	0,491
2006	0,321	0,325	0,046	0,355	0,309
2007	0,655	1,377	0,057	0,388	0,789
2008	0,704	1,207	0,067	0,527	0,570
2009	0,104	1,232	0,077	0,799	0,749
2010	0,651	1,256	0,086	0,443	0,415
2011	0,031	1,633	0,094	0,293	0,222
2012	0,217	1,299	0,102	0,452	1,292
2013	1,133	1,319	0,110	0,691	1,253
2014	0,243	1,338	0,117	1,540	-0,193
2015	0,236	1,356	0,124	0,676	0,697

Fuente: Elaboración Propia

Para los años en que no pudieron obtenerse tasa por la falta de datos, se ajustó una tendencia logarítmica con los datos históricos disponibles.

En el nivel urbano, para los buses livianos, la máxima tasa de deterioro se presenta el año 1996, (1,385 dBA), seguido del año 2013 con 1,133 dBA. En el caso de los buses medianos urbanos, la máxima tasa de deterioro ocurre el año 2011 (1,633 dBA) y 2007 (1,377 dBA), existiendo algunos años en que la tasa es negativa, lo que implicó que debieron existir ajustes en el nivel de escape de los buses medianos urbanos en el año correspondiente a la medición. De la misma forma, en los buses pesados urbanos la máxima tasa ocurre el año final en que se disponen datos (2004), con un valor de 0,312 dBA. En los primeros años existen tasas negativas, lo cual puede ser interpretado



como antes. En el caso de buses rurales, a nivel de escape solo pudo realizarse estimaciones para el tipo liviano y mediano. En el primer caso, la máxima tasa se alcanza el último año (1,54 dBA), mientras que en el caso de medianos, la mayor tasa es el año 2012 con 1,292 dBA.

A nivel de motor, se procedió a estimar de similar forma para los buses urbanos y rurales de la RM de acuerdo al promedio logarítmico señalado anteriormente. Los resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 2. Tasas de deterioro motor buses urbanos, según tipo y año de fabricación

Año de Fabricación	Urbano RM			Rural RM	
	L	M	P	L	M
1996		-0,322	-2,416	0,029	-0,055
1997	0,020	-0,145	-1,914	0,007	-0,069
1998	-0,809	-0,070	-2,189	0,017	-0,049
1999	-0,400	-0,344	-0,943	0,007	-0,288
2000	-0,299	-0,069	0,446	-0,019	-0,137
2001	-0,696	-0,008	-1,977	-0,094	-0,281
2002	-0,264	-0,017	-0,355	-0,079	-2,648
2003	-0,186	-0,154	0,062	-0,110	-0,150
2004	0,135	0,103	0,188	0,164	0,339
2005	-1,003	-0,116		0,208	0,409
2006		0,122		0,333	0,232
2007	0,640	1,381		0,528	0,572
2008	0,755			0,515	0,504
2009	0,093			0,641	0,306
2010	0,152			0,512	0,205
2011	1,653			0,390	0,319
2012	0,252			0,667	
2013	1,774			0,934	
2014				2,260	

Fuente: Elaboración Propia

En el nivel urbano, para los buses livianos, la máxima tasa de deterioro para el motor se presenta el año 2013 con 1,774 dBA. En el caso de los buses medianos urbanos, la máxima tasa de deterioro



ocurre el año 2011 (1,381 dBA) existiendo también algunos años en que la tasa es negativa, lo que implicó que debieron existir ajustes en el nivel de motor, tal como en el caso del escape señalado anteriormente. En los buses pesados urbanos la máxima tasa ocurre el año 2000, con un valor de 0,446 dBA.

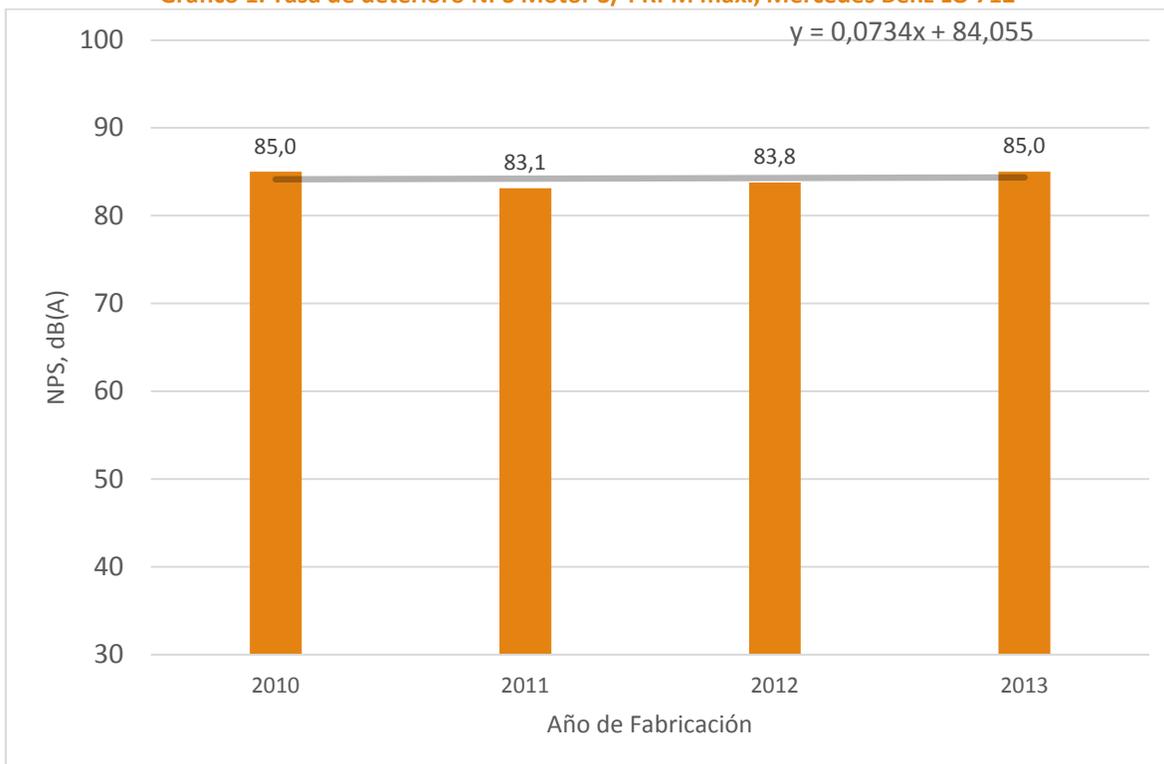
En el caso de buses rurales, al igual que en el caso de nivel de escape solo pudo realizarse estimaciones para el tipo liviano y mediano. En el primer caso, la máxima tasa se alcanza el año 2014 (2,26 dBA), mientras que en el caso de medianos, la mayor tasa es el año 2007 con 0,572 dBA.

En el caso de regiones, la metodología propuesta para estimar la Tasa de Deterioro del nivel de ruido de buses contempla la comparación de los datos del ruido de un mismo bus en distinto años de Revisión Técnica, y eventualmente analizar el incremento de nivel. Como lo anterior no es posible, se puede trabajar con un modelo de bus en particular, y comparar datos promedio de distintos años de fabricación, asumiendo que las características de fabricación año a año son las mismas.

En el caso de regiones, se estimó la tendencia de la tasa de deterioro utilizando datos medidos por Contador y Campos (2015) para los modelos de buses más representativos dentro de su base de datos. Se estimó para las ciudades de Concepción y Valparaíso, para los puntos de escape, motor e interior. En primer término, se presentan los correspondientes gráficos para la ciudad de Concepción.



Gráfico 1. Tasa de deterioro NPS Motor 3/4 RPM máx., Mercedes Benz LO 712



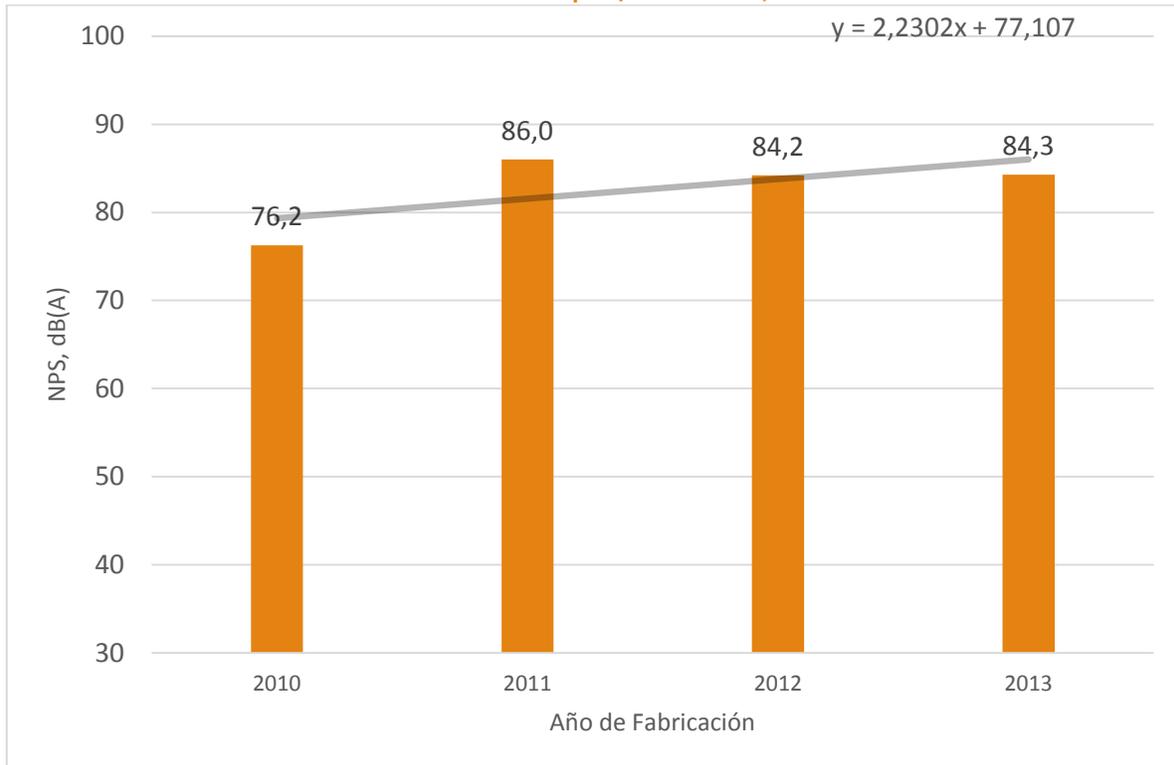
Fuente: Elaboración propia, basado en Contador y Campos (2015)

En el caso del ruido del motor, la tasa de deterioro es casi constante, dado que se incrementa anualmente solo 0,47 dBA. Ello implica que el nivel de ruido emitido por un bus que ingresó el año 2013 es un 2% superior al nivel de ruido que presentó un bus que ingresó el año 2010.

