



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION NACIONAL  
DEL MEDIO AMBIENTE

UNIDAD DE ECONOMÍA AMBIENTAL

ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL  
ANTEPROYECTO DE NORMA DE EMISIÓN DE RUIDO PARA BUSES  
QUE PRESENTAN SERVICIOS DE LOCOMOCIÓN COLECTIVA URBANA Y RURAL

Octubre de 2000

Este informe fue elaborado por la Unidad de Economía Ambiental (UEA) de CONAMA. Los autores fueron los Sres. Matías Zañartu y Juan Ladrón de Guevara. El primero es consultor de la UEA contratado a través del contrato N° 21-22-003/00, el segundo es el profesional responsable de la UEA en la elaboración de los Análisis General del Impacto Económico y Social de Planes y Normas. Cualquier consulta o sugerencia dirigirla a Juan Ladrón de Guevara, fono (56-2) 2405690 o al correo electrónico [jladron@conama.cl](mailto:jladron@conama.cl). Además colaboraron en la generación de información y elaboración del documento el Sr. Eugenio Collados y la Sra. Flavia Maldini. La responsabilidad de lo señalado en el texto es exclusiva de los autores.

## INDICE

	Página
1. Introducción, metodología general y objetivos	1
2. Situación base actual y futura del ruido generado por buses de locomoción colectiva en la RM	3
3. Descripción del anteproyecto desde un punto de vista de los impactos	10
4. Análisis técnico del anteproyecto respecto de su operatividad	11
5. Descripción de los impactos del anteproyecto	16
6. Evaluación de los costos directos del anteproyecto	28
7. Evaluación de los beneficios directos atribuibles a la norma	35
8. Análisis de costos y beneficios y análisis general de los efectos de la regulación	45
9. Conclusiones y recomendaciones	48
10. Bibliografía	50
11. Anexo 1	51
12. Anexo 2	54
13. Anexo 3	55

## 1. INTRODUCCIÓN, METODOLOGÍA GENERAL Y OBJETIVOS

El presente informe corresponde al análisis del impacto económico y social del anteproyecto de norma de emisión de ruido de buses que prestan servicios de locomoción colectiva urbana y rural (en adelante el anteproyecto de norma o norma). Este documento se elabora para dar cumplimiento a los señalado en el D.S. 93/95 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece el procedimiento para elaborar normas de calidad ambiental y de emisión.

El objetivo del informe es identificar y cuantificar los impactos que pudieran producirse con la implementación del anteproyecto, en el sector regulado por esta norma, el Estado como responsable de la fiscalización y la población que percibe el ruido generado por los buses de locomoción colectiva urbana y rural.

El informe se concentra casi exclusivamente en la Región Metropolitana (RM). Esto se debió a la imposibilidad de conseguir información detallada de las características del parque de buses en el resto del país. El análisis que se desarrolla entre los capítulos 2 y 8 se refiere a la RM. En la última parte, y a partir de las conclusiones obtenidas en la RM se analiza el probable efecto del anteproyecto en el resto del país.

### Metodología General

La metodología general de trabajo fue el análisis costo beneficio de regulaciones ambientales, propuesta por el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile en 1996 y aplicada por CONAMA desde ese mismo año para la evaluación de los planes y las normas ambientales.

Se trabajó en un horizonte de evaluación de quince años, de manera de analizar el efecto del anteproyecto cuando esté en plena aplicación en la Región Metropolitana, esto es cuando el 100% del parque sean buses que cumplieron con la máxima exigencia establecida.

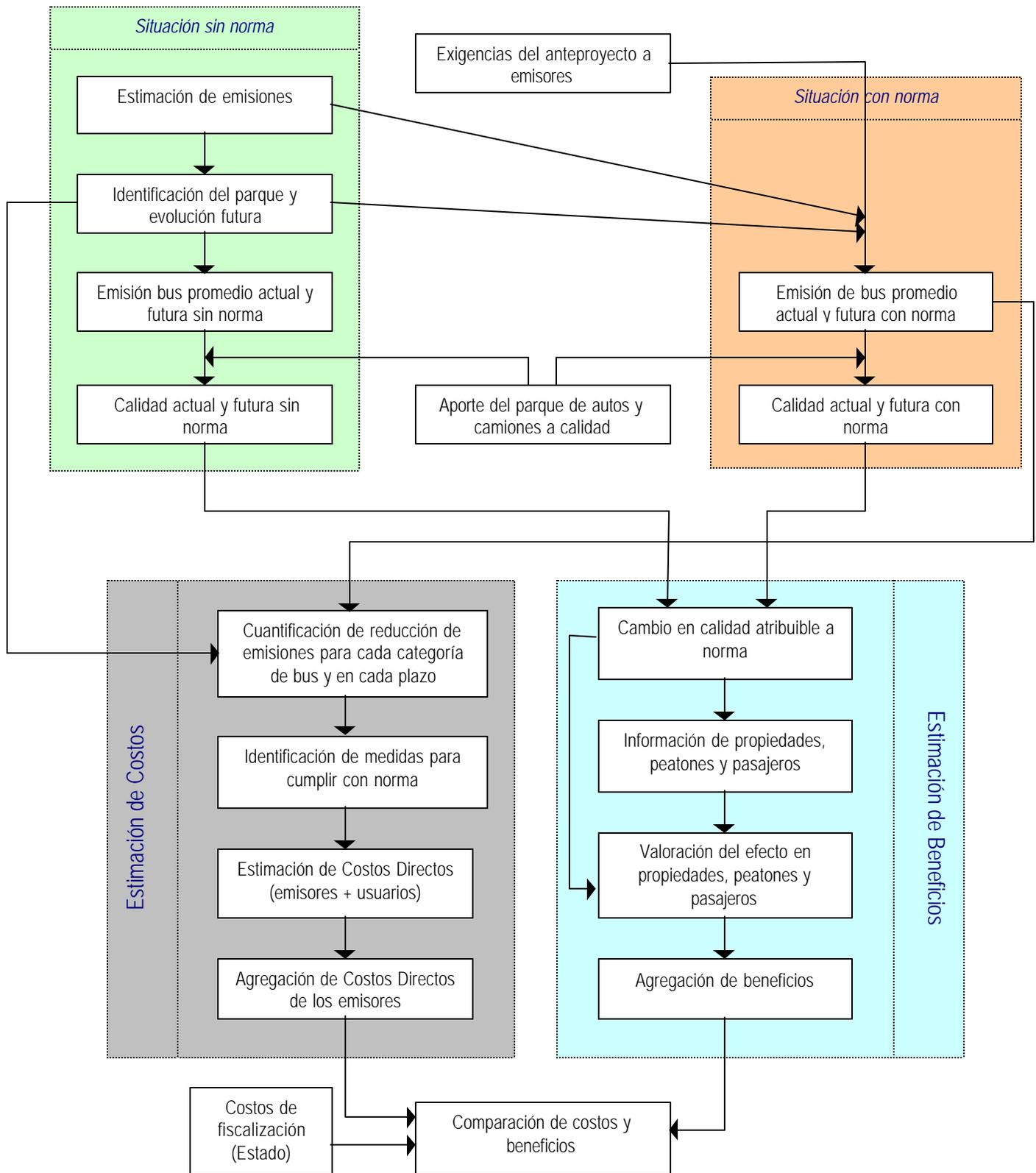
La metodología general de costo beneficio se aplicó a este caso de la forma que se señala en el diagrama de la página siguiente. Como se ve, se establecen los escenarios sin norma y con norma para luego identificar los impactos (cambios en emisión y en calidad) y proceder a evaluar costos y beneficios.

Cada capítulo corresponde a una etapa de la evaluación. Al inicio de cada uno de los capítulos que realizan análisis se describirá el marco conceptual y las metodologías específicas aplicadas para completar dicha etapa. Es importante tener claro el enfoque del informe, dado por el marco conceptual y la metodología, para entender por qué se analizan tales impactos, tener una clara idea de que se está cuantificando y valorando y, finalmente, poder interpretar correctamente los resultados.

Además del análisis de costos y beneficios, el documento entrega un capítulo de comentarios técnicos al anteproyecto (capítulo 5), orientados a sugerir modificaciones que mejoren la aplicabilidad y efectividad de la futura norma.

A lo largo del documento se van comentando las implicancias de la regulación de manera de enriquecer y dimensionar adecuadamente la estimación cuantitativa del impacto. En general, la cuantificación y valoración consideran partes del verdadero impacto esperado, siendo aún más justificada esta complementación.

**Diagrama 1:**  
Secuencia analítica de la evaluación de costos y beneficios



## 2. SITUACIÓN BASE ACTUAL Y FUTURA DEL RUIDO GENERADO POR BUSES DE LOCOMOCIÓN COLECTIVA URBANA Y RURAL EN LA RM.

### 2.1. Sobre el Servicio de Locomoción Colectiva

El presente capítulo describe la situación de los servicios de locomoción colectiva urbana y rural de la Región Metropolitana. La información se obtuvo de diversas fuentes, entre ellas Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (en adelante también MTT), Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte de MIDEPLAN (SECTRA), Secretaría Regional Ministerial de Transporte y Telecomunicaciones de la Región Metropolitana (SEREMITT RM), el *Estudio y generación de antecedentes para la modificación del DS122* realizado por Ambiente Consultores para CONAMA (en adelante Ambiente Consultores 1999) y el Estudio base de generación de niveles de ruido en Santiago elaborado por la USACH para la Intendencia Regional en 1989 (En adelante Estudio USACH 1989).

#### 2.1.1. Composición actual del parque y criterio de renovación

##### Buses urbanos

El parque de buses urbanos en la Región Metropolitana en el año 2000 es de 8.394 unidades (SEREMITT RM, 2000). Este parque incluye los buses de la provincia de Santiago, más las comunas de San Bernardo y Puente Alto. Una parte importante de este parque (7.760) corresponde a los buses licitados, que se renuevan de acuerdo con las disposiciones establecidas por el MTT en la licitación para la prestación de servicios de transporte público remunerado de pasajeros mediante buses en las vías de Santiago. En la sección 2.4 de la licitación vigente (1998) se señala que los buses licitados que circulan no deben tener una antigüedad mayor a 10 años (expandible a 12 si demuestra cumplimiento de estándares de emisiones gaseosas) para buses de tecnología tradicional y de 12 años (expandible a 14 bajo el mismo criterio anterior) para los de tecnología no contaminante (contaminantes gaseosos).

Además son licitados, pero en un proceso de licitación diferente al anterior, los metrobus urbanos que corresponden a 451 taxibuses.

Para el caso de los buses urbanos no licitados (151 en circulación), la antigüedad permitida para circular es de 12 años, según lo establece la Resolución Exenta N° 19 de 1999. Además existen 63 expresos licitados que tienen los mismo criterios de renovación.

##### Buses rurales

Para el caso del parque de buses rurales (1.286 en circulación) la antigüedad máxima queda definida en 23 años, pudiendo incorporarse a este parque los buses urbanos que ya no puedan circular dentro de los límites definidos por la licitación, por el periodo de tiempo restante que esta categoría permite. Existen además 60 metrobus rurales y 250 periféricos rurales que se rigen de la misma forma.