El caso de las mediciones a nivel de escape e interior se presentan en los gráficos siguientes.



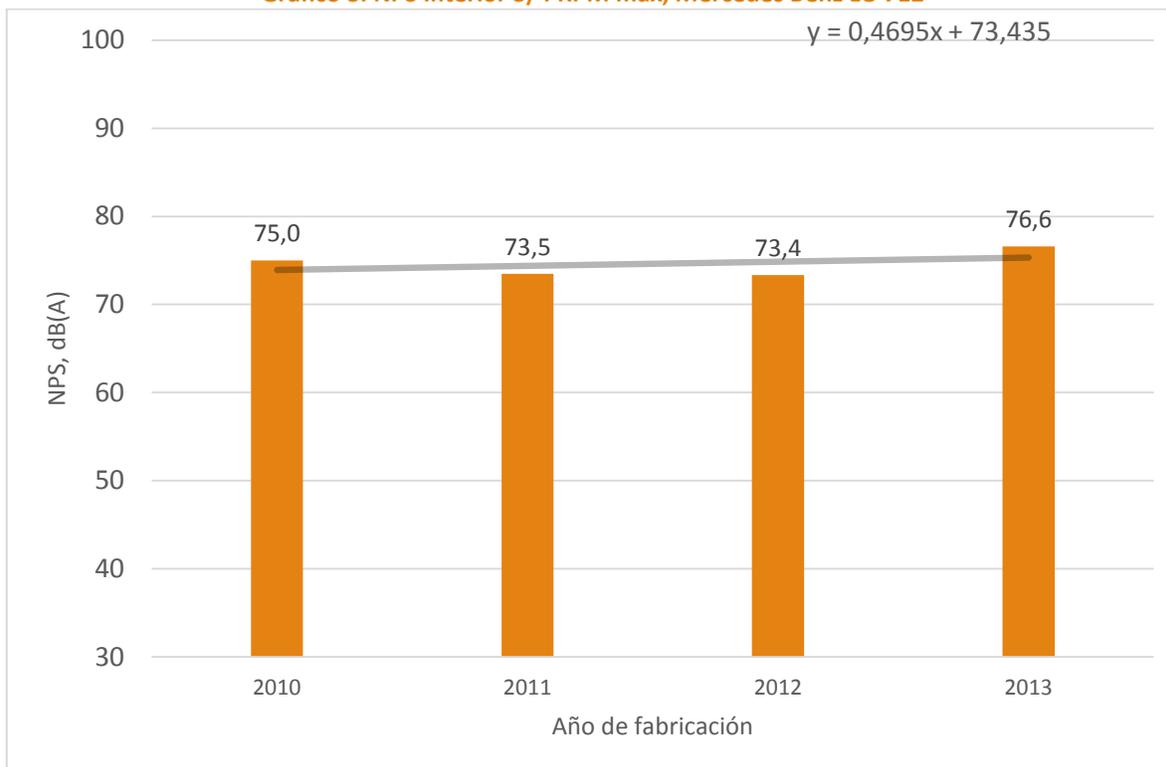
Gráfico 2. Tasa de Deterioro NPS Escape 3/4 RPM máx., Mercedes Benz LO 712



Fuente: Elaboración propia, basado en Contador y Campos (2015)



Gráfico 3. NPS Interior 3/4 RPM max, Mercedes Benz LO 712



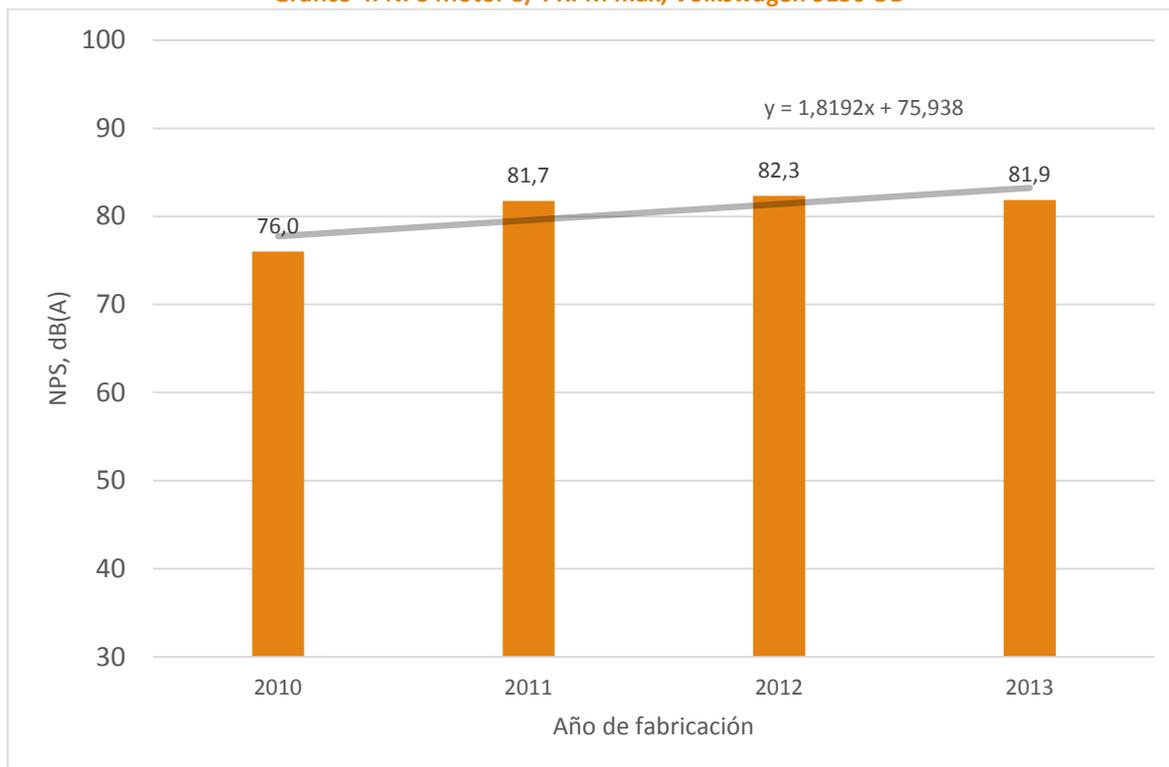
Fuente: Elaboración propia, basado en Contador y Campos (2015)

En los casos de Escape e Interior, y contrariamente a lo que se esperaría, la tasa de deterioro del ruido medido en el interior presenta una tendencia decremental, es decir, buses más nuevos son más ruidosos que los más antiguos, a razón de 2,2 y 0,5 dB(A) promedio, respectivamente.

En el caso de la ciudad de Valparaíso, se realiza el mismo ejercicio anterior, con los gráficos siguientes:



Gráfico 4. NPS Motor 3/4 RPM max, Volkswagen 9150 OD



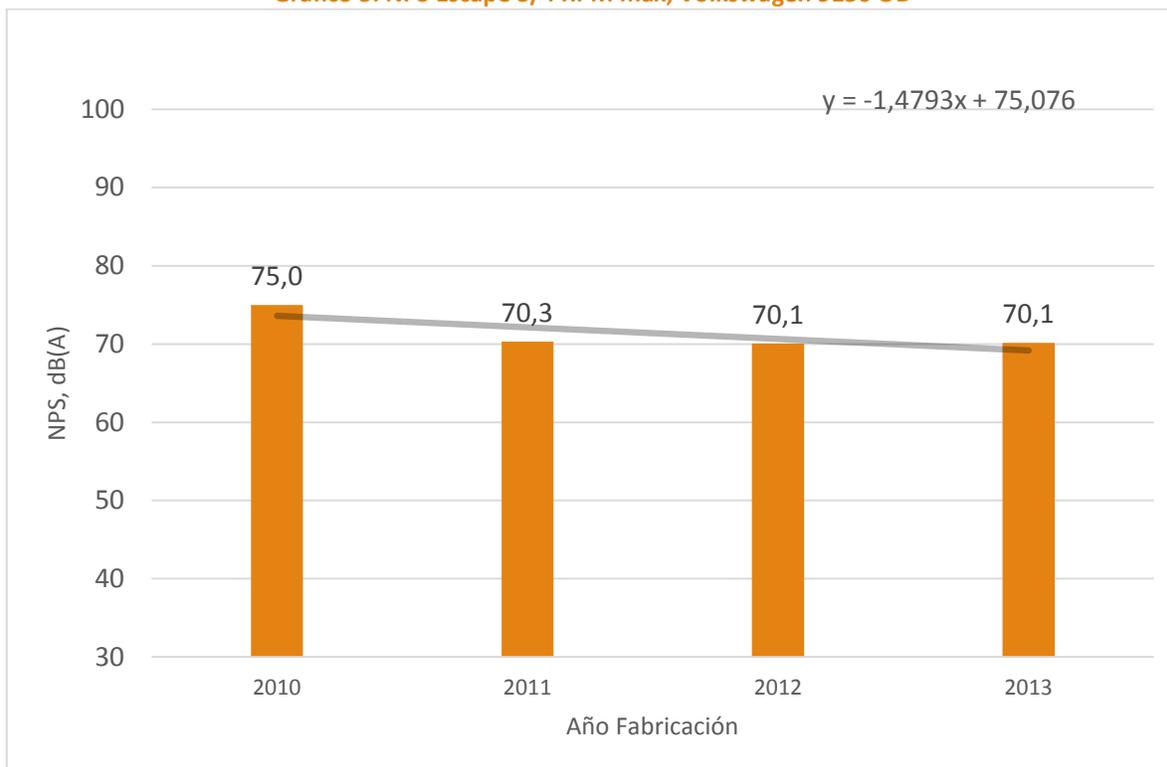
Fuente: Elaboración propia, basado en Contador y Campos (2015)

Llama la atención, al igual que en el caso de Concepción en las mediciones a nivel de escape, que en el caso de las mediciones del motor, se constató un incremento en los niveles de medición del ruido a una tasa de 1,81 dBA por año. Con ello, los niveles de ruido de las máquinas que ingresaron el 2013 son un 7,8% al nivel de ruido de las máquinas que ingresaron el 2010. Esto podría deberse a que las máquinas más antiguas realizaron ajustes en el motor o adoptaron otras medidas mitigatorias.