En definitiva, el total el parque de buses que circulan dentro de la región, tanto rurales como urbanos y en todas las categorías señaladas es de 10.021.

## 2.1.2. Proyección del parque actual próximos quince años

Para efectos de la evaluación, se supone que la misma cantidad de buses que salen producto de la antigüedad máxima señalada en el punto anterior será la misma que ingresa. En el caso de los licitados el ingreso será de acuerdo con las características definidas en la última licitación de buses urbanos vigentes (1998). En esta licitación se señala que el tipo de bus nuevo en el parque debe ser compatible con lo establecido en el D.S. N° 82-93 del MTT, que reconoce las normas ECO2 o EURO94. En buses medianos y pesados estos estándares sólo se cumplen con máquinas de motor trasero o intermedio. En los buses livianos, se permite el motor delantero.

En el año 2003 deberá ejecutarse una nueva licitación de recorridos que debiera elevar las exigencias en cuanto a calidad del bus y los niveles de emisión de contaminantes gaseosos. Estas exigencias aún no están definidas y no es posible predecirlas en este análisis.

### Descripción del escenario base proyectado

Dado lo anterior se construye un escenario futuro en el que las exigencias para los próximos quince años permiten buses con las características mínimas señaladas en la licitación de 1998. Esto puede ser considerado un escenario pesimista, ya que no reconoce que el parque irá evolucionando positivamente en cuanto a sus emisiones de ruido como consecuencia de la modernización de la flota.

Además se asume que no existen cambios significativos en las cantidades totales de buses y en los flujos para cada distrito de la ciudad a la hora de determinar el aporte de los buses a la calidad acústica de la ciudad.

Para efectos de analizar el problema del ruido y el cumplimiento de la normativa propuesta, lo relevante de las características del bus es el tamaño (bus o taxibus) y la ubicación del motor (trasero, intermedio o delantero). Por esta razón, los cuadros que se presentan en el informe hacen referencia a estas categorías. El escenario base proyectado (sin anteproyecto) arroja los resultados del cuadro siguiente.

**Cuadro 1:** Evolución de la composición del parque de buses y taxibuses urbanos de la RM período 2000 a 2015 según tipo (taxibus o bus) y ubicación del motor en los buses.

BUS SEGÚN TIPO Y UBICACIÓN DEL MOTOR	N° DE BUSES EN CADA AÑO					
	2000	2001	2003	2005	2008	2011 a 2015
Taxibuses actuales	574	553	464	401	193	0
Taxibus nuevos (i)	0	21	110	173	381	574
Bus/Delantero actuales	5341	5041	3588	1368	5	0
Bus/Trasero actuales	2157	2157	2157	2157	1251	0
Bus/Trasero nuevos (i)	0	255	1487	3349	5568	6958
Bus/Intermedio actuales	322	322	322	322	100	0
Bus/Intermedio nuevos (i)	0	45	266	624	896	862
<b>TOTALES</b>	<b>8394</b>	<b>8394</b>	<b>8394</b>	<b>8394</b>	<b>8394</b>	<b>8394</b>

Notas: Todos los taxibuses tienen motor delantero.

(i): La fila de taxibuses, buses traseros e intermedios **nuevos** se refiere a los que ingresarían a partir del año 2001, año en que, para efectos de evaluación, entraría en vigor la presente norma.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SEREMITT RM (2000).

### 2.1.3. Criterios para la fijación de tarifas

Otra información que es relevante para determinar los eventuales impactos en los precios del pasaje del servicio de locomoción colectiva, se refiere al criterio del MTT para la fijación de tarifas en los buses urbanos licitados. Este criterio está definido por un polinomio que incluye las variables económicas que afectan el costo de producir el servicio. Estas son el INVA, descriptor asociado al costo de un bus nuevo, el precio de los Neumáticos y el precio del Diesel. La obtención de los datos de estos indicadores económicos la genera el Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

Para los efectos de evaluación del Anteproyecto se considera relevante sólo el descriptor INVA que podría variar en el caso que la norma signifique aumento de costos en la adquisición de buses nuevos.

### 2.2. Emisión de Ruido

Ambiente Consultores (1999) estimó la emisión de ruido de buses a través de un método estático y de un método dinámico para diversos parámetros. El ensayo estático consistió en medir ruido a 160 buses en las plantas de revisión técnica de la RM. El dinámico se efectuó en el Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV) del MTT y en una calle que cumplía con las condiciones acústica para ensayos de esta naturaleza, y consideró una muestra total de 30 buses.

Los parámetros medidos en el ensayo estático fueron escape, motor e interior. Los parámetros medidos en el dinámico fueron interior y exterior. La metodología de medición fue la señalada en las normas ISO 362 y 5130, ambas equivalentes a las señaladas en el anteproyecto en evaluación para las pruebas dinámicas y estáticas respectivamente. Los antecedentes obtenidos en esta muestra se indican en el siguiente cuadro.

**Cuadro 2:** Promedio de emisión del parque actual de buses/taxibuses según ensayo dinámico y estático.

BUS SEGÚN TIPO Y UBICACIÓN DEL MOTOR	ENSAYO DINAMICO		ENSAYO ESTATICO		
	INTERIOR	LMAX	ESCAPE	MOTOR	INTERIOR
Motor Delantero	87.3	84.1	92.9	100.7	90.7
Motor Intermedio	83.0	83.4	95.8	98.8	84.8
Motor Trasero	84.9	84.3	100.7	98.6	87.7
Taxibuses	82.8	82.1	95.7	100.4	87.9

Notas:

LMAX: nivel de ruido exterior medido en el test dinámico.

Todos los valores están en dBA.

Fuente: Elaboración propia según antecedentes de Ambiente Consultores (1999)

Para el caso de los buses nuevos, se tiene estimaciones de emisión de ruido a partir de mediciones realizadas a los modelos que están ingresando al parque en el año 2000. Estos buses y taxibuses presentan los niveles de emisión señalados en el siguiente cuadro.

**Cuadro 3:** Promedio de emisiones buses/taxibuses nuevos en medición dinámica y estática.

BUS SEGÚN TIPO Y UBICACIÓN DEL MOTOR	ENSAYO DINAMICO		ENSAYO ESTATICO		
	INTERIOR	LMAX	ESCAPE	MOTOR	INTERIOR
Motor Intermedio	82.0	82.2	83.2	93.5	79.6
Motor Trasero	84.7	83.6	96.0	96.4	85.6
Taxibuses	80.5	79.9	84.8	96.2	80.8

Notas:

LMAX: nivel de ruido exterior medido en el test dinámico.

Todos los valores están en dBA.

No se considera el bus con motor delantero porque las bases de la licitación actual en la RM no permiten su ingreso.

Fuente: Ambiente Consultores (1999)

Para comparar las emisiones de los buses nuevos con los actuales, se compara preferentemente las diferencias en el ensayo dinámico. En el ensayo estático las diferencias son mayores producto del desajuste con el tiempo que sufre un dispositivo que regula la aceleración del motor llamado gobernador. Por lo tanto, no toda la diferencia es atribuible a una menor emisión.

Se puede concluir que, en general, todos los buses nuevos presentan una menor emisión interior y exterior, salvo los de motor trasero donde las diferencias son muy pequeñas respecto de los buses existentes.

Por último, se debe notar que las mediciones realizadas para estimar emisiones de ruido no se hicieron utilizando un criterio estadístico en orden de representar la emisión de todo el parque. No obstante, considerando que el tamaño de la muestra es relativamente grande para los modelos más comunes del parque de la RM, que el parque es relativamente homogéneo y que las variaciones en las mediciones de ruido dentro de un mismo modelo son menores, se considera que pueden representar la situación de la región en términos de ruido.

### 2.3. Concepto de bus tipo

Si los valores de emisión para buses y taxibuses actuales y nuevos de la tabla anterior se cruza con la composición y evolución futura del parque de la RM, podemos obtener la emisión de un bus promedio o tipo, que representará la emisión de ruido promedio del parque o la flota para esta región. El siguiente cuadro presenta la emisión del bus tipo para los próximos años, considerando los cambios de composición de la flota señalados en el cuadro 1.

**Cuadro 4:** Evolución de las emisiones de bus tipo para el ensayo dinámico y estático para cada año.

AÑO	ENSAYO DINAMICO		ENSAYO ESTATICO		
	INTERIOR	LMAX	ESCAPE	MOTOR	INTERIOR
2000	86.5	84.0	96.7	100.2	89.8
2001	86.4	84.0	95.3	99.8	89.6
2003	85.9	83.6	93.2	99.4	88.9
2005	85.0	83.4	94.1	98.2	87.3
2008	84.3	83.2	94.9	96.8	85.6
2011	84.3	83.3	95.2	96.2	85.0
2015	84.3	83.3	95.2	96.2	85.0

Notas:

LMAX: nivel de ruido exterior medido en el test dinámico.

Todos los valores están en dBA.

Fuente: Elaboración propia en base a Ambiente Consultores (1999)

Como se observa en la proyección de la emisión de ruido en ausencia del anteproyecto de norma, en todos los parámetros existe una clara tendencia a la reducción de emisiones de ruido en el total del parque de buses/taxibuses, independiente del anteproyecto de norma de emisión de ruido. Esto se explica por la existencia de la licitación, los criterios de renovación incluidos que apuntan a buses de mejor estándar y la constatación de que los buses que entran son de mejor calidad en términos acústicos que los que salen.

#### 2.4. Parque vehicular actual y futuro

Para modelar el efecto que tienen los buses/taxibuses en la calidad acústica de la ciudad, es necesario conocer el comportamiento de las otras fuentes que afectan dicha calidad. Las demás fuentes son los autos, camionetas, furgones, camiones y motos. Para hacer esta estimación se consideró solamente las proyecciones del parque de automóviles (autos particulares, taxis, furgones y camionetas) y camiones (camiones simples), dado que estos son los que ingresarán posteriormente a un modelo para simular el efecto en calidad.

**Cuadro 5:** Proyección del parque vehicular de la RM en el horizonte de evaluación.

AÑO	Automóviles (miles de unidades)	Buses (miles de unidades)	Camiones (miles de unidades)	Velocidad media* (km/h)
2000	807,01	13,86	33,12	25,85
2001	843,30	14,08	34,78	25,09
2003	915,86	13,99	38,09	24,71
2005	988,43	13,89	41,40	24,33
2008	1.097,28	13,75	46,37	23,77
2011	1.206,14	13,61	51,34	23,20
2015	1.351,27	13,41	57,96	22,45

\*: velocidad media en periodo punta

Fuente: Elaboración propia en base a INE (1998) y MOP (1995)

#### 2.5. Niveles de calidad acústica en la Región Metropolitana

Se actualizó el “Estudio base de generación de niveles de ruido en Santiago”, realizado por la USACH en 1989, de manera de identificar para la composición actual de buses/taxibuses el aporte que tienen sobre la calidad acústica de la ciudad. Para realizar esto se identificó los niveles de ruido medidos en el año 1989 y la fracción correspondiente a buses/taxibuses del parque existente en esa fecha. Luego se actualizó la composición del parque y sus respectivas emisiones de acuerdo al estudio de Ambiente Consultores (1999), y utilizando las mismas relaciones emisión calidad del estudio de 1989 se obtuvo la calidad actual atribuible a buses/taxibuses.

Una vez obtenido el aporte de los buses/taxibuses a la calidad acústica actual se proyectó la situación hasta el año 2015 de acuerdo con la metodología de bus tipo. El siguiente cuadro muestra la evolución del aporte de los buses/taxibuses a la calidad actual para los próximos quince años, expresados como “vehículos equivalente”. Por vehículo equivalente se entiende la cantidad de autos que emiten el mismo ruido que el bus percibido por el receptor. Se consideró que el nivel de emisión de un auto promedio (incluye camionetas, vehículos, taxis y van) es de 72,5 dBA para el ensayo dinámico (Rooke & Fuentes, 2000). Por lo tanto, si el bus es percibido como más ruidoso será equivalente a la percepción de ruido de un mayor número de vehículos.

En el caso del ruido emitido por camiones la emisión promedio estimada en esta proyección es de 83,3 dBA (Federal Transit Administration, 1995)

La idea de transformar la emisión del bus a vehículos equivalente tienen que ver con la necesidad de transformar la inmisión total (del bus, camiones y autos) en una sola unidad. Esto además tiene el supuesto que los niveles de ruido en la zona afectada depende solamente del flujo vehicular.

**Cuadro 6.** Evolución del aporte de ruido del parque de buses/taxibuses a la calidad acústica de Santiago en los próximos 15 años expresados como vehículos equivalente.

AÑO	VEHÍCULOS EQUIVALENTE
1989	11.9
2000	14.3
2001	14.0
2003	12.9
2005	12.3
2008	11.9
2011	11.9
2015	11.9

Fuente: Elaboración propia en base al estudio USACH (1989) y Ambiente Consultores (1999).

Como se observa el cuadro 6, la metodología empleada arroja que la calidad actual en comparación con la de 1989 es significativamente más mala. Esto se explicaría por la entrada al parque de buses con motor trasero como los que circulan actualmente en la ciudad, que son significativamente más ruidosos que los que reemplazaron, que en un gran porcentaje eran taxibuses.

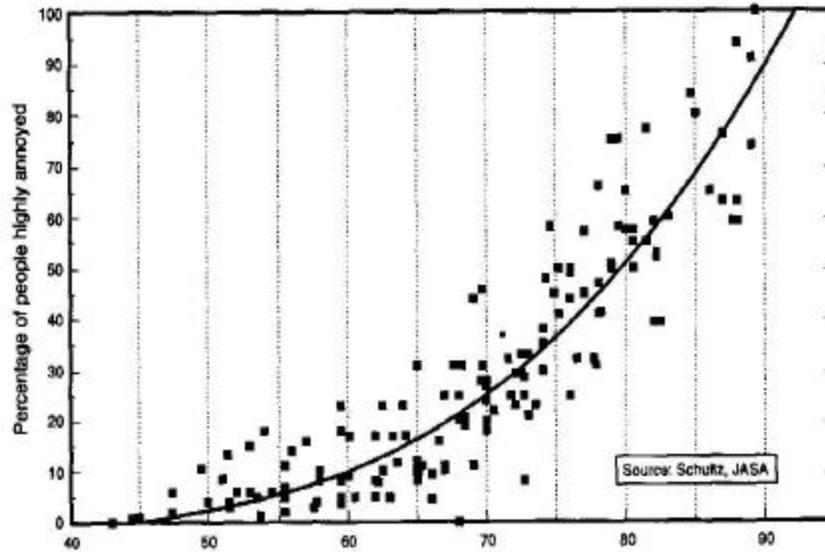
Hacia el año 2015 el aporte de los buses/taxibuses va decayendo como consecuencia de la renovación de la flota a buses por unos de menor emisión, que corresponde a los buses nuevos señalados en el cuadro 3.

El estudio de niveles de ruido de 1989 midió la calidad acústica en 1800 puntos repartidos en 180 distritos dentro de la zona urbana del gran Santiago. En base a las estimaciones presentadas de evolución del parque de buses/taxibuses y los criterios de evolución del parque de automóviles y camiones presentados anteriormente, es posible estimar como evolucionará la calidad acústica de Santiago considerando solo las fuentes móviles mencionadas anteriormente.

El aporte se expresa en términos energéticos porque es la manera mas clara de ver el aporte a la calidad acústica final. De esta manera es más clara la identificación de los agentes responsables.

El siguiente cuadro (Nº7) muestra la evolución de los aportes de los distintos componentes del parque vehicular y cuál es el nivel resultante percibido por las personas. Este nivel se expresa como *Leq día-noche* (Ldn) considerado el descriptor más adecuado para presentar la calidad acústica de una zona poblada. Es un nivel continuo equivalente de 24 horas corregido para el periodo nocturno, haciéndolo más sensible al ruido. Se calculó a partir de los niveles medidos en los perfiles de ruido del estudio de la USACH (1989) según los criterios establecidos por la *Federal Transit Administration* (1995). Además a partir de este descriptor se estima el porcentaje de población molesta según el criterio de Schultz (Fidell S., Barber D.S. y Schultz T.J., 1991). Este criterio corresponde a una curva que representa el porcentaje de población altamente molesta según niveles de ruido exteriores (expresados como Ldn) atribuibles al tráfico (ver figura 1).

**Figura 1:** Curva de población altamente molesta en función de Ldn.



Nota: Para más información sobre la relación de Schultz, ver anexo 3.

**Cuadro 7:** Evolución de los aportes de ruido (expresados como energía) a la calidad acústica de Santiago, nivel de ruido percibido por la población como consecuencia de la emisión de todo el parque vehicular (en Ldn) y grado de molestia resultante.

AÑO	Porcentaje de aportes de energía			Población	
	Buses	Camión	Auto	Ldn	Molestia
1989	45.7%	29.7%	24.6%	64.0	17.3%
2000	38.5%	32.7%	28.8%	64.9	18.5%
2001	37.4%	33.1%	29.5%	64.9	18.6%
2003	34.6%	34.1%	31.2%	64.8	18.4%
2005	32.6%	34.8%	32.6%	64.8	18.4%
2008	30.3%	35.5%	34.2%	64.9	18.6%
2011	28.6%	35.9%	35.5%	65.0	18.7%
2015	26.6%	36.2%	37.1%	65.0	18.8%

**Notas:**

- Ldn: Leq día noche estimado para todo el parque a partir de las mediciones existentes y aplicando factores de emisión para camiones y autos.
- Molestia según criterio de Schultz (ver figura 1 y anexo 3)

**Fuente:** Elaboración propia en base a USACH (1989) y Ambiente Consultores (1999)

Como se observa en el cuadro 7, existe una tendencia a mayores niveles de ruido a nivel de población y, consecuentemente, un mayor porcentaje de gente altamente molesta. Esto se explica por el aumento del parque de vehículos livianos y camiones en cantidad. El aporte de los buses cae en ausencia de la presente regulación, fundamentalmente por la constatación de entrada de modelos con un mejor estándar en términos acústicos al parque de la RM en el último año.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL ANTEPROYECTO DESDE UN PUNTO DE VISTA DE LOS IMPACTOS

La presente norma se inició como una revisión de la norma de emisión de ruido contenida en el artículo N°3 del D.S. 122/91 del MTT, que establece los niveles externos e internos que deben cumplir los vehículos de locomoción colectiva. Esta regulación posee vacíos que requieren completarse, así como otras materias que ameritan perfeccionarse para hacerla operativa y eficaz en el logro del objetivo de protección de la comunidad.

La inexistencia en el citado decreto de la forma y el momento de control de los niveles sugeridos, la metodología de medición y las unidades o parámetros en que están expresados los valores límites, impide en la práctica aplicar esta regulación. Esto permite suponer que en ausencia del presente anteproyecto los emisores no considerarán el ruido como una variable en la adquisición y operación de los buses y taxibuses en todo el país, y los organismos fiscalizadores no tienen herramientas que permiten exigir lo señalado en el decreto.

El anteproyecto sometido a análisis corrige, en primer lugar, las deficiencias identificadas en el DS 122/91 de manera de hacerlo operativo. Además establece niveles de emisión exigibles a buses nuevos que ingresan al parque como a los en circulación en la actualidad y en futuro. Esto se hace operativo a través del proceso de homologación de vehículos nuevos y en cada revisión técnica respectivamente, esto último durante toda la vida útil de la máquina.

Para efectos de evaluación económica lo relevante del anteproyecto tiene que ver con lo siguiente:

- a) La eficacia, esto es si efectivamente será operativa y si la forma de fiscalización garantiza el cumplimiento de los niveles propuestos;
- b) Los niveles de emisión que se exigirán, los plazos de estos y a quiénes afecta;
- c) Las exigencias y los procedimientos definidos para los fiscalizadores de la norma.

Por el tipo de norma, es necesario señalar que el efecto en la calidad acústica percibida por la población en general, no es determinado directamente por el anteproyecto sino indirectamente a través de las respuestas del emisor inducidas por las exigencias de la norma. Además depende de los procedimientos establecidos para garantizar la fiscalización de tales exigencias y la evolución de la emisión de ruido de las demás fuentes no normadas y que afectan de igual modo la calidad.

- a) Eficacia del anteproyecto

En general la estructura del anteproyecto busca establecer la totalidad de componentes necesarios para una adecuada operatividad. El documento hace explícito las debilidades identificadas en el DS 122 que le dio origen. En el capítulo 5 se analizarán aspectos que tienen efectos sobre la eficacia del anteproyecto y formas propuestas para su corrección.

- b) Niveles exigidos, plazos, límites geográficos y grupo afectado

El artículo tercero del anteproyecto establece los niveles máximos permitidos, tanto para los buses/taxibuses actuales o existentes, que hayan solicitado su inscripción en el Registro Nacional de Servicios de Transporte de Pasajeros antes de la entrada en vigencia de la norma, como para los buses o taxibuses que ingresen al Registro con posterioridad a la entrada en vigencia de la norma.

Estas exigencias cambian gradualmente con el tiempo; en el caso de los buses actuales se establecen dos plazos y en caso de los nuevos tres. En el caso de los buses en circulación (actuales y los nuevos una vez que hayan ingresado) la norma se les aplica a través de mediciones de ruido de escape en las revisiones técnicas o en la ruta. En el caso de los buses que ingresan al parque, un ejemplar de dicho modelo es sometido a test dinámicos (ruido interior y exterior) y estáticos (escape, motor e interior) y verificado el cumplimiento de la norma en cada uno de tales parámetros.

c) Competencias y procedimientos de fiscalización definidas en el anteproyecto

El organismo responsable de la verificación del cumplimiento de las normas señaladas serán de responsabilidad del MTT. Las verificaciones de los valores estáticos se delegarán a las plantas de Revisión Técnica autorizadas en cada oportunidad que el bus llegue a este sitio (dos veces al año en la RM). También los podrá verificar directa y permanentemente el MTT a través de los controles que realiza en la vía pública, durante toda la vida útil del bus/taxibus. Las mediciones dinámicas realizadas al ingreso de los modelos nuevos son responsabilidad directa del MTT.