El caso de las mediciones al nivel de escape se presenta en el siguiente gráfico.



Gráfico 5. NPS Escape 3/4 RPM max, Volkswagen 9150 OD



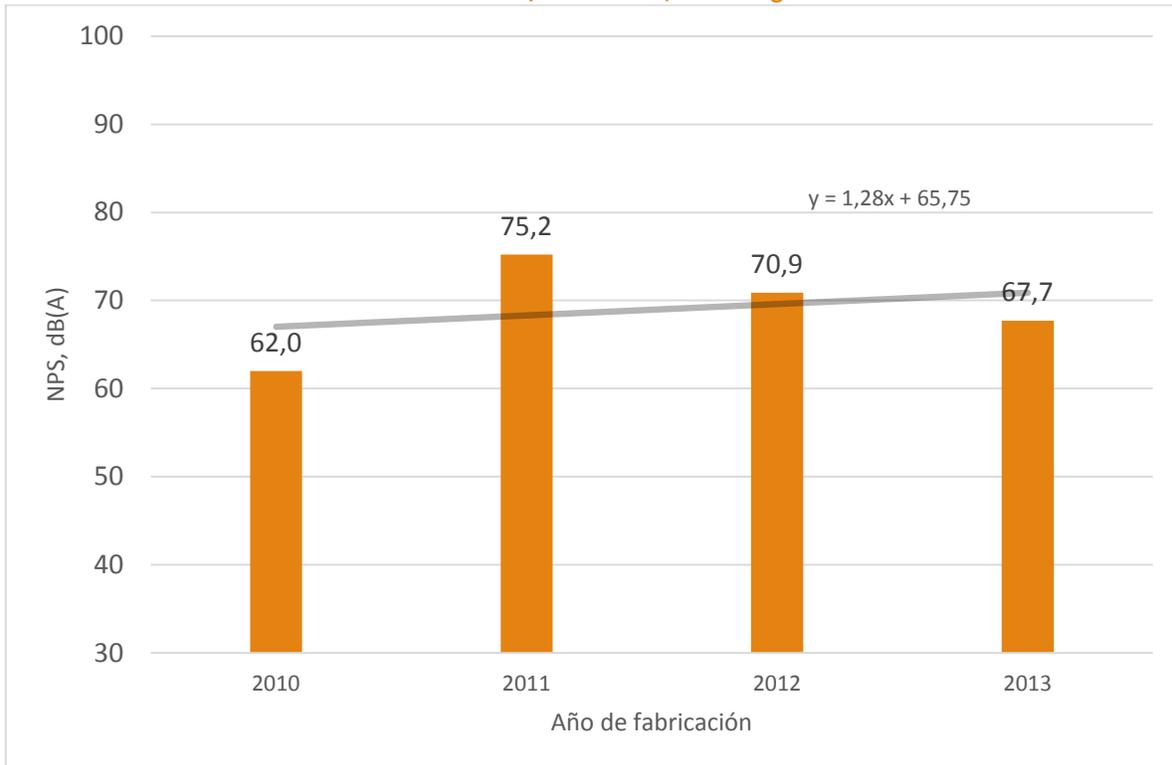
Fuente: Elaboración propia, basado en Contador y Campos (2015)

En el segundo caso, las mediciones a nivel de escape registran una caída en la tendencia en las mediciones, del orden de 1,5 dB(A) por año. Es decir, los buses que ingresaron el año 2013 presentan un nivel de ruido que es un 6% inferior a los que ingresaron el año 2010, siendo el único caso en donde efectivamente se presenta un deterioro en el nivel de ruido.

El caso de las mediciones en el interior, el siguiente gráfico presenta las emisiones



Gráfico 6. NPS Interior 3/4 RPM max, Volkswagen 9150 OD



Fuente: Elaboración propia, basado en Contador y Campos (2015)

En el caso de las mediciones al interior de las máquinas, se registra un leve incremento del orden de los 1,28 dB(A) anuales, lo que implica que los buses que ingresan el año 2013 tienen en promedio un 9% más de decibeles que aquellos que ingresaron el año 2010.

Alternativa 2: Uso de base 3CV

En este caso, la base homologada del 3CV entrega información respecto a buses livianos en el caso de regiones, por lo que las estimaciones solo se podrán realizar para este tipo de vehículo en esas zonas. Para la región Metropolitana existen 21 datos para buses pesados, por lo que se utilizará esa información para caracterizar a ese tipo de vehículo a nivel nacional.



Como se señaló previamente, si se consideran los datos crudos, sin supuestos de ninguna consideración, en donde las tasas son negativas, implica que los vehículos mejoraron los niveles de ruido en el transcurso del tiempo. Si no se considera que tomaron alguna medida mitigadora, entonces se podrían cuestionar los datos de medición.

Por ello es que se toma solo en consideración el segundo escenario, teniendo en consideración lo descrito previamente en donde se realizaban adaptaciones tecnológicas para mitigar el ruido. Para cada nivel se asume una disminución promedio de los decibeles, y luego se estima una tasa de deterioro constante para el escape, motor e interior, respectivamente.

La siguiente tabla presenta una estimación de la tasa de deterioro, considerando los supuestos mencionados anteriormente, según el año de fabricación, para los 238 vehículos considerados en la base de datos del 3CV¹.

¹ Se consideran conjuntamente todos los tipos de buses, dado que la estimación de la tasa es similar.



Tabla 3. Tasas de deterioro promedio según año de fabricación

Año	N	Escape	Motor	Interior
1998	2	0,228	0,235	0,186
1999	1	0,021	0,021	0,438
2000	0			
2001	1	0,000	0,095	0,548
2002	3	0,250	0,137	0,641
2003	9	0,238	0,525	0,543
2004	26	0,343	0,586	0,321
2005	27	0,447	0,746	0,507
2006	26	0,150	0,430	0,154
2007	19	0,465	0,691	0,412
2008	10	0,448	0,938	0,510
2009	5	0,522	0,944	0,211
2010	7	0,684	1,448	-0,010
2011	14	0,555	1,131	1,202
2012	21	1,318	1,836	0,598
2013	52	1,055	1,846	1,083
2014	1	8,837	11,000	5,000
2015	14	-0,710	3,595	-1,357

Fuente: Elaboración Propia basado en data de 3CV

Se aprecia que aun después de haber aplicado las condiciones del supuesto, existen tasas negativas, casi todas a nivel de interior. Sin embargo, la aplicación de una tasa constante de deterioro en todo el período parece más razonable, dado la dispersión de los datos al considerar el año de fabricación, existiendo un año en que no ingresó ningún vehículo en la muestra u otros años en que no existen registros suficientes.

De esta forma, al considerar todas las tasas de cada vehículo, y estimar un promedio simple, bajo el supuesto de incorporación de tecnología de mitigación, se obtiene la siguiente tabla, en función de las reducciones atribuibles a dichas tecnologías. Se considera en las máximas reducciones, valores que hacen que las tasas sean positivas, por lo que se buscó encontrar los valores críticos



de reducción a partir de los cuales las tasas se hacen negativas. Además en el caso de interior, se asume que un porcentaje de lo reducido por motor y escape también reduce una cierta proporción en el interior, lo que a juicio de experto esta del orden de 5 a 10 dBA en conjunto.

Tabla 4. Simulación de reducciones (dBA) por nivel

Variable	Escape	Motor	Interior
Máxima reducción (dBA)	10	12	15
Tasa promedio deterioro (dBA)	0,94	1,26	-0,99
Máxima reducción (dBA)	8	12	14
Tasa promedio deterioro (dBA)	0,58	1,26	-1,16
Máxima reducción (dBA)	5	12	13
Tasa promedio deterioro (dBA)	0,04	1,26	-1,41
Máxima reducción (dBA)	5	10	13
Tasa promedio deterioro (dBA)	0,04	0,78	-1,41
Máxima reducción (dBA)	20	15	19
Tasa promedio deterioro (dBA)	2,73	1,98	0,09
Máxima reducción (dBA)	30	15	22
Tasa promedio deterioro (dBA)	4,52	1,98	0,92
Máxima reducción (dBA)	35	15	23
Tasa promedio deterioro (dBA)	5,42	1,98	1,33

Fuente: Elaboración Propia basado en data de 3CV

Se aprecia que para reducciones en el escape menores a 5 dBA, las tasa negativas, lo cual ocurrirá para el motor para reducciones menores a 7 dBA, y para el interior para valores menores a 19 dBA.

Si se ajusta una forma funcional lineal para las reducciones, tanto en el escape, motor e interior, se obtiene una tasa de cambio del deterioro para cada nivel, para los tipos de buses livianos y



pesados, la cual se presenta en la siguiente tabla. En el caso de buses medianos, se asumió el promedio de pesados y livianos, en cada nivel.

Tabla 5. Tasas deterioro para cada nivel

Tipo bus	Escape	Motor	Interior
Liviano	0,17	0,24	0,27
Mediano	0,22	0,23	0,31
Pesado	0,27	0,21	0,35

Fuente: Elaboración Propia basado en data de 3CV

Debe tenerse en cuenta que en la estimación de las tasas se asumió que en promedio un silenciador tipo A reduce entre 8-12 dBA, y uno tipo B 25-35 dBA. En el caso de la tecnología para reducción de ruido en el motor, los valores de reducción están entre 10 y 15 dBA. En el caso de las reducciones en el interior las reducciones son del orden de 6 a 10 dBA, el valor medio a usar es 8 dBA. Estas tecnologías serán descritas en el siguiente capítulo, junto con sus correspondientes valores de reducción de ruido.