#### 4. ANÁLISIS TÉCNICO DEL ANTEPROYECTO RESPECTO DE SU OPERATIVIDAD

##### 4.1 Buses actuales en circulación

##### 4.1.1. Número de límites de emisión para el ruido de escape

Es posible notar en las tablas de emisiones presentadas anteriormente que los niveles de escape (observados en el test estático) son menores que los niveles de ruido del motor (salvo en los buses de motor trasero, cuya situación se comentará más adelante), destacando el hecho que el motor corresponde a la fuente principal.

Para los buses actuales en circulación, el anteproyecto establece límites para el escape con el objetivo aparente de evitar casos de escapes defectuosos que pasarán a ser la fuente principal. El anteproyecto presenta dos etapas de fijación de límites para esta fuente (posición del escape). La segunda etapa dificulta la aplicación de la norma ya que genera un gran porcentaje de rechazo.. Los rechazos estimados para estas dos etapas de fijación de límites se muestra en el cuadro 8.

**Cuadro 8:** Estimación de rechazo en la posición del escape para los distintos tipos de buses.

	1ª ETAPA	2ª ETAPA	TOTAL
Motor Delantero	9%	5%	14%
Motor Intermedio	29%	18%	47%
Motor Trasero	58%	26%	84%
Taxibuses	24%	42%	66%

Fuente: Elaboración propia en base a Ambiente consultores (1999)

El cuadro muestra el impacto de las dos etapas de fijación de límites y el impacto total. Este alto rechazo se puede corregir simplificando el procedimiento con la idea de detectar escapes defectuosos mediante un único límite máximo permitido. De esta forma una reducción en la emisión de ruido del escape, tendrá sentido para aquellos buses que tengan claramente sus silenciadores defectuosos. En estos casos se podrán obtener

beneficios ambientales, sin embargo estos beneficios no podrán ser mayores ya que la emisión de ruido en el escape se verá finalmente enmascarada por los niveles del motor, haciendo que la emisión total de ruido no varíe significativamente.

#### 4.1.2. Procedimiento de medición

En la actual metodología para el test estático se detectó un problema al momento de tomar las muestras dado por las condiciones de operación del bus al ser acelerado a fondo. La condición de aceleración máxima está controlada por el gobernador, que es un dispositivo que se desajusta de manera irregular con el tiempo y cuyo desajuste no es motivo de rechazo en la revisión técnica.

Esto genera problemas en la constatación de cumplimiento de la norma, ya que dos buses iguales a aceleración máxima pueden emitir niveles de ruido diferentes producto del desajuste del gobernador. **Sin embargo esto no tendrá relación con los niveles que emita en condiciones normales de circulación ni con el hecho que tenga su silenciador de escape defectuoso.**

Esto también significa que el procedimiento establecido en el anteproyecto le permitiría al emisor ajustar el gobernador, disminuyendo la velocidad de giro del motor, y reducir la emisión de ruido máxima del bus para efectos de revisión técnica, que es la relevante para efectos de la norma. Todo esto implica que la metodología del test estático actual no es efectiva y debe ser perfeccionada.

Se puede corregir el problema del error en la medición por sobreaceleración del motor producto del gobernador, utilizando la misma metodología que establece el anteproyecto y fijando adicionalmente un procedimiento de calibración del gobernador. Esto permitirá evitar el rechazo sesgado para el escape por excesiva aceleración del motor.

Para hacer más efectivo el procedimiento que incluiría la calibración del gobernador, se recomienda no sobrecargar la exigencia en la fuente secundaria fijando sólo el primer límite de rechazo de escape.

El siguiente cuadro muestra una simulación del rechazo considerando la propuesta de eliminación del segundo límite y la propuesta de calibración del gobernador.

**Cuadro 9.** Estimación de rechazo en la posición del escape para los distintos tipos de buses con un control definido sobre el gobernador.

TIPO DE BUS/TAXIBUS	UN SOLO LÍMITE
Delantero	5%
Intermedio	17%
Trasero	38%
Taxibus	13%

Nota: Se proyectó un solo límite de 100 dBA para todas las categorías de buses

Fuente: Elaboración propia en base a Ambiente consultores (1999)

El problema de incluir la calibración del gobernador es la necesidad de incluir de un nuevo instrumental externo en la revisión técnica que haría más lento, engorroso y costoso el procedimiento de medición. La solución podría estar en hacer exigible que el bus tenga su tacómetro en buenas condiciones, incluyendo en el anteproyecto un procedimiento de calibración de éste. Esto junto con una base de datos sobre los tipos buses, permitiría realizar la calibración del gobernador.

Si lo anterior no es posible, es decir, si se debe incluir para la calibración del gobernador un instrumental externo, se podrá también rediseñar el procedimiento de medición. Esto se puede lograr fijando una metodología y límites adecuados para una velocidad de giro de motor a  $\frac{3}{4}$  de la RPM en la cual se obtiene la máxima potencia del motor. La medición de los niveles en esta velocidad son más precisos, pero requerirá de fijación de nuevos límites.

Como una última alternativa, se puede generar un método para detectar escapes fallidos a partir de la diferencia de los niveles de escape y motor, lo que elimina el sesgo natural del procedimiento actual establecido en el anteproyecto, ya que no se ve afectada por el grado de aceleración del motor y su cumplimiento resulta más certero y realista, sin embargo requiere de una medición en la posición del motor al mismo tiempo, lo que implica necesariamente tener dos instrumentos en cada planta de revisión.

#### 4.1.3 Niveles interiores

Por otro lado, la norma sugiere no evaluar la calidad al interior de los buses actuales en circulación, pero si en los buses nuevos. Resulta interesante replantearse esta situación ya que es factible algún grado de control de ruido en el interior de buses en circulación, pudiendo por lo tanto, incluirse también en el anteproyecto actual. Esto se refiere a conservar en buen estado el piso del bus o hacer algunos tratamientos a éste (sellado o aislación desde el compartimento del motor).

Resulta interesante notar del cuadro 10 que no existe una relación definida entre los niveles interiores y un escape en buenas o malas condiciones, lo que refleja lo secundario del ruido de escape en la calidad acústica interior. De esta manera, en el anteproyecto la sola regulación del escape en los buses existentes no beneficiará mayormente a los pasajeros.

#### 4.1.4 Ruido de Fondo en las mediciones estáticas

El actual procedimiento define ruido de fondo como aquel ruido que prevalece en ausencia del ruido generado por el vehículo a ensayar, medido de acuerdo al D.S. N°146 de 1997, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Este procedimiento no es compatible con los tiempos de medición asociados a cada bus, ya que la medición del test completo toma aproximadamente 5 minutos y la medición del ruido de fondo requiere entre 10 y 30 minutos, lo cual resulta inaplicable. Por otro lado para realizar esta medición del ruido de fondo se requiere un instrumental distinto (sonómetro integrador) del que se utiliza en las pruebas estáticas.

Se propone variar el método de medición de ruido de fondo por un método más simple y de inspección instantánea, usando el mismo equipo (sonómetro con retención de máximo) para muestrear el ruido de fondo. Esto podría realizarse tomando muestras de niveles máximos durante 1 minuto, antes y después de la serie de mediciones estáticas. Esta será una inspección del ruido de fondo que cumplirá con el objetivo de certificar que en el momento en que se realizaron las mediciones no habían otras fuentes importantes.

Se recomienda además incluir en el texto del anteproyecto la obligación de repetir alguna muestra que haya sido tomada en presencia de algún ruido ocasional (y definir ruido ocasional como aquel ruido que genera una fuente emisora de ruido distinta de aquella que se va a medir, y que no es habitual en el ruido de fondo).

## 4.2 Buses Nuevos que ingresen al parque

### 4.2.1 Margen de deterioro aceptable

El anteproyecto no deja claro qué posición del test estático se controlará en revisiones técnicas posteriores ni a cuál de ellas se le atribuirá el deterioro de +5dB. Esto debe aclararse en el texto del anteproyecto, considerando pertinente que todas las posiciones del test estático medidas en la homologación tengan un seguimiento en los futuros controles de las plantas de revisión técnica.

El incremento por deterioro de 5dB nace para la posición del escape en función de los criterios establecidos por la Norma ISO 5130 asociada al procedimiento. Este valor no es *a priori* extrapolable para las posiciones del motor e interior.

Para el ruido del motor es posible encontrar una gran dispersión entre los niveles registrados. Esto se debe a la descalibración del gobernador, situación que se deberá corregir antes de cada medición, lo que disminuirá considerablemente las variaciones. Corrigiendo esta situación, no se observan diferencias importantes en buses de distinta antigüedad producto del estado de mantención del motor. Sin embargo, si los buses nuevos deben realizar algún tipo de tratamiento contra ruido en su diseño, éste tratamiento podrá sufrir deterioros con el tiempo. Se considera que diferencias mayores de 3 dB requerirán realizar mantención de su tratamiento, de modo que resulta pertinente definir este rango como deterioro aceptable. De esta forma el bus deberá mantener en buen estado su tratamiento contra ruido para las emisiones del motor. Esto resulta acorde además con el hecho que siendo ésta la fuente principal, se podrán mantener los beneficios obtenidos inicialmente.

Para los niveles interiores, se observaron en todos los tipos de buses diferencias de niveles sobre los 6 dB, determinadas fundamentalmente por la mantención del bus. En buses del mismo tipo, mantenidos en condiciones similares, las diferencias de nivel interior están dentro de un rango de 3-4 dB, de modo que se estima suficiente un umbral de deterioro aceptable de 5 dB para la posición interior.

Para validar el deterioro del escape, se presentan en el cuadro 10 las emisiones de ruido de escape y motor en buses que actualmente circulan. Se debe destacar que la ubicación del motor es altamente influyente en los niveles observados para el ruido de escape. Para aquellos buses con escape cercano al motor (buses de motor trasero) los niveles de escape serán mayores, pero no necesariamente porque su silenciador sea de menor calidad, sino por la acción cercana del motor. Cuando medimos el ruido de escape en estos buses, estamos midiendo conjuntamente el ruido del motor, lo que produce elevados niveles en la posición de escape.

**Cuadro 10:** Niveles promedio de escape y de motor para el test estático a distintos regímenes de operación (valores en dBA Fast).

TIPO DE BUS/TAXIBUS	ESCAPE EN BUEN ESTADO			ESCAPE DEFECTUOSO			Diferencia (dB)	Rechazo %
	INTERIOR	ESCAPE	MOTOR	INTERIOR	ESCAPE	MOTOR		
Delantero	91,1	92,3	100,8	86,1	101,6	99,9	9,3	7,0%
Intermedio	85,0	93,8	99,1	83,9	105,0	99,5	11,2	17,6%
Trasero	88,1	101,1	100,0	87,1	104,7	97,2	3,6	13,7%
Taxibus	87,5	94,1	101,7	89,6	103,7	100,2	9,6	15,8%

Fuente: Elaboración propia en base a Ambiente consultores (1999)

Las diferencias de la medición de escape entre los de escape defectuoso y los de escape en buen estado son de aproximadamente 9 a 10 dB para casi todos los buses, lo que validaría el margen +5 dB como aceptable asociado a deterioro del escape. Sin embargo, para el caso de los buses de motor trasero esto no podrá aceptarse de modo tan trivial. Para estos buses un silenciador en malas condiciones sólo producirá un pequeño aumento sobre su nivel total. Esto no se debe a que el deterioro sea menor sino al efecto enmascarador del ruido de motor sobre la posición del escape. De esta forma, validar el margen de + 5dB como umbral de deterioro aceptable en este tipo particular de buses permite un incremento mucho mayor en el escape, de aproximadamente 11 dBA.