Bajo los supuestos anteriores se aprecia que el deterioro es mayor que en el caso de los buses livianos, en especial en el caso en que se haya adoptado un silenciador de mayor reducción. Dada la incertidumbre en la suposición de su uso, esta estimación no será considerada.



3. CARACTERIZACIÓN TÉCNICA Y MONETARIA DE ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE RUIDO FRENTE A UNA SUPERACIÓN DE LÍMITES DE EMISIÓN PARA BUSES DE LOCOMOCIÓN COLECTIVA NUEVOS Y EXISTENTES

Se presentará la identificación de las diferentes alternativas de reducción de ruido, de manera de valorar socialmente su potencial implementación en los buses que requieran disminuir sus emisiones en función de la normativa que sea establecida. Posteriormente se presentarán los escenarios de evaluación social, y los supuestos utilizados para ello. En tercer lugar se presentará la estimación de la disminución de los niveles de emisiones de ruido producto de la aplicación de las metas.

Finalmente se presentarán los costos asociados a la renovación de buses en función del cumplimiento de emisiones (que considera el efecto neto de la contaminación en situación base, y con medidas de reducción adoptadas), y desagregado por cada uno de las categorías relevantes establecidas.

3.1. Identificación de alternativas de reducción de emisiones según instancia de superación (homologación o revisión técnica)

Se presentan tres alternativas asociadas al manejo de las emisiones directas de las máquinas, las cuales consisten en un silenciador añadido al tubo de escape, en donde se evaluaron dos modelos diferentes; la segunda alternativa consiste en el recubrimiento de las vecindades del motor por medio de celosías; la tercera alternativa corresponde a aislamientos a nivel del piso de los microbuses, que permitan disminuir las emisiones al interior de las máquinas.



3.1.1. Silenciador de Escape

Una de las alternativas de reducción que se evaluaron está en relación a incorporaciones tecnológicas al equipamiento original del vehículo con el fin de reducir el ruido a través del Escape, tal como un Silenciador que se presenta en la siguiente figura.

Figura 1. Instalación de silenciador en vehículo de locomoción colectiva



Fuente: Internet

Alternativamente, se podrá considerar la posibilidad del reemplazo del silenciador existente o bien la instalación de una segunda unidad en serie. En ambos casos, se debería respetar la Pérdida de Carga permitida.

Se presentan dos posibilidades de silenciador de escape, una de inferior calidad y una de mejor calidad, respecto a la atenuación ofrecida por el fabricante. Como referencia se utiliza el catálogo



ofrecido por la empresa *Donaldson Filtration Solutions*, para silenciadores de escape de vehículos medianos y pesados².

Se calcula el flujo de gases en el silenciador para motor diésel de 4 tiempos utilizando como referencia un motor de 12.000 cc, equivalente a un vehículo Mercedes Benz, modelo 457 LA. En base a dicho flujo se determina el modelo de silenciador adecuado para el motor de referencia.

Figura 2. Fórmula utilizada en el cálculo de flujo de gases en el escape

Engine Exhaust Flow Rate Calculation

Exhaust flow rate may be calculated using the following formula. Exhaust temperature and intake airflow rate must be determined to calculate the exhaust flow rate. Exhaust temperature and manufacturers maximum backpressure may be approximated using the chart on the right.

$$\left(\frac{\text{Exhaust Temp. (°F)} + 460}{540} \right) \times \text{Intake Airflow (CFM)} = \text{Exhaust Flow (CFM)}$$

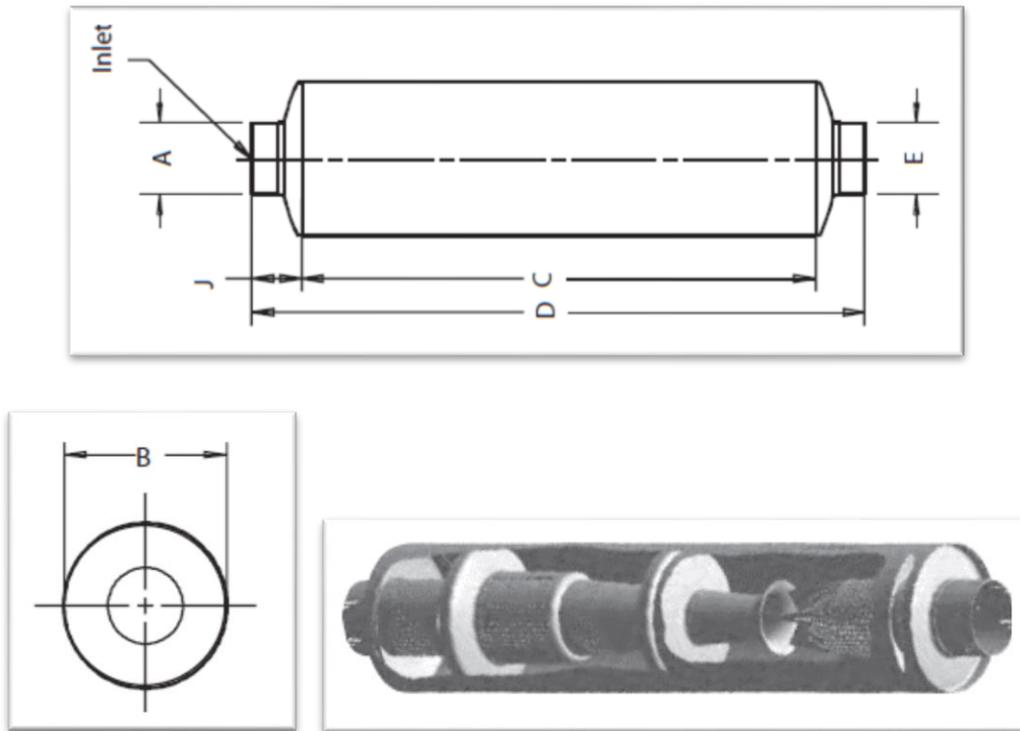
Engine Type	Engine Temperature	Maximum Backpressure
Diesel 2-Cycle Naturally Aspirated	= 900° F	4" Hg
Diesel 2-Cycle Turbo	= 750° F	3" Hg
Diesel 4-Cycle Naturally Aspirated	= 1000° F	3" Hg
Diesel 4-Cycle Turbo	= 900° F	3" Hg
Gasoline (all types)	= 1200° F	>4" Hg

Note: If you are spec'ing a dual muffler system, remember to divide engine's exhaust flow (CFM) by two

² <https://www.donaldson.com/en/exhaust/support/datalibrary/061237.pdf>



Figura 3. Geometría de silenciador de escape.



Fuente: Internet



Tabla 6. Dimensiones y atenuación ofrecida por el fabricante para modelos de silenciadores seleccionados

Diámetro de Admisión (A) [mm]	Diámetro de Silenciador (A) [mm]	Largo de Silenciador (C) [mm]	Largo Total (D) [mm]	Diámetro de Descarga (E) [mm]	Largo de Ducto de Admisión (J) [mm]	Peso [kg]	Atenuación [dBA]
ALTERNATIVA 1							
102	216	873	1016	102	64	10	8 – 12
ALTERNATIVA 2							
102	262	1130	1298	102	76	24	25 – 35

Fuente: Elaboración Propia, basado en Contador y Campos (2015)

En base a las dimensiones de los silenciadores considerados adecuados para el motor de referencia, se presenta un estimativo de costos para materiales de construcción existentes en el país:

Tabla 7. Itemizado de costos aproximados para fabricación de silenciador tipo 8-12 dBA.

Alternativa 1		Atenuación 8 – 12 [dBA]		
Ítem	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Valor CLP
Aluminio 3 mm	7	Kg	\$3.200	\$ 22.400
Aluminio 1 mm	3	Kg	\$3.200	\$ 9.600
Corte y Plegado	10	Kg	\$3.000	\$ 30.000
Perforado	5	Kg	\$5.000	\$ 25.000
Soldadura	1	gl	\$20.000	\$ 20.000
Lana de Vidrio	3	m ²	\$5.000	\$ 15.000
Utilidades	50	%	-	\$ 43.500
TOTAL (sin IVA)				\$165.500

Fuente: Elaboración Propia, basado en Contador y Campos (2015)



Tabla 8. Itemizado de costos aproximados para fabricación de silenciador tipo 25-35 dBA.

Alternativa 2		Atenuación 25 – 35 [dBA]		
Ítem	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Valor CLP
Aluminio 3 mm	17	Kg	\$ 3 200	\$ 54 400
Aluminio 1 mm	7	Kg	\$ 3 200	\$ 22 400
Corte y Plegado	24	Kg	\$ 3 000	\$ 72 000
Perforado	10	Kg	\$ 5 000	\$ 50 000
Soldadura	1	gl	\$ 20 000	\$ 20 000
Lana de Vidrio	3	m ²	\$ 5 000	\$ 15 000
Utilidades	50	%	-	\$ 116 900
TOTAL (sin IVA)				\$ 350 700

Fuente: Elaboración Propia, basado en Contador y Campos (2015)

Consideraciones:

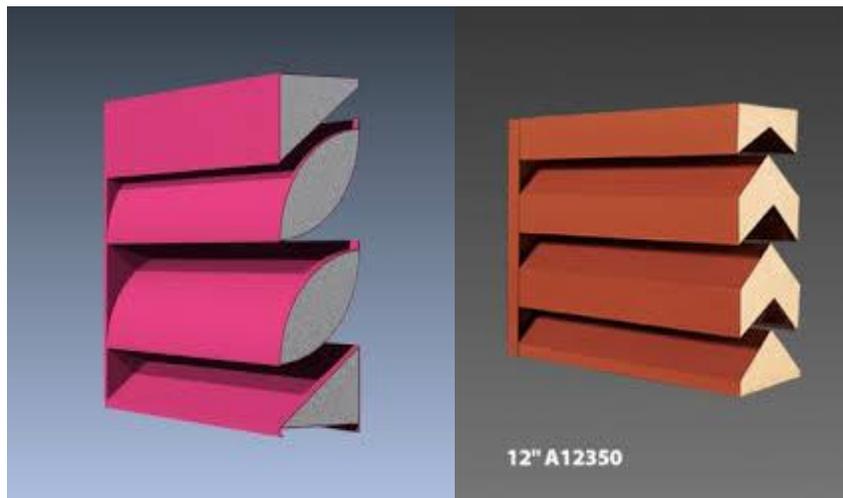
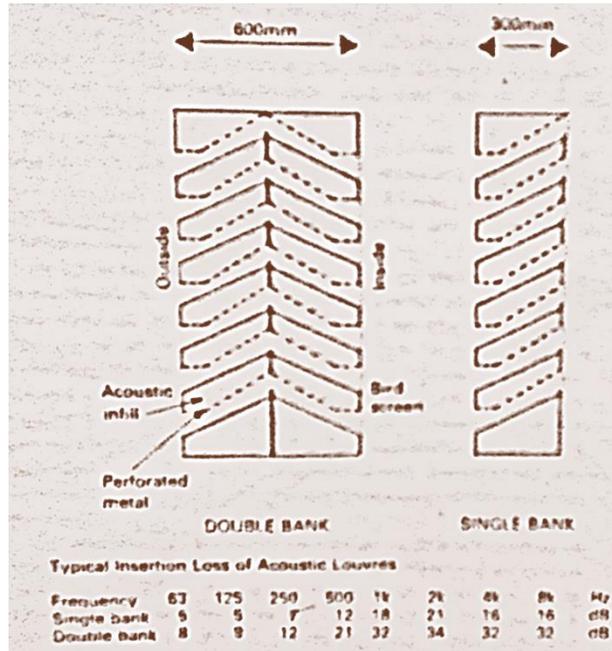
- Valor de Aluminio referencial para una plancha de 1100x3000x3 mm (27 Kg): \$ 86.400.
- Referencia valor lana de vidrio, SODIMAC.

3.1.2. Mejoramiento de Encierros mediante Absorción y Celosías Acústicas

Este tratamiento contempla el reemplazo de celosías simples por celosías acústicas que permitan la entrada y salida de aire, atenuando el ruido que pueda salir desde el compartimento del motor al exterior. La siguiente figura presenta la configuración y atenuaciones esperadas por banda de frecuencia, de celosías simples y dobles consistentes en láminas metálicas lisas y perforadas con absorción acústica en su interior, cuya aplicación estará limitada por el espacio disponible.



Figura 4. Esquemas de celosías utilizadas para la mitigación de ruido



Fuente: Templeton D., Acoustic in the Built Environment, 1999



Por otra parte, se considera fijar a paredes de la caja que contiene al motor, material fonoabsorbente resistente a la temperatura, según se presenta en los siguientes esquemas y fotografías.

Figura 5. Fijación a paredes de la caja que contiene al motor de material fonoabsorbente



Fuente: Internet



Tabla 9. Itemizado de costos aproximados para fabricación de absorción y celosías acústicas

Alternativa 3		Atenuación 10-15 [dBA]		
Item	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Valor CLP
Celosía Acústica	2	m2	120.000	240.000
Absorción	14	m2	20.000	280.000
Utilidad	50	%		260.000
TOTAL (sin IVA)				\$780.000

Fuente: Elaboración Propia

3.1.3. Aislamiento Piso

Con el fin de mejorar el ambiente acústico al interior del Bus, producto de las emisiones del rodado y elementos ubicados en la parte inferior, es necesario dar mayor aislamiento del piso y de paso amortiguar vibración de superficies metálicas. Para ello, se propone un sándwich compuesto de vinilo de alta densidad y plancha metálica diamantada, que al menos duplique la masa superficial del piso existente.



Figura 6. Material para el aislamiento de piso en buses



Fuente: Sonoflex

Tabla 10. Itemizado de costos aproximados para Reforzamiento Aislamiento Piso

Alternativa 5		Atenuación 6-10 [dBA]		
Ítem	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Valor CLP
Membrana Acústica	1	m ²	12.000	40.000
Plancha Diamantada 3mm	1	m ²	20.000	20.000
Utilidad	50	%		30.000
TOTAL (sin IVA)				\$90.000

Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente, se puede considerar la proyección de una capa asfáltica en la parte inferior del piso. La valorización de las alternativas anteriores permitirá el desarrollo de la siguiente actividad de estimación del costo social de la implementación de cada una de ellas.



3.2. Estimar el costo social de implementar las alternativas de reducción identificadas.

Dada la estimación de las alternativas de reducción presentadas en el punto anterior, se procedió a estimar el valor presente neto de los costos sociales de cada una de ellas. Se utilizó la tasa social de descuento utilizada por Ministerio de Desarrollo Social del 8%, un IVA del 20%, y un horizonte de 10 años.

Cada alternativa presenta costos de mantenimiento y recambio dado un plazo de vida útil de cada uno de ellos, que se asumen sobre la base del conocimiento del consultor. A partir de dichos insumos se estima el Valor Presente Neto (VAN) de los costos de implementación y aplicación de dichas alternativas en el período hasta el 2025.

Tabla 11. Valor Presente Neto de los costos de la implementación de las alternativas de reducción de ruido

Ítems	Silenciador 1 (por máquina)	Silenciador 2 (por máquina)	Celosía (por máquina)	Pantalla (por metro lineal)
Fabricación (\$)	165.500	350.700	780.000	183.000
Instalación(\$)	50.000	50.000	10.000	100.000
Mantención (\$)	25.000	25.000	5.000	10.000
Tasa de descuento (%)	0,08	0,08	0,08	0,08
Recambio (Años)	2,5	4	2	2
Plazo (años)	10	10	10	10
VAN costos (\$)	-381.358	-550.335	-823.172	-423.283

Fuente: Elaboración Propia

Los valores del VAN unitario de costos implica que la alternativa más cara es la implementación de celosías al motor de una máquina (\$823.172), seguido de la aplicación de un silenciador de reducción de entre 25 y 35 [dBA] (\$550.335 por máquina). En tercer lugar está la implementación de las pantallas acústicas (\$423.283 por metro lineal), y finalmente está el silenciador que reduce entre 8 y 12 [dBA] (\$381.358 por máquina).



Ahora, si se considera el parque de locomoción colectiva que será afectado por las medidas mitigatorias, es posible estimar el costo social total del recambio para las 3 alternativas directamente comparables, aunque se mantiene el orden de prioridad para un número equivalente de vehículos a intervenir. De esta manera, como referencia se evaluará solo la alternativa del silenciador 1, tanto para la región Metropolitana en sus niveles urbano y rural, como regiones.

Debe considerarse que la aplicación de la eventual norma implicará que algunos buses deban utilizar la tecnología mitigatoria, de la misma forma que si no existiese norma (hay buses que aun exceden en los niveles actuales), aunque se espera que existan menos buses que lo requieran en el contexto actual (dado que la norma hoy es más permisiva, hay buses que permanecen en el límite, los que bajo la nueva norma caerían en la categoría de rechazo).

Las siguientes tablas presentan los resultados de la valoración social en cada caso, junto con la cantidad de buses que deberían adoptar la tecnología de mitigación en ambos escenarios (con norma y sin ella).



Tabla 12. Número de buses que adoptan tecnología en escenarios de norma y sin ella, y VAN de costos buses urbano regiones

Usa tecnología mitigatoria	Con Norma		Sin norma	
	SI	NO	SI	NO
Año				
2016	5.630	4.753	5.251	5.132
2017	492	9.891	313	10.070
2018	404	9.979	121	10.262
2019	5.138	5.245	4.867	5.516
2020	236	10.147	384	9.999
2021	602	9.781	305	10.078
2022	5.015	5.368	4.572	5.811
2023	332	10.051	446	9.937
2024	1.104	9.279	3.856	6.527
2025	4.581	5.802	0	10.383
Precio de compra (\$)	165.500			
Instalación(\$)	50.000			
Tasa de descuento	0,08			
VAN (\$)	3.459.159.205		2.823.746.984	
Delta VAN(\$)	421.684.163			

Fuente: Elaboración Propia

En este caso, la diferencia en el VAN de los costos de implementación de la tecnología mitigatoria es del orden de los \$MM 421, lo que equivale al incremental total de costos que tendría que incurrirse para adaptar dicha tecnología al nuevo requerimiento de la norma. Se aprecia además que en el escenario sin norma para el 2025, no existirían buses que requieran el cambio tecnológico. En total son 20.115 buses que necesitarían hacer el cambio tecnológico en el escenario sin norma.

En el escenario con norma, existen en total 23.534 buses que requerirían adoptar la nueva tecnología versus los 80.296 que no necesitarían hacerlo en tal escenario. Luego, ello explica el mayor valor presente de los costos del cambio en el escenario con norma.



En el caso de los buses urbanos de la región Metropolitana, la siguiente tabla presenta los resultados de la simulación.

Tabla 13. Número de buses que adoptan tecnología en escenarios de norma y sin ella, y VAN de costos buses urbanos región Metropolitana

Usa tecnología mitigatoria	Con Norma		Sin norma	
Año	SI	NO	SI	NO
2016	4.733	1.780	4.411	2.102
2017	3	6.510	20	6.493
2018	1	6.512	231	6.282
2019	3.760	2.753	3.461	3.052
2020	514	5.999	503	6.010
2021	1.346	5.167	292	6.221
2022	3.574	2.939	3.393	3.120
2023	810	5.703	571	5.942
2024	1.405	5.108	275	6.238
2025	3.073	3.440	2.725	3.788
Precio de compra (\$)	165.500			
Instalación(\$)	50.000			
Tasa de descuento	0,08			
VAN (\$)	2.800.803.814		2.379.790.129	
Delta VAN(\$)	421.013.685			

Fuente: Elaboración Propia

Para los buses urbanos de la región Metropolitana la diferencia en el VAN de los costos de implementación de la tecnología mitigatoria es del orden de los \$MM 421, lo que equivale al incremental total de costos que tendría que incurrirse para adaptar dicha tecnología al nuevo requerimiento de la norma.

En el escenario con norma existen en total 19.219 buses que requerirían adoptar la nueva tecnología versus los 15.882 que necesitarían hacerlo en el escenario sin norma.

El caso de buses rurales en la RM se presenta en la siguiente tabla.