Sin embargo, permitir un deterioro conocido en la posición del motor podría corregir esta situación, debido a la compensación que se produciría entre ambas exigencias. Este deterioro aceptable del motor influirá sobre el deterioro permitido para el escape en los buses de motor trasero, de modo que finalmente se podrá considerar el deterioro del escape en el mismo rango que los demás buses medianos y pesados, es decir, +5dB sobre el nivel homologado.

#### 4.2.2 Límites para Taxibuses

En función de los valores observados en los buses actuales, se considera que los límites estáticos para los taxibuses deberían ser los mismos que para el resto de los buses. Esto se debe a que en los taxibuses el gobernador permite una mayor aceleración, lo cual distorsiona las exigencias de este test. Las diferencias de emisión en el test dinámico entre buses y taxibuses son de aproximadamente 2 dB, por lo cual se recomienda mantener los límites dinámicos y variar sólo los del test estático. Esto es válido para taxibuses existentes y nuevos.

#### 4.2.3 Ruido de fondo en homologación

Se propone mantener el actual procedimiento de medición de ruido de fondo para el proceso de homologación ya que se cuenta con mayor tiempo para la realización de las pruebas.

Se recomienda incluir en el texto del anteproyecto la obligación de repetir alguna muestra que haya sido tomada en presencia de algún ruido ocasional (definiendo ruido ocasional como aquel ruido que genera una fuente emisora de ruido distinta de aquella que se va a medir, y que no es habitual en el ruido de fondo).

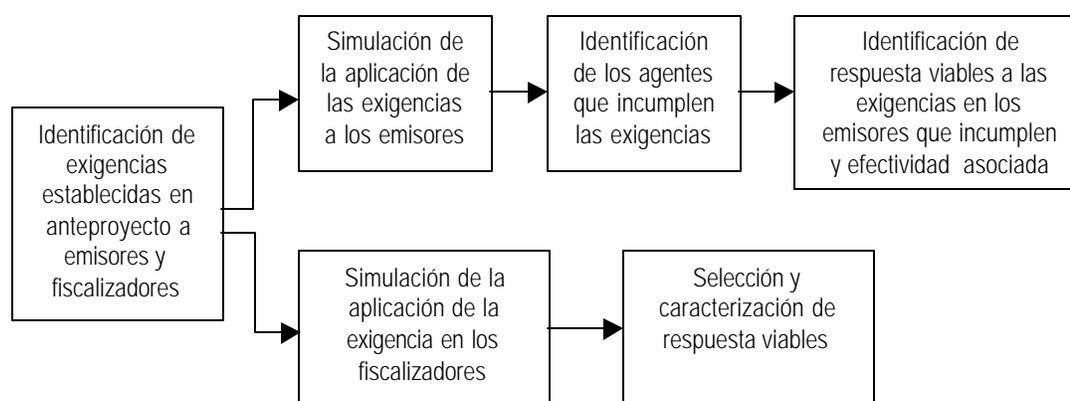
## 5. DESCRIPCIÓN DE LOS IMPACTOS DEL ANTEPROYECTO

### 5.1. Modelo y secuencia metodológica para la identificación de impactos del anteproyecto

En este capítulo se identifican y describen los impactos del anteproyecto en los emisores, en los agentes fiscalizadores y la población afectada por el ruido de buses. Los siguientes diagramas resume la secuencia de pasos empleada para identificar tales impactos.

#### Diagrama 2

Secuencia metodológica para la identificación de los impactos en emisores y fiscalizadores.

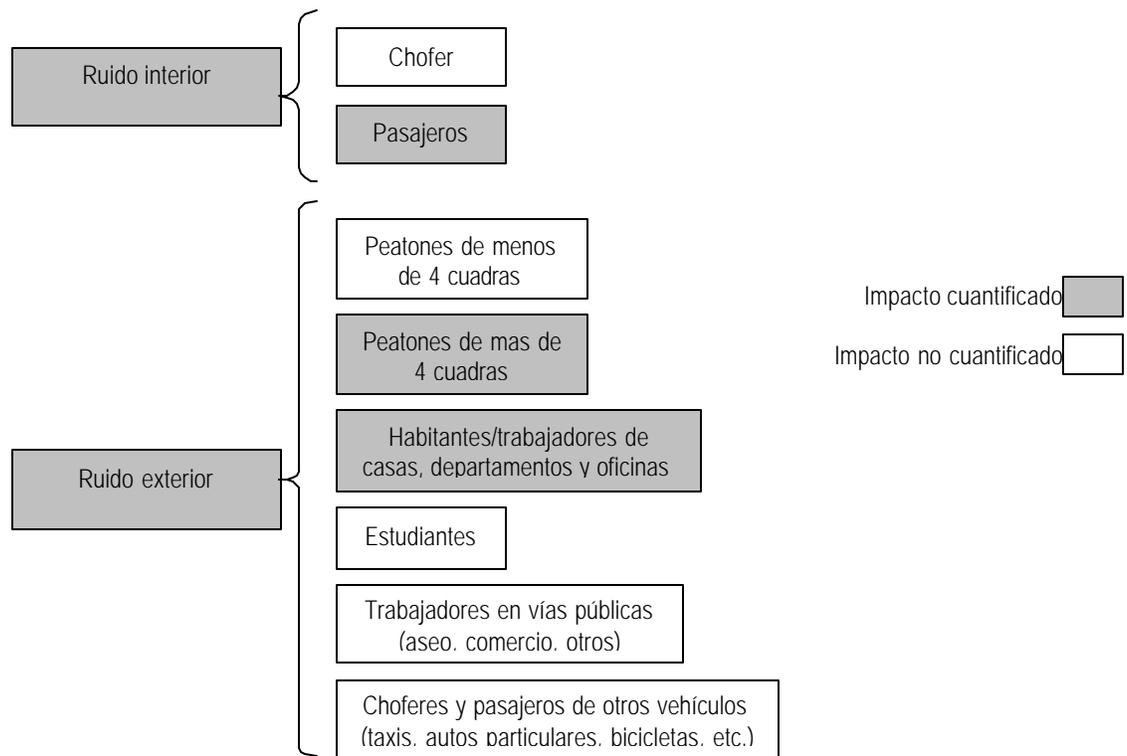


Para simular la aplicación de las exigencias e identificar el grado de incumplimiento en el parque de buses de la RM se trabajó con la base de datos del estudio de Ambiente Consultores (1999). La identificación de las respuestas viables de los emisores consideró la opinión de un experto en control de ruido que basó su trabajo en información proporcionada por talleres de buses y taxibuses y proveedores de tratamientos acústicos. Esta información fue contrastada y analizada con los antecedentes recopilados durante la elaboración del anteproyecto y la consulta pública. Finalmente, para los fiscalizadores se identificaron las exigencias y las posibles opciones para dar cumplimiento en base a lo entregado por el estudio de Ambiente Consultores (1999).

En el diagrama 3 siguiente se muestran las categorías de grupos afectados para la evaluación del efecto del ruido en las poblaciones receptoras. Se señala también las categorías consideradas en la cuantificación (peatones, usuarios de buses y taxibuses y de viviendas y oficinas cercanas a vías principales) que incluyen una fracción significativa de los afectados directos por el ruido de buses.

### Diagrama 3

Categorías de personas afectadas por el ruido de buses en la RM

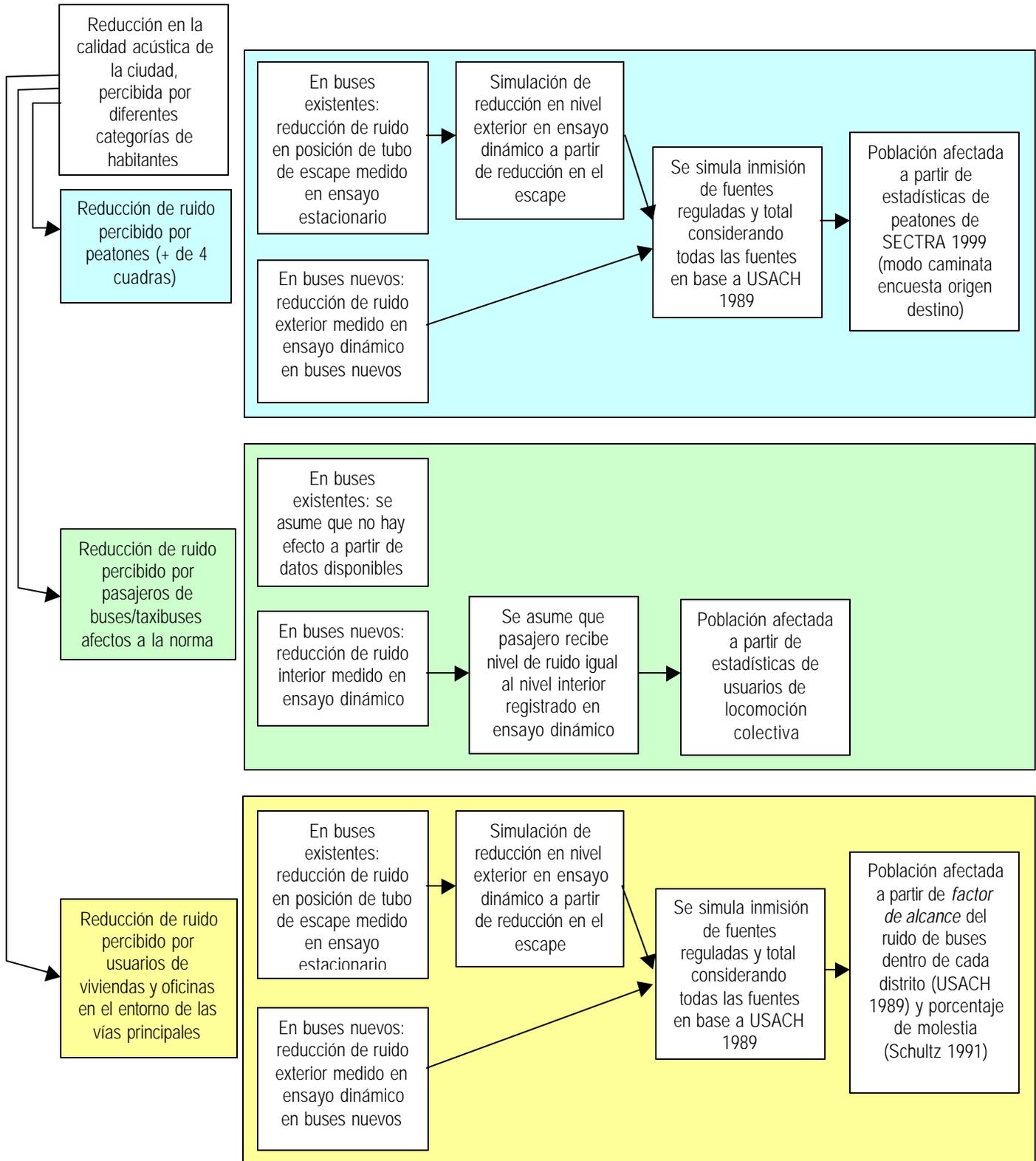


Para los impactos cuantificados, el siguiente diagrama describe la metodología de cuantificación. Para los impactos no cuantificados más adelante en este mismo capítulo se describe brevemente sus características.

Como se puede apreciar en el diagrama 4, el modelo de evaluación considera que un individuo puede estar beneficiado por la reducción de ruido como peatón, como usuario de buses y taxibuses y como usuario de una vivienda y oficina. No se contabiliza un total de población beneficiada (porque no es posible saber si son individuos diferentes o es un mismo individuo quien recibe el ruido bajo cada una de estas categorías) sino que población afectada en cada una de estas situaciones.

#### Diagrama 4

Secuencia analítica para cuantificar impactos sobre algunas de las categorías de población afectada por una reducción en el nivel de ruido emitido por buses de locomoción colectiva en la RM.



## 5.2. Porcentajes de rechazo en buses existentes al momento de entrada en vigencia

El siguiente cuadro muestra los porcentajes de rechazo estimados para la muestra de buses en el ensayo estático. Se asume que este porcentaje es equivalente al de todo el parque.

**Cuadro 11:** Porcentaje de rechazo de la muestra en el ensayo estático de acuerdo con los criterios establecidos en el anteproyecto de norma para buses existentes.

TIPO DE BUS/TAXIBUS	ETAPAS DE NORMA		
	PRIMERA ETAPA	SEGUNDA ETAPA	SOLO SEGUNDA
	% RECHAZADOS	% RECHAZADOS	% RECHAZADOS
Motor Delantero	9%	14%	5%
Motor Intermedio	29%	47%	18%
Motor Trasero	58%	84%	26%
Taxibuses	24%	66%	42%

Nota: La norma para buses existentes se mide en la posición de tubo de escape.

Fuente: Elaboración propia en base a Ambiente Consultores (1999)

Se observa claramente un mayor incidencia de buses rechazados en el grupo con motores traseros, particularmente con la primera fijación de niveles. En el caso de los buses con motor delantero los porcentajes de rechazo son significativamente inferiores. Una razón para explicar estas diferencias es la mayor distancia del motor con el tubo de escape y con el sonómetro, ubicado cerca de la salida del tubo de escape. Esto confirma que en los buses con motor trasero la medición en el tubo de escape incluye ruido de motor.

## 5.3. Reducción de emisiones en buses existentes al momento de entrada en vigencia

Los buses que son rechazados por los niveles de ruido en la posición del tubo de escape en el ensayo estacionario (revisión técnicas o en la vía pública) deberán reducir emisiones y cumplir con la norma. Esta reducción de emisiones afectará los niveles medidos al bus en funcionamiento en el ensayo dinámico. Si esto ocurre, el parque en su conjunto reducirá sus emisiones dado la reducción de emisiones del grupo de los rechazados.

El cuadro 12 muestra el efecto en reducción de emisiones del parque de buses como consecuencia de la reducción de emisiones de los buses rechazados. Si se compara los niveles mostrados en este cuadro con los del cuadro 2 (situación base), las reducciones sólo se verifican en el ruido emitido por el escape y en nivel de ruido exterior del ensayo dinámico. Los niveles de reducción oscilan entre 0 y 0,2 decibelios para la primera etapa de la norma medidos en el ensayo exterior, lo cual da una idea de la reducción de emisión medida en una posición similar a la percibida por los peatones o las personas que esperan en los paraderos. Las reducciones están entre 0 y 0,9 dBA en la segunda etapa de fijación de niveles, aproximadamente el año 2003.

Debe notarse con los mayores valores de reducción de emisión (0,2 y 0,9 dBA para la primera y segunda etapa de la norma) se da en los buses con motor trasero. Este tipo de máquinas, según los criterios vigentes, participarán de manera importante en el parque total en el futuro.

Viendo las reducciones en el parque atribuibles a la norma medidos a nivel de tubo de escape en el ensayo estático, se observa que las reducciones son mayores que las observadas en el ensayo dinámico. En la primera etapa alcanzan reducciones de entre 0,2 y 2,1 dBA, siendo mayores en los buses con motor trasero. En la segunda etapa las reducciones alcanzan entre 1,2 y 6,8 dBA para cada categoría de bus. Por último, en el bus

existente con motor trasero la norma genera una reducción de emisión medido en la posición de motor de 1 dBA en la segunda etapa de fijación de límites.

**Cuadro 12:** Emisiones del parque de buses por tipo una vez verificada la reducción de emisiones en los buses rechazados en cada etapa de aplicación de la norma para buses/taxibuses existentes.

Al momento de entrada en vigencia del anteproyecto (2001 y 2002)					
TIPO DE BUS/TAXIBUS	ENSAYO DINAMICO		ENSAYO ESTATICO		
	INTERIOR	LMAX	ESCAPE	MOTOR	INTERIOR
Motor Delantero	87.3	84.1	92.7	100.7	90.7
Motor Intermedio	83.0	83.4	94.7	98.8	84.8
Motor Trasero	84.9	84.2	98.6	98,6	87.7
Taxibuses	82.8	81.9	94.5	100.4	87.9
A partir de dos años después de la entrada en vigencia (2003 a +)					
TIPO DE BUS/TAXIBUS	ENSAYO DINAMICO		ENSAYO ESTATICO		
	INTERIOR	LMAX	ESCAPE	MOTOR	INTERIOR
Motor Delantero	87.3	84.1	91.7	100.7	90.7
Motor Intermedio	83.0	83.3	92.1	98.8	84.8
Motor Trasero	84.9	83.4	96.6	97.6	87.1
Taxibuses	82.8	81.7	91.6	100.4	87.9

Notas:

Todos los valores en dBA

LMAX: nivel de ruido exterior en el ensayo dinámico

Fuente: Elaboración propia en base a Ambiente Consultores (1999)

#### 5.4. Reducción de emisiones en buses nuevos

En el caso de los buses nuevos, las normas establecidas a través del ensayo dinámico y estático, y lo establecido respecto de superar en 5 dBA el valor medido en el tubo de escape en el ensayo realizado al prototipo, genera un siguiente cuadro de emisión para los buses nuevos una vez que están en circulación, según la fecha que ingresen al parque.

Como se observa en el cuadro 13 los niveles de emisión de los buses nuevos medidos en el tubo de escape y el LMAX del ensayo dinámico no son exactamente iguales a los establecidos en la normativa, dado que se autoriza un nivel mayor de 5 dBA medidos en la posición de tubo de escape una vez que el bus entre en circulación y que esto afecta la emisión exterior medida en el ensayo dinámico.

**Cuadro 13:** Emisiones del parque de buses nuevos de acuerdo al periodo de ingreso del bus.

Al momento de entrada en vigencia 2001					
TIPO DE BUS/TAXIBUS	ENSAYO DINAMICO		ENSAYO ESTATICO		
	INTERIOR	LMAX	ESCAPE*	MOTOR	INTERIOR
Motor Delantero	84.0	85.0	95.0	98.0	88.0
Motor Intermedio	84.0	85.0	95.0	98.0	88.0
Motor Trasero	84.0	85.0	95.0	98.0	88.0
Taxibuses	82.0	82.8	93.0	96.0	86.0
Dos años después de la entrada en vigencia (2003)					
TIPO DE BUS/TAXIBUS	ENSAYO DINAMICO		ENSAYO ESTATICO		
	INTERIOR	LMAX	ESCAPE*	MOTOR	INTERIOR
Motor Delantero	81.0	82.0	92.0	95.0	85.0
Motor Intermedio	81.0	82.0	92.0	95.0	85.0
Motor Trasero	81.0	82.0	92.0	95.0	85.0
Taxibuses	79.0	79.8	90.0	93.0	83.0
Cuatro años después de la entrada en vigencia (2005)					
TIPO DE BUS/TAXIBUS	ENSAYO DINAMICO		ENSAYO ESTATICO		
	INTERIOR	LMAX	ESCAPE*	MOTOR	INTERIOR
Motor Delantero	78.0	79.0	89.0	92.0	82.0
Motor Intermedio	78.0	79.0	89.0	92.0	82.0
Motor Trasero	78.0	79.0	89.0	92.0	82.0
Taxibuses	76.0	76.8	87.0	90.0	80.0

Notas:

(\*) Se asume que sólo estos valores podrán aumentar en cinco dB según se desprende del anteproyecto.

Todos los valores en dBA

LMAX: nivel de ruido exterior en el ensayo dinámico

Fuente: Elaboración propia en base a Ambiente Consultores (1999)

### 5.5. Evolución del bus tipo de la RM

Como resultado de los cuadros 12 y 13 se puede estimar como será la emisión del bus tipo de la RM una vez que entren en vigor las distintas etapas de la fijación de límites. El cuadro 14 muestra este resultado.

Como se observa, en todos los parámetros hay una clara tendencia de reducción en la emisión para el promedio del parque expresados como bus tipo. El nivel de ruido exterior medido en el ensayo dinámico se reduce al final del periodo de evaluación en 5,1 dBA respecto del nivel actual, lo que refleja el mejoramiento de la emisión medida con el bus en movimiento. El nivel interior se reduce sobre 8 dBA respecto del año 2000, medidos con el bus en movimiento o con el bus detenido y a aceleración máxima.

En el ensayo se demuestra que la fuente principal, el motor, reduciría 8,3 dBA respecto del valor actual al cabo de 15 años, una vez que todo el parque en circulación haya ingresado cumpliendo alguna de las categorías señaladas en la norma.

**Cuadro 14:** Evolución de la emisión del bus tipo de la RM como resultado de la aplicación del anteproyecto

TIPO DE BUS/TAXIBUS	ENSAYO DINAMICO		ENSAYO ESTATICO		
	INTERIOR	LMAX	ESCAPE	MOTOR	INTERIOR
2000	86.5	84.0	96.7	100.2	89.8
2001	86.4	84.0	95.3	99.9	89.6
2003	85.6	83.4	92.7	99.3	88.9
2005	83.7	82.3	92.6	97.6	87.1
2008	80.8	81.0	92.6	95.0	84.5
2011	79.0	80.0	92.1	93.0	83.0
2015	77.9	78.9	91.2	91.9	81.9

Notas:

Todos los valores en dBA

LMAX: nivel de ruido exterior en el ensayo dinámico

Fuente: Elaboración propia en base a Ambiente Consultores (1999)

El siguiente cuadro indica las reducciones logradas a lo largo del periodo de evaluación como consecuencia de la aplicación del anteproyecto. Este cuadro corresponde a la comparación a través de los años de la situación con proyecto (cuadro 14) versus la situación sin proyecto (cuadro 4).

**Cuadro 15:** Evolución de las reducciones de emisión del bus tipo de la RM como resultado de la aplicación del anteproyecto

AÑO	ENSAYO DINAMICO		ENSAYO ESTATICO		
	INTERIOR	LMAX	ESCAPE	MOTOR	INTERIOR
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2003	0.3	0.2	0.5	0.0	0.0
2005	1.3	1.1	1.5	0.5	0.2
2008	3.5	2.3	2.3	1.8	1.1
2011	5.2	3.2	3.1	3.2	2.0
2015	6.4	4.4	4.0	4.3	3.1

Notas:

Todos los valores en dBA

LMAX: nivel de ruido exterior en el ensayo dinámico

Fuente: Elaboración propia en base a Ambiente Consultores (1999)

Este cuadro refleja las ganancias absolutas en reducción de emisión atribuibles al anteproyecto, para el promedio del parque de buses en la RM.