**“Generación de Antecedentes para el AGIES del Anteproyecto de Revisión
de la Norma de Emisión de Ruido para Buses de Locomoción
Colectiva Urbana y Rural”
ID 608897-56-LE15**

Informe Final



Tabla 14. Número de buses que adoptan tecnología en escenarios de norma y sin ella, y VAN de costos buses rurales región Metropolitana

Usa tecnología mitigatoria	Con Norma		Sin norma	
	SI	NO	SI	NO
Año				
2016	1.422	822	0	2.244
2017	79	2.165	0	2.244
2018	62	2.182	1.499	745
2019	1.467	777	45	2.199
2020	92	2.152	50	2.194
2021	116	2.128	1.534	710
2022	1.527	717	80	2.164
2023	166	2.078	143	2.101
2024	233	2.011	1.506	738
2025	1.525	719	160	2.084
Precio de compra (\$)	165.500			
Instalación(\$)	50.000			
Tasa de descuento	0,08			
VAN (\$)	1.266.986.893		1.119.602.555	
Delta VAN(\$)	147.384.339			

Fuente: Elaboración Propia

En este caso, la diferencia en el VAN de los costos de implementación de la tecnología mitigatoria es del orden de los \$MM 147. En el escenario sin norma existen en total 5.017 buses que requieran el cambio tecnológico versus los 17.423 que no lo requieren. En el escenario con norma, en total son 6.689 máquinas que necesitarían adaptarse a la tecnología señalada para reducir ruido, versus las 15.751 que no necesitaría dicha adaptación.

De esta forma, la diferencia en el valor presente de los costos de adaptar la tecnología de silenciador en los buses de locomoción colectiva del país, en un escenario con la nueva norma versus el escenario actual, asciende a un poco más de \$MM1.200.



3.3. Reducción de emisiones esperada fruto de la implementación de la alternativa de reducción de emisiones identificadas.

Dadas las estimaciones de las emisiones a nivel de escape, realizadas en los componentes anteriores, se procedió a descontar las potenciales atenuaciones del nivel de ruido de cada una de las alternativas evaluadas, en el contexto de la implementación de la norma y en el escenario antiguo. La siguiente tabla presenta las proyecciones para la alternativa del silenciador 1.

Tabla 15. Diferencia en las reducciones esperadas (dBA) de locomoción colectiva entre escenario con norma o sin ella

Año	Urbano Regiones	Urbano RM	Rural RM
2016	1,83	2,44	4,27
2017	2,33	2,38	3,87
2018	2,96	1,51	3,94
2019	1,48	1,40	4,02
2020	2,06	1,55	3,98
2021	2,32	5,32	3,78
2022	2,32	4,81	4,15
2023	2,86	5,25	3,90
2024	3,58	5,38	4,55
2025	2,95	5,69	4,29

Fuente: Elaboración Propia

En ésta evaluación, se consideró la diferencia en emisiones obtenida en el escenario con nueva norma versus las emisiones obtenidas con la norma actual. Debe recordarse que en ambos escenarios existirán vehículos que requerirán adaptaciones tecnológicas, pero que dada a mayor rigurosidad de la nueva norma, existirá una mayor cantidad de máquinas que requieran dichas adaptaciones.

Luego, las estimaciones consideran la diferencia de cada vehículo del parque en cuanto a que cantidad de emisiones realizaría en ambos contextos.



De esta manera, es esperado que el uso del silenciador disminuya en promedio las emisiones en un rango de entre 1,48 y 3,58 dBA en promedio para el parque de buses urbanos de regiones. En los buses urbanos de la región Metropolitana, el rango esperado de reducción en todo el período proyectado está entre 1,40 y 5,69 dBA. Para los buses rurales de la RM, dicho rango se encuentre entre los 3,78 y 4,55 dBA.

3.4. Estimar el costo de renovación de buses de locomoción colectiva existente, generados por la aplicación de la norma.

El concepto que guía el desarrollo de este subcapítulo se basa en que existirá un cambio de máquina independientemente de realizar un ajuste tecnológico para mitigar el ruido. Debe considerarse que la renovación del parque debe efectuarse a los 20 años en regiones y a los 10 años en Santiago, por lo que este cambio se llevará a cabo independientemente de la norma de ruido.

Se debe considerar que este punto no fue incorporado a la modelación de costos, dado que se considera que las alternativas tecnológicas presentadas son en sí mismas suficientes para que las máquinas puedan cumplir con las nuevas disposiciones evaluadas en el presente AGIES.

En este punto se consideró la información existente en la base de datos consolidada del 3CV en que existía información respecto a los modelos de buses que han sido certificados por dicha entidad, y de los cuales se dispone los niveles de emisión en escape, motor e interior, tanto en ensayos estáticos como dinámicos. De esa base, se seleccionó aquellos modelos que no cumplían la nueva norma en alguno de los niveles señalados, y se procedió a categorizarlos según tipo de bus (liviano, mediano y pesado).

Seguidamente, y dada la información disponible en el programa Renueva tu Micro, se escogió los modelos representativos para estimar su costo de renovación, en función del año de fabricación, y su eventual reemplazo con 2 opciones de tecnología. Las alternativas a evaluar son:



Tabla 16. Alternativas de modelos de buses para ser usados como referencia en precios

Modelo	Año de fabricación	Tipo de bus
Mercedes Benz, motor OF 1721	2000	Liviano
VOLKSWAGEN motor 9.140	2003	Liviano
Mercedes Benz, motor OF 1721	1997	Mediano
Mercedes Benz, motor OH 1420/51	2001	Pesado

Fuente: Elaboración propia basado en Programa Nacional de Renovación de Buses

Dados los modelos, se buscó información respecto al monto que el Gobierno regional entregaría en caso de que el vehículo identificado abandone el mercado y sea reemplazado por un vehículo nuevo. Este será considerado el valor residual del vehículo en función de su año de fabricación. Los precios de los modelos el año 2015 se obtuvieron de cotizaciones vía Internet.

A continuación se presentan la información de precios de entrada para las estimaciones posteriores, considerando hasta el año 2015. Todos los valores son en pesos del presente año. El primer modelo corresponde a un bus liviano Mercedes Benz, motor OF 1721, y cuyo precio en el mercado para un móvil nuevo equivale a \$MM 40 en el caso de tecnología normal, y de \$MM 45,6 en el caso de que disponga de tecnología de emisión eficiente.



Tabla 17. Costo bus liviano modelo Mercedes Benz, motor OF 1721

Año Fabricación Vehículo Entrante	Con tecnología de emisión normal (\$MM)	Con tecnología de emisión eficiente (\$MM) ³	Costo privado con tecnología de emisión normal (\$MM)	Costo privado con tecnología de emisión eficiente (\$MM)
2015	10,06	11,51	29,9	34,1
2014	8,21	9,66	31,8	35,9
2013	7,79	9,24	32,2	36,4
2012	7,35	8,8	32,7	36,8
2011	6,88	8,33	33,1	37,3
2010	6,4	7,85	33,6	37,8
2009	5,89	7,34	34,1	38,3
2008	5,36	6,81	34,6	38,8
2007	4,8	6,25	35,2	39,4
2006	4,21	5,66	35,8	39,9

Fuente: Elaboración propia basado en Programa Nacional de Renovación de Buses

De esta manera, un vehículo que deba salir de circulación el año 2015, y que fue fabricado o ingresó al parque el año 2006, dispondrá de un subsidio de cerca de 4,2 millones de pesos en caso de adoptar la tecnología normal, y 5,7 millones en caso de tecnología eficiente. Si ingresó el 2007 y se retira el 2015, dispondrá de \$MM 4,8 en la opción normal, y de \$MM 6,25 en caso de elegir la tecnología eficiente. En el presente, posee un valor de subsidio de \$MM 10,1 en la opción normal, y de \$MM 11,51 en la otra alternativa. Luego, se asume que este subsidio corresponde al valor residual o precio que valdría el bus en mercado de vehículos usados, y que podría ser utilizado en parte para la adquisición de una máquina nueva.

Otra alternativa de bus liviano corresponde al modelo VOLKSWAGEN 9.140, cuyo precio en el mercado de una máquina nueva corresponde a \$MM 55 en el caso de tecnología normal, y de \$MM 62,5 en el caso de que disponga de tecnología de emisión eficiente.

³Gas, eléctrico, híbridos, diesel Euro IV o superior, entre otras en las que se asume tienen menos emisiones de ruido.



Tabla 18. Costo bus liviano modelo VOLKSWAGEN 9.140

Año Fabricación Vehículo Entrante	Con tecnología de emisión normal (\$MM)	Con tecnología de emisión eficiente (\$MM)	Costo privado con tecnología de emisión normal (\$MM)	Costo privado con tecnología de emisión eficiente (\$MM)
2015	15,16	17,23	39,8	45,3
2014	12,27	14,34	42,7	48,2
2013	11,4	13,47	43,6	49,0
2012	10,5	12,57	44,5	49,9
2011	9,55	11,62	45,5	50,9
2010	8,54	10,61	46,5	51,9
2009	7,49	9,56	47,5	52,9
2008	6,4	8,47	48,6	54,0

Fuente: Elaboración propia basado en Programa Nacional de Renovación de Buses

Un vehículo Volkswagen que deba salir de circulación el año 2015, y que fue fabricado o ingresó al parque el año 2008, dispondrá de un subsidio de cerca de 6,4 millones de pesos en caso de adoptar la tecnología normal, y 8,47 millones en caso de tecnología eficiente. Si ingresa el 2012 y se retira el 2016, dispondrá de \$MM 10,5 en la opción normal, y de casi \$MM 12,6 en caso de elegir la tecnología eficiente.

En el caso de modelos medianos, se presenta la alternativa para un modelo con similar motor que la alternativa anterior, pero diseñado para un modelo con una mayor capacidad, con un precio de mercado de cerca de \$MM 100 en el caso de tecnología normal, y de \$MM 114,4 en el caso de que disponga de tecnología de emisión eficiente.



Tabla 19. Costo modelo mediano MERCEDES BENZ OF 1721

Año Fabricación Vehículo Entrante	Con tecnología de emisión normal (\$MM)	Con tecnología de emisión eficiente (\$MM)	Costo privado con tecnología de emisión normal (\$MM)	Costo privado con tecnología de emisión eficiente (\$MM)
2015	14,36	16,43	85,6	98,0
2014	11,73	13,8	88,3	100,6
2013	11,13	13,2	88,9	101,2
2012	10,5	12,57	89,5	101,8
2011	9,84	11,91	90,2	102,5
2010	9,15	11,22	90,9	103,2
2009	8,42	10,49	91,6	103,9
2008	7,66	9,73	92,3	104,7
2007	6,85	8,92	93,2	105,5
2006	6,01	8,08	94,0	106,3
2005	5,13	7,2	94,9	107,2
2004	2,57	3,60	97,4	110,8
2003	1,28	1,80	98,7	112,6

Fuente: Elaboración propia basado en Programa Nacional de Renovación de Buses

Un vehículo mediano que deba salir de circulación el año 2015, y que fue fabricado o ingresó al parque el año 2003, dispondrá de un subsidio de cerca de 1,3 millones de pesos en caso de adoptar la tecnología normal, y 1,8 millones en caso de tecnología eficiente. Si ingresa el 2007 y se retira el 2015, dispondrá de \$MM 6,9 en la opción normal, y de \$MM 8,9 en caso de elegir la tecnología eficiente.

Para el caso de un representante de los vehículos pesados, se eligió al MERCEDES BENZ motor OH 1420/51, con un precio de mercado de cerca de \$MM 150 en el caso de tecnología normal, y de \$MM 170,1 en el caso de que disponga de tecnología de emisión eficiente.



Tabla 20. Costo modelo pesado MERCEDES BENZ OH 1420/51

Año Fabricación Vehículo Entrante	Con tecnología de emisión normal (\$MM)	Con tecnología de emisión eficiente (\$MM)	Costo privado con tecnología de emisión normal (\$MM)	Costo privado con tecnología de emisión eficiente (\$MM)
2015	19,2	21,9	130,8	149,0
2014	15,7	18,4	134,3	152,5
2013	14,8	17,5	135,2	153,4
2012	13,9	16,6	136,1	154,3
2011	12,9	15,6	137,1	155,3
2010	11,9	14,6	138,1	156,3
2009	10,8	13,5	139,2	157,4
2008	9,7	12,4	140,3	158,5
2007	8,5	11,2	141,5	159,7
2006	7,2	9,9	142,8	161,0
2005	3,6	5,0	146,4	165,9
2004	1,8	2,5	148,2	168,4
2003	0,9	1,2	149,1	169,7

Fuente: Elaboración propia basado en Programa Nacional de Renovación de Buses

Luego, para vehículos pesados fabricados el año 2003, su valor residual estará cercano a \$MM1 y \$MM 1,2, dependiendo de la tecnología que posea.

Luego, por cada modelo que no aprobaría la normativa en algún nivel, se realizó la relación de correspondencia entre el tipo de bus y modelo, con alguno de los modelos referenciales presentados anteriormente, asignándole los costos de renovación en función de valor residual y el precio actual del mercado, de manera de estimar la diferencia para cada modelo, de acuerdo al año de fabricación.



Tabla 21. Diferencia de precios renovación según año de fabricación (\$MM)

Año de fabricación	Liviano 1 Normal	Liviano 1 Eficiente	Liviano 2 Normal	Liviano 2 Eficiente	Mediano 1	Mediano 2	Pesado 1	Pesado 2
2003	61,6	71,6	39,1	44,3	98,7	112,6	149,1	169,7
2004	61,6	71,6	39,1	44,3	97,4	110,8	148,2	168,4
2005	59,1	68,1	38,2	43,1	94,9	107,2	146,4	165,9
2006	59,1	68,1	38,2	43,1	94,0	106,3	142,8	161,0
2007	59,1	68,1	38,2	43,1	93,2	105,5	141,5	159,7
2008	59,1	68,1	38,2	43,1	92,3	104,7	140,3	158,5

Fuente: Elaboración propia basado en Programa Nacional de Renovación de Buses

Se aprecia que dados los bajos valores residuales de las máquinas usadas, el cambio de cada bus implicará un significativo desembolso por parte del privado, en especial en los buses pesados. Sin embargo, la proyección de cada modelo al parque real dependerá del balance de máquinas entrantes y salientes del parque proyectado en los componentes anteriores, por cada uno de los modelos estimados, o su aproximación, además de posibles subsidios para ayudar al recambio.

Luego, el ejercicio anterior permite inferir que frente a la disyuntiva de cambiar la máquina por una nueva, versus realizar un cambio tecnológico, es más atractivo para un privado realizar modificaciones para mitigar el ruido. Sin embargo, en cualquier caso estará condicionado a la renovación de la máquina por vida útil, con lo que esta decisión debe adoptarla igualmente, independientemente de la norma de ruido.



4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

A continuación se presenta el modelamiento, los supuestos utilizados y los resultados de la evaluación.

4.1. Modelamiento

Se desarrolló un modelo de estimación de costos e ingresos en una planilla Excel adjunta al presente informe (Proyección Buses AGIES 2015 FINAL.xlsx), en la cual, a partir del parque actual de buses de la locomoción colectiva urbana a nivel nacional y rural para la Región Metropolitana, se realizaron las proyecciones del parque, y se determinaron las renovaciones correspondientes de acuerdo a la normativa, y los gastos a realizar para poder cumplir con las normas, en un escenario con la norma actual (sin modificación) y en un escenario con la modificación.

En la planilla hay tres hojas en donde se realizan los cálculos con las modificaciones (Urbano_Regiones, Urbano_RM y Rural_RM), y una hoja en donde se especifican los parámetros y se despliegan los resultados (Evaluación).

4.2. Supuestos utilizados

Para las estimaciones se consideraron los siguientes supuestos:

- Tasas de deterioro constante para buses livianos, medianos y pesados (de acuerdo a lo presentado en el punto 2 del presente informe), esto es:

	Liviano	Mediano	Pesado
Escape	0,170	0,220	0,270
Motor	0,240	0,225	0,210
Interior	0,270	0,310	0,350



- Se usaron datos sobre tecnologías de reducción, tanto a nivel de escape, motor e interior, de acuerdo a lo desarrollado en el punto 3.1 del presente documento, esto es:

Ámbito	Tecnología	Δ reducción (dbA)
Escape	Silenciador	-10
Motor	Celosía	-12
Interior	Aislamiento de piso	-8

Los costos considerados fueron los siguientes:

Silenciador Escape

Precio	\$ 122.000
Instalación	\$ 43.500
Valor Total	\$ 165.500

Celosía Motor

Precio (\$)	\$ 520.000
Instalación \$)	\$ 260.000
Valor Total (\$)	\$ 780.000

Aislamiento Piso Interior

Precio (\$)	\$ 60.000
Instalación \$)	\$ 30.000
Valor Total (\$)	\$ 90.000

- Se usó además un tipo de cambio promedio de \$700/USD, y una tasa de descuento de un 8%.
- Con respecto a los ingresos, de manera de valorar los beneficios de la implementación de la norma, se procedió a estimar los beneficios sociales que su aplicación tendría en las ciudades analizadas. Ello consideró estimar las reducciones en decibeles experimentadas



por cada máquina y su repercusión tanto en el interior de cada bus, y su efecto en las personas que trabajan en oficinas y residencias.

Esto impuso asumir una serie de supuesto que se detallan más adelante, pero que posibilita realizar una aproximación en relación a cuales serían los beneficios cuantificados dada la implementación de una nueva regulación, en relación a la existente.

En primer lugar, se utilizó la valoración social reportada por Galilea y Ortúzar (2005) en el sentido de asignar una valoración de la población de casi US\$36 por decibel reducido al año. Usando el hecho de que casi el 30% del ruido es generado por el transporte público, el dato utilizado en las estimaciones fue de US\$12 por decible reducido al año.

Luego, la estimación se realizó a nivel de máquina, y su impacto en el interior, oficinas y residencias quedó determinada por la siguiente expresión:

$$L_{eq_diario_i} = 10 * \log\left(\frac{1}{24} \left(10^{\frac{L_{interior_i}}{10}} * t_{bus_i} + 10^{\frac{L_{oficina_i}}{10}} * t_{oficina_i} + 10^{\frac{L_{residencia_i}}{10}} * t_{residencia_i} \right)\right)$$

Esto expresa el nivel promedio de ruido al que se expone diariamente una persona dado el ruido que genera la máquina i , por lo cual se replicó en toda la data disponible, tanto en regiones como en Santiago. Se asume que los tiempos de estadía en el interior del bus son 2 horas, en la oficina 8 horas y en la residencia 14 horas. Los tiempos de desplazamiento se asumen como parte del traslado en bus.

- En cuanto a los niveles de ruido registrados tanto en la oficina como en la residencia, se asumió que el ruido generado a nivel de escape por el bus se difunde hacia esos espacios a través de la siguiente expresión:

$$L_{oficina_i} = L_{escape_i} - 20 * \log\left(\frac{r_1}{r}\right) - AT$$



$$L_{residencia_i} = L_{escape_i} - 20 * \log\left(\frac{r_2}{r_1}\right) - AT$$

Donde r_1 , y r_2 son las distancias desde cada sitio a la fuente móvil, AT es la atenuación propia del edificio, ya sea oficina o residencia. Debe notarse que de todas maneras, en la evaluación dicha atenuación se cancela dado que es un valor constante. Así mismo, se asume que la dispersión afecta mayormente a las residencias y oficinas ubicadas en la primera línea de la vereda, por lo cual son los términos más relevantes en la estimación.

- Luego, para cada máquina se estimó su nivel de ruido promedio, tanto en el estado con norma actual, como el caso de la nueva normativa. La diferencia en cada caso expresaría el nivel promedio.

4.3. Resultados

Los resultados de la evaluación arrojan un beneficio positivo de la modificación de la norma, con un VAN de USD\$88 millones en un horizonte de evaluación al año 2025.