#### 5.6. Evolución del aporte del bus tipo a la calidad acústica.

Las reducciones en la emisión del cuadro anterior resultantes de la aplicación de la norma se pueden expresar en términos de ruido equivalente al emitido por vehículos y observar su evolución. El cuadro 16 muestra estos resultados.

Si en el año 2000 un bus emitía el equivalente a 14,3 vehículos, en el año 2015 y en el escenario de aplicación de la norma lo hará el equivalente a 4,3. Como se mostró en el capítulo tercero, la proyección de este parámetro en ausencia de normativa alcanzaba en el año 2015 a 11,9 vehículos equivalentes, pudiéndose entonces atribuir a la norma la diferencia entre estos dos valores (7,6 vehículos equivalentes).

**Cuadro 16:** Evolución del aporte de ruido del parque de buses/taxibuses a la calidad acústica de Santiago en los próximos 15 años expresados como vehículos equivalente.

AÑO	VEHÍCULOS EQUIVALENTE
2000	14.3
2001	14.0
2003	12.2
2005	9.5
2008	6.9
2011	5.5
2015	4.3

Fuente: Elaboración propia en base al estudio USACH (1989) y Ambiente Consultores (1999).

5.7. Evolución de la calidad acústica resultante de la aplicación de la norma, considerando el resto del parque automotriz.

El siguiente cuadro muestra la evolución de la calidad acústica, pero a diferencia del cuadro anterior acá las proyecciones incluyen la emisión esperada del parque de camiones y autos, que si bien no están afectos a esta norma, afectan de igual forma los niveles de calidad.

La proyección de autos y camiones se hizo asumiendo corresponde a la señalada en el cuadro 5. Además se asume que no existirán modificaciones significativas en la estructura de vías a lo existente en la actualidad.

**Cuadro 17:** Evolución de los aportes de ruido (expresados como energía) a la calidad acústica de Santiago, nivel de ruido percibido por la población como consecuencia de la emisión de todo el parque vehicular y grado de molestia resultante.

AÑO	Aportes de Energía			Población	
	Buses	Camión	Auto	Ldn	Molestia
1989	45.7%	29.7%	24.6%	64.0	17.3%
2000	38.5%	32.7%	28.8%	64.9	18.5%
2001	37.4%	33.1%	29.5%	64.9	18.6%
2003	33.7%	34.5%	31.8%	64.7	18.3%
2005	28.5%	36.4%	35.1%	64.7	18.2%
2008	22.4%	38.3%	39.3%	64.6	18.1%
2011	18.2%	39.4%	42.4%	64.6	18.1%
2015	14.1%	40.2%	45.7%	64.6	18.2%

Notas:

Ldn: Leq día noche

Molestia según criterio de Schultz (ver nota al pie)

Fuente: Elaboración propia en base a USACH (1989) y Ambiente Consultores (1999)

La tendencia de reducción observada en los buses en el cuadro 17 aparece como reducciones en términos de aportes de energía. Las proyecciones de crecimiento del resto del parque hacen que aumente los aportes de energía de los camiones y buses haciendo que el ruido percibido por la población en términos de Ldn (Leq día

noche) y porcentaje de molestia prácticamente no cambia respecto de la situación actual (año 2000). El siguiente cuadro muestra sólo la evolución del aporte de los buses y taxibuses a las emisiones totales del parque con y sin norma, para notar la efectividad de la regulación. El cuadro subsiguiente señala las reducciones de los buses, el efecto agregado con el resto del parque y el efecto en términos de molestia en la población.

**Cuadro 18:** Aporte de energía de los buses y taxibuses con y sin norma.

AÑO	S/ Norma	C/Norma
2003	34.6%	33.7%
2005	32.6%	28.5%
2008	30.3%	22.4%
2011	28.6%	18.2%
2015	26.6%	14.1%

Fuente: Elaboración propia en base a USACH (1989) y Ambiente Consultores (1999)

El cuadro 19 muestra finalmente las reducciones en las emisiones de los buses, las emisiones totales provenientes de fuentes móviles, la calidad y la molestia resultante.

**Cuadro 19:** Variaciones de energía emitida y ruido percibido por la población como resultado de la aplicación del anteproyecto.

AÑO	Baja de Energía		Población	
	Buses	TOTAL	Ldn	Molestia
2001	0.0%	0.0%	0.0	0.0%
2003	-0.9%	-2.3%	-0.1	-0.1%
2005	-4.0%	-3.4%	-0.2	-0.2%
2008	-7.9%	-7.2%	-0.3	-0.5%
2011	-10.4%	-8.7%	-0.4	-0.6%
2015	-12.5%	-9.0%	-0.4	-0.6%

Notas: Ldn: Leq día noche

Molestia según criterio de Schultz

Fuente: Elaboración propia en base USACH (1989) y Ambiente Consultores (1999)

Esto significa que las ganancias en calidad ambiental considerando el efecto de las fuentes no reguladas son leves. Las ganancias producto de esta norma son prácticamente compensadas por el incremento en cantidad del resto del parque. Esto supone además que no existirán reducciones de emisión de ruido en estos otros agentes en relación a lo que hoy emiten.

#### 5.8. Impacto en las personas afectadas por el ruido emitido por los buses

Los índices Ldn y porcentaje altamente molesta de Schultz del cuadro anterior reflejan la evolución del impacto atribuible al anteproyecto en las personas que habitan las áreas afectadas por el ruido ambiental.

El siguiente cuadro describe de manera inclusiva los impactos del anteproyecto sobre las personas, distinguiendo aquellos que recibirán el efecto del anteproyecto en la emisión de ruido exterior e interior.

**Cuadro 20:** Síntesis de los impactos del anteproyecto en las personas

Actor	Descripción del impacto	Dimensión de los efectos evitados (1) ( <u>L</u> eve, <u>A</u> preciable y <u>S</u> ignificativo)
Población afectada por el ruido exterior	<p>La reducción de la inmisión en el exterior del bus alcanza un máximo de 4,4 dBA (L<sub>max</sub>). La reducción en la calidad promedio para la RM es 0,4 dBA (L<sub>dn</sub>). Este efecto afectará de manera diferencial a las siguientes categorías de personas:</p>	
	<p>Los <b>peatones que transitan y utilizan veredas y calles</b> en vías utilizadas por buses o taxibuses se verán beneficiadas por una reducción paulatina del ruido proveniente de estos vehículos, alcanzando su máximo aproximadamente el año 2015. La reducción máxima percibida a esta distancia de la fuente equivale a la reducción de inmisión de 4,4 dBA. Esta reducción es un promedio para todo el parque de buses de Santiago.</p>	<p>Interferencia en la comunicación oral (A) Efectos sobre la conducta (A) Estrés (A)</p>
	<p>Las <b>personas que utilizan de manera más permanente (vendedores, kioscos y otros) veredas y calles</b> en vías utilizadas por buses o taxibuses se verán beneficiadas por una reducción paulatina del ruido proveniente de estos vehículos, alcanzando su máximo aproximadamente el año 2015. La reducción máxima percibida a esta distancia de la fuente equivale a la reducción de inmisión de 4,4 dBA. Esta reducción es un promedio para todo el parque de buses de Santiago.</p>	<p>Desplazamiento temporal o permanente del umbral de audición (A) Interferencia en la comunicación oral (A) Efectos sobre la conducta (A) Efectos sobre la memoria (L) Efectos en la atención (A) Estrés (A)</p>
	<p>Las <b>personas que habitan casas o departamentos</b> ubicados entre 0 y 100 m de vías utilizadas por buses y taxibuses (dependiendo de la incidencia del ruido de la vía principal en la vía secundaria) verán reducir paulatinamente los niveles de ruido proveniente de estos vehículos alcanzando un máximo aproximadamente el año 2015. En los 1.800 puntos evaluados las reducciones en los niveles de molestia atribuibles a la norma alcanzan en promedio 0,4 dBA (L<sub>dn</sub>).</p>	<p>Interferencia en la comunicación oral (L) Interferencia con el sueño (L) Estrés (L)</p>
	<p>Las <b>personas que trabajan en oficinas u locales comerciales o de otro tipo</b> ubicados entre 0 y 100 m de vías utilizadas por buses y taxibuses, dependiendo de la incidencia del ruido de la vía principal en la vía secundaria, verán reducir paulatinamente los niveles de ruido proveniente de estos vehículos alcanzando un máximo aproximadamente el año 2015. En los 1800 puntos evaluados las reducciones en los niveles de molestia atribuibles a la norma alcanzan en promedio 0,4 dBA (L<sub>dn</sub>).</p>	<p>Interferencia en la comunicación oral (L) Efectos sobre la memoria (L) Efectos en la atención (L) Estrés (L)</p>
	<p>Los <b>escolares que estudian en establecimientos educacionales</b> ubicados entre 0 y 100 m de vías utilizadas por buses y taxibuses verán reducir paulatinamente los niveles de ruido proveniente de estos vehículos alcanzando un máximo aproximadamente el año 2015.</p> <p>No se tiene información sobre las reducciones en los niveles al interior de las salas de clases. No obstante es esperable que un número indeterminado de estudiantes reduzcan niveles de inmisión de manera similar a los observados en los habitantes de casas o departamentos.</p>	<p>Interferencia en la comunicación oral (L) Efectos sobre la conducta (L) Efectos sobre la memoria (L) Efectos en la atención (L) Estrés (L) Efectos sobre aprendizaje y salud de los niños (L)</p>

Cuadro 20 (Continuación)