4.3.1. Reducción de emisiones del parque

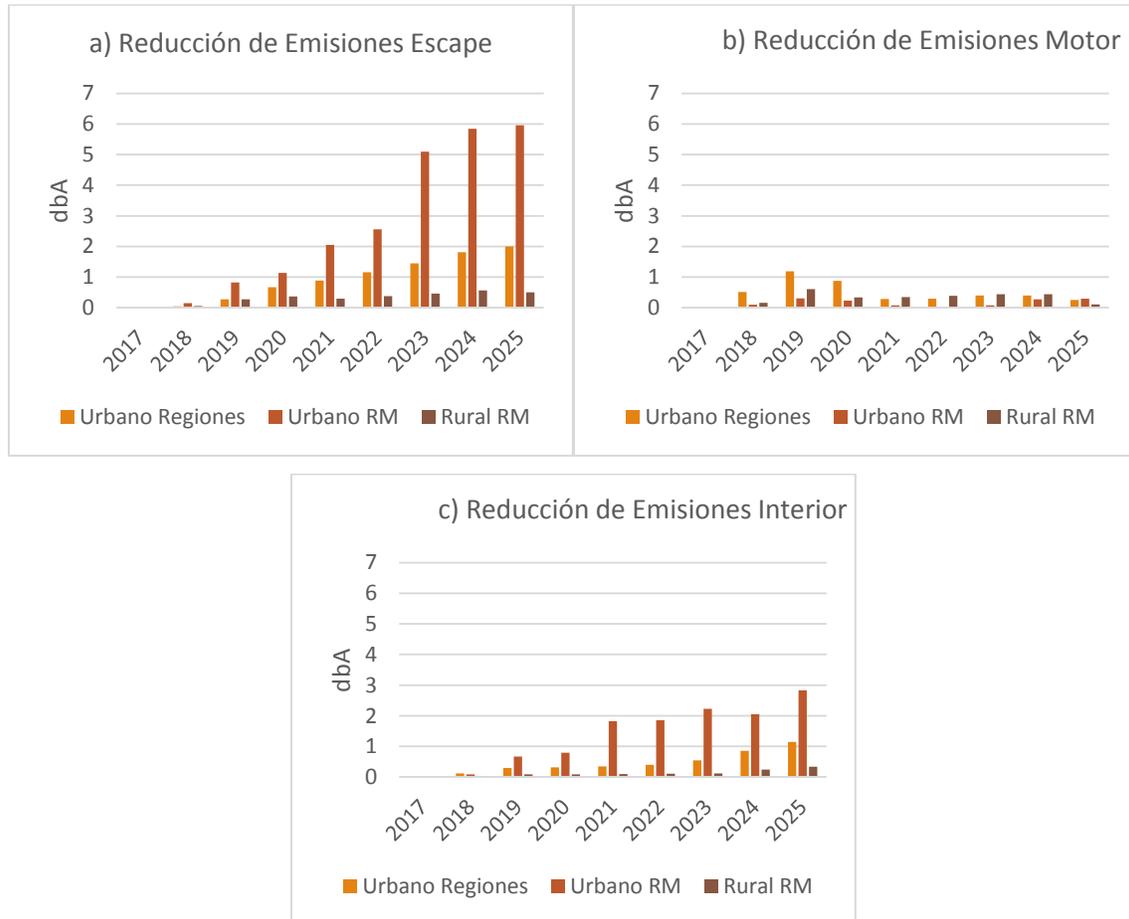
Se determinaron en primer lugar las reducciones de emisiones del parque asociadas a la modificación de la norma. Para la estimación del promedio de emisiones, del año en que se realizó la medición, se utilizó el promedio logarítmico, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\overline{L_p} = 10 * \log\left(\frac{10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pN}}{10}}}{N}\right)$$

Donde $\overline{L_p}$ es el promedio de presión sonora de varias fuentes, L_{p1} es el nivel de presión sonora de la fuente 1, L_{p2} es el nivel de presión sonora de la fuente 2, y así sucesivamente hasta la fuente N . Los resultados fueron los siguientes:



Gráfico 7. Reducción promedio de emisiones del parque (unitarias)



Fuente: Elaboración propia

Tal como se puede apreciar, las reducciones más importantes son a nivel de escape, principalmente en la locomoción colectiva urbana de la Región Metropolitana, en donde se alcanzará una reducción promedio de casi 6 dbA por máquina en promedio el año 2025. Por su parte, las reducciones en interior alcanzarían casi 3 dbA promedio por bus el mismo año en este tipo de buses, estando a nivel de motor las menores reducciones.



4.3.2. Beneficios de la modificación de la norma

Los ingresos asociados a la modificación de la norma se presentan a continuación:

	Lpr sin norma	Lpr con norma
	93,5	91,5
distancia	10	5
Lw	73,5	79,5
Lh	71,5	77,5

Esto expresa los niveles de ruido promedio experimentados en residencia y oficina, dado el nivel de escape con norma, y sin ella.

	L _{bus}	L _{work}	L _{home}
Sin modificación de la norma	85	73,5	79,5
Con modificación de la norma	82	71,5	77,5
L _{eq sin norma}	316.227.766	22.387.211	89.548.846
L _{eq con norma}	158.489.319	14.125.375	56.501.502
t _{eq} (tiempo de exposición)	2	8	14
Producto (sin modif. norma)	632.455.532	179.097.691	1.253.683.838
Producto (con modif. norma)	316.978.638	113.003.004	791.021.025
L _{eqdiario(sin norma)}	3,881		
L _{eqdiario (con norma)}	3,786		
Diferencia	0,095		
Beneficio (USD/año)	14.494.084		
Beneficio (\$/año)	10.145.859.064		

De esta manera, el beneficio anual dada la implementación de la nueva norma, ascendería a los 14,5 millones de dólares, bajo los supuestos adoptados.



4.3.3. Costos de la modificación de la norma

Los costos asociados a la modificación de la norma se presentan a continuación:

Urbano Regiones

Con modif. norma	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Costo silenciadores	30.452.000	8.275.000	61.400.500	90.528.500	31.114.000	43.692.000	53.456.500	71.661.500	38.561.500
Costo celosías	201.240.000	266.760.000	318.240.000	-184.860.000	-280.020.000	7.020.000	46.020.000	-10.140.000	-62.400.000
Costo aislamiento piso	19.440.000	27.000.000	35.820.000	990.000	1.620.000	4.500.000	16.650.000	35.190.000	38.790.000

Urbano RM

Con modif. norma	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Costo silenciadores	209.026.500	33.762.000	132.565.500	41.375.000	175.926.500	30.948.500	88.873.500	34.755.000	74.309.500
Costo celosías	41.340.000	58.500.000	128.700.000	-56.940.000	-91.260.000	-39.000.000	49.140.000	127.140.000	5.460.000
Costo aislamiento piso	5.040.000	8.820.000	43.020.000	9.180.000	89.820.000	-270.000	19.440.000	-11.340.000	25.560.000

Rural RM

Con modif. norma	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Costo silenciadores	4.137.500	1.655.000	7.613.000	5.627.000	2.979.000	3.310.000	3.806.500	4.634.000	-827.500
Costo celosías	20.280.000	15.600.000	37.440.000	-25.740.000	3.120.000	3.900.000	4.680.000	0	-29.640.000
Costo aislamiento piso	1.170.000	900.000	2.250.000	0	0	90.000	180.000	3.060.000	2.880.000

Total Costos

Con modif. norma	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Costo silenciadores	243.616.000	43.692.000	201.579.000	137.530.500	210.019.500	77.950.500	146.136.500	111.050.500	112.043.500
Costo celosías	262.860.000	340.860.000	484.380.000	-267.540.000	-368.160.000	-28.080.000	99.840.000	117.000.000	-86.580.000
Costo aislamiento piso	25.650.000	36.720.000	81.090.000	10.170.000	91.440.000	4.320.000	36.270.000	26.910.000	67.230.000
TOTAL COSTOS	532.126.000	421.272.000	767.049.000	-119.839.500	-66.700.500	54.190.500	282.246.500	254.960.500	92.693.500

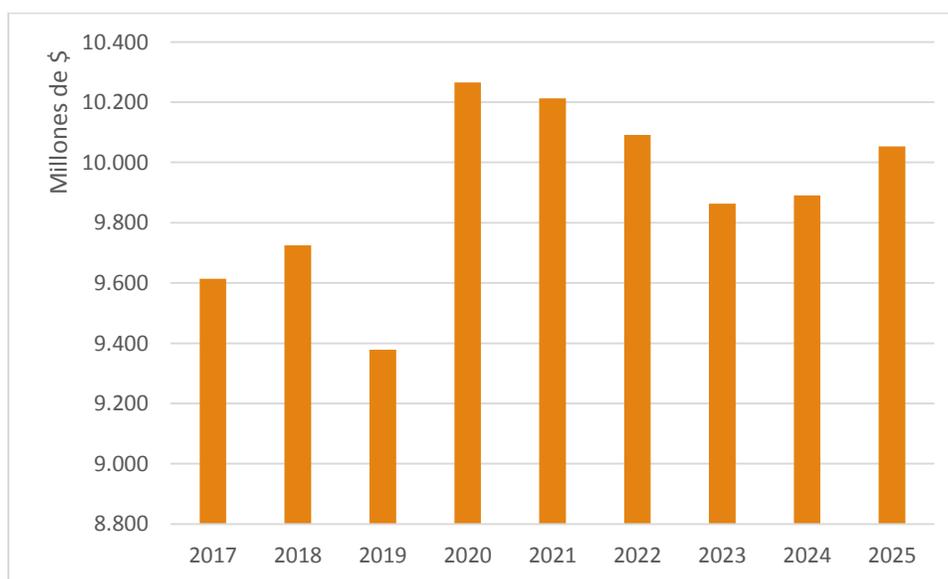


En total, los costos totales asociados a silenciadores del escape son de \$1.283,6 millones, mientras que los asociados a celosías de motor ascienden a casi \$555 millones. Los costos para aislamiento de interior por su parte suman casi \$380 millones.

4.3.4. Beneficios de la modificación de la norma

Tal como se desprende de los resultados presentados, los ingresos asociados a la modificación de la norma son sustancialmente mayores a sus costos, por lo que el VAN de la evaluación es positivo. El flujo de beneficios y el VAN es el siguiente:

Gráfico 8. Flujo de beneficios de la modificación de la norma



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el VAN es el siguiente:

VAN (\$)	61.667.780.477
VAN (USD)	88.096.829



**“Generación de Antecedentes para el AGIES del Anteproyecto de Revisión
de la Norma de Emisión de Ruido para Buses de Locomoción
Colectiva Urbana y Rural”
ID 608897-56-LE15**

Informe Final