<b>Población afectada por el ruido exterior</b>	<p><b>Efecto por costos evitados en medidas defensivas contra el ruido.</b></p> <p>Un porcentaje de usuarios de viviendas y oficinas debieran verse favorecidos al evitarse costos defensivos o de aislación acústica (por ejemplo instalación de doble ventanas o ventanas con doble vidrio). La cantidad de personas o viviendas beneficiadas por este efecto es indeterminado.</p> <p>El anteproyecto no permitirá recuperar dicho costo en los casos que ya se ha incurrido en la doble ventana producto del ruido. El costo evitado producto del anteproyecto debiera notarse principalmente en las nuevas construcciones, en oficinas más que en viviendas, y en sectores de ingresos más altos.</p>	<p>No aplicable</p>
	<p><b>Duración del impacto positivo del anteproyecto</b></p> <p>El comportamiento temporal del beneficio de la reducción de ruido en las tres categorías anteriores de población se ve influido por el desempeño de las emisiones de ruido proveniente de fuentes móviles no reguladas (autos, motos y camiones). Por el sólo hecho de crecimiento del parque de automóviles y camiones, los beneficios del presente anteproyecto podrían verse anulados.</p> <p><b>Homogeneidad de la reducción de ruido en la ciudad</b></p> <p>Al interior de la ciudad el beneficio de la reducción de ruido no serán homogéneo, siendo más importante en aquellas vías donde las fuentes reguladas tengan una mayor participación en el flujo total (por ejemplo vías exclusivas).</p>	
<b>Población afectada por el ruido al interior del bus</b>	<p><b>Los usuarios de buses y taxibuses</b> se verán beneficiados por menores niveles de ruido al interior de los buses que ingresen al parque con posterioridad a la fecha de entrada en vigencia de la presente regulación. El ingreso de estos buses es paulatino, pero se prevé un ingreso importante para el año 2003-4. La renovación total del parque se alcanzará aproximadamente en el año 2011. Las reducciones que se alcanzan hacia el final del periodo de evaluación superan los 6 dBA. Pasajeros de viajes de mayor duración (por ejemplo los que habitan en sectores periféricos) serán los principales beneficiados con estas reducciones.</p> <p>En los buses existentes no se espera ninguna mejoría en el ruido interior producto de la implementación del anteproyecto.</p>	<p>Interferencia en la comunicación oral (S) Efectos sobre la conducta (S) Estrés (S) Efectos en el embarazo (L)</p>
<b>Chofer</b>	<p>Los choferes, principalmente de taxibuses, se verán beneficiados al igual que el resto de los pasajeros por los menores niveles de ruido al interior de los buses que ingresen al parque con posterioridad a la fecha de entrada en vigencia de la presente regulación. Por la posición del motor en los buses medianos y pesados el efecto en el chofer se reduce en comparación con taxibuses. El ingreso de estos buses es paulatino, pero se prevé un ingreso importante para el año 2003-4. La renovación total del parque se alcanzará aproximadamente en el año 2011.</p>	<p>Desplazamiento temporal o permanente del umbral de audición (A) Interferencia en la comunicación oral (S) Efectos sobre la conducta (S) Efectos en la atención (A) Estrés (S)</p>

Nota (1): Estimación en base a literatura y opinión del equipo. Para una descripción más detallada de los tipos de impactos producidos por el ruido ambiental ver anexo N°1.

Fuente: Elaboración propia

## 5.9. Impacto sobre los costos y la tarifa del servicio de la locomoción colectiva

**Cuadro 21:** Descripción del impacto económico sobre el servicio de locomoción colectiva según actores

Actor	Exigencia	Descripción del impacto
Dueños de buses en circulación al momento de entrada en vigencia la norma	Los buses en circulación al momento de entrar en vigencia la norma deberán cumplir con dos niveles máximos de emisión medidos en el tubo de escape: un primer nivel seis meses después del inicio de la vigencia y otro nivel más estricto 3 años después. Esta exigencia se verifica en las plantas de revisión técnica y en la vía pública por personal del MTT.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El impacto de la norma recae sobre los buses que no cumplirán los niveles de emisión exigidos, y por lo tanto deberán implementar algún tipo de estrategia de control.</li> <li>• Se estima que el incumplimiento o rechazo alcanzará en la primera etapa 24% en taxibuses, 29% en buses con motor intermedio, 58% en buses con motor trasero y 9% en buses con motor delantero.</li> <li>• El rechazo en la segunda etapa se estima en 66% en taxibuses, 47% en buses con motor intermedio, 84% en los con motor trasero y 14% los de motor delantero. Se considera que todos los rechazados en la primera etapa son rechazados en la segunda etapa, dado que es más estricta la última y afecta la misma fuente.</li> <li>• El rechazo por la medición en el tubo de escape implica reducir emisiones en este equipo cambiándolo por uno de mejor calidad, y, en el caso de los buses con motor trasero, podría significar además algún tipo de control de ruido en el motor.</li> <li>• Mayor costo de Revisión Técnica.</li> </ul>
Dueños de buses y taxibuses que ingresarán al parque con posterioridad al momento de entrada en vigencia la norma.	Control en plantas de revisión técnica de niveles de ruido en las posiciones del tubo de escape, motor e interior. Se establecen tres niveles, dependiendo si el ingreso del bus ocurre entre el 2001-2, 2003-2004 y 2005 en adelante. El nivel exigido es el nivel medido en el ensayo estático realizado al ejemplar del modelo más cinco dBA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor costo de inversión de bus/taxibus con menores niveles de ruido. Este costo será traspasado al usuario del servicio de acuerdo con el polinomio de tarifas vigente.</li> <li>• Mayores costos de mantención y reparación, para dar cumplimiento con las exigencias a las que serán sometidos permanentemente a través de las mediciones de ruido en tubo de escape, motor e interior.</li> <li>• Mayor costo de Revisión Técnica.</li> </ul>
Fabricantes o importadores de buses que prestan servicios en el país	Ensayo dinámico y estático de un ejemplar de cada nuevo modelo que desee ingresar al parque. El ensayo estático es el mismo que se realizará a los buses una vez que ingresen al parque.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos de diseño de la solución técnica para garantizar cumplimiento de las normas, en el caso de fabricantes de carrocerías nacionales, para cada modelo.</li> <li>• Mayores costos de producción en el caso de fabricantes de carrocerías nacionales.</li> <li>• Mayores costos de importación en el caso de importadores de buses carrozados en el extranjero.</li> <li>• Costo de ensayo dinámico y estático a un ejemplar de cada nuevo modelo de bus que ingrese al parque.</li> <li>• Todos estos costos debieran ser traspasados al comprador del bus.</li> <li>• La factibilidad técnica del control de ruido en el tipo de maquinas actuales, está en el límite con las exigencias requeridas, de modo que la solución técnica puede no ser suficiente en algunos modelos, situación que obligaría a importar buses de mejor estándar y mayor valor.</li> </ul>
Población que paga la tarifa del sistema de locomoción colectiva	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los usuarios del transporte deberán pagar una tarifa mayor como consecuencia del aumento del costo de inversión de los buses o taxibuses que ingresen al parque con posterioridad a la fecha de entrada en vigencia de la norma.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

## 5.10 Impacto sobre propietarios de viviendas y oficinas

El siguiente cuadro resume el impacto sobre los propietarios de viviendas y oficinas afectas al ruido proveniente de buses y taxibuses.

**Cuadro 22:** Impacto sobre los propietarios de las viviendas y oficinas

<p>Propietarios de viviendas y oficinas afectadas por el ruido interior</p>	<p>Un porcentaje indeterminado de los propietarios de viviendas y oficinas se beneficiarán con la <b>revalorización de sus propiedades</b> como consecuencia de la reducción de los niveles de ruido percibidos en el entorno y al interior de dicha construcción. Este beneficio lo percibe directamente el propietario, por ejemplo a través de los valores de arriendo o venta de dichas propiedades.</p> <p>La manifestación de este beneficio en el tiempo depende de la evolución del nivel de ruido de las fuentes móviles no reguladas, quienes podrían enmascarar la reducción proveniente de los buses y hacer que el beneficio desaparezca.</p> <p>Un porcentaje indeterminado de propietarios evitarán también costos defensivos o de aislación acústica (por ejemplo instalación de doble ventanas) como consecuencia de la reducción de emisiones en comparación con los niveles a los que estarían expuestos en el futuro. Esto puede ser significativo para los propietarios de nuevas construcciones cercanos a vías donde la presencia de buses/taxibuses de locomoción colectiva es importante (reducción del costo de construcción de oficinas y departamentos nuevos).</p>
---	---

Fuente: Elaboración propia

## 5.11. Impacto en los fiscalizadores a nivel nacional

El siguiente cuadro resume los impactos sobre los organismos encargados de la fiscalización de la propuesta de norma.

**Cuadro 23:** Impacto sobre el Estado como organismo fiscalizador

Actor	Exigencia	Descripción del impacto
<p>Organismos fiscalizadores y plantas de revisión técnica</p>	<p>El ensayo dinámico deberá ser proveído por el MTT a nivel nacional. Las plantas de revisión técnica deberán implementar la capacidad de medición estática en las posiciones de tubo de escape, motor e interior.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo del MTT por proveer el ensayo dinámico en el país.</li> <li>• Costo de las plantas de revisión técnica de buses a lo largo del país de proveer el ensayo estático. Este costo será traspasado al propietario del bus en la tarifa del servicio. Este costo se divide en equipos, personal y mayor duración de la revisión.</li> <li>• Costo del MTT de proveer fiscalización de buses en las vías.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

## 6. EVALUACIÓN DE LOS COSTOS DIRECTOS DE CUMPLIMIENTO.

### 6.1. Metodología

Para evaluar los costos directos de cumplimiento se realizó un trabajo de análisis a cargo de un experto que diseñó diferentes tratamientos para controlar ruido en cada tipo de bus regulado y estimar la efectividad asociada. Se estimó el costo de inversión, las mantenciones requeridas y la vida útil del tratamiento, de manera de poder estimar un costo total para el periodo de evaluación. Esto se realizó tanto para los vehículos existentes como para los nuevos.

En el caso de los costos de fiscalización, se estimó el instrumental requerido tanto para las plantas de revisión técnica como para la homologación de los modelos nuevos y se estimaron sus costos valorados a precios de mercado.

Finalmente, los resultados de costos para los buses se extrapolaron a todo el parque en función de la información de emisiones disponibles y las metas que deben alcanzar producto de la norma.

### 6.2. Costos unitarios de tratamiento de ruido en buses existentes

#### 6.2.1. Tratamiento de buses con motor trasero

En este tipo de buses las exigencias establecidas en el ensayo estático en la posición del tubo de escape pueden implicar algún tipo de reducción de ruido en el motor. Se espera que en la segunda fijación de límites se requiera implementar dichos tratamientos. Por lo tanto, se evalúan costos para el silenciador de escape y control de ruido en el motor.

##### 6.2.1.1. Silenciador de escape

Se propone como estrategia de control el reemplazo del silenciador de escape por uno de mayor eficiencia acústica, ya que se estima que el actual dispositivo tiene una eficiencia aproximada de 5 dB menor que uno convencional. Por lo tanto, se estima adecuado proponer una atenuación de diseño 6-10 dB superior a la actual. Esto implica un mayor tamaño y un mayor costo.

El costo actual tiene un rango de US\$ 80 a US\$ 200. En la primera etapa se considera la instalación de uno de US\$200 y para la segunda etapa se proyecta un costo de US\$ 300, es decir, 50% superior al mejor disponible actualmente. Se estima que el silenciador en condiciones de operación normal tiene una vida útil de 3 años.

##### 6.2.1.2. Control de ruido en el motor con absorción en compartimento

Se propone revestir las superficies interiores cerradas con material absorbente flexible y en lo posible lavable y removible. La superficie a tratar son 6 a 7 m<sup>2</sup>. El costo se estima en US\$ 310 - correspondientes a US\$ 210 del material y US\$ 100 de la instalación, como máximo. La efectividad se estima en base a que el 50% de las emisiones incide sobre estas superficies, que sin tratamiento tiene una absorción de 12% y con tratamiento aumentan a 60 %, es decir, quintuplican la absorción. El efecto es de 8 dB sobre el 50%, es decir 2 dB sobre el total de emisiones.

### 6.2.1.3. Control de ruido en el motor con tratamiento de aberturas existentes

Se propone modificar las tomas de aire actuales para incorporar cierta pérdida de transmisión, que se considera nula en la actualidad. El tratamiento consiste en celosías acústicas metálicas, permanentes, que podrían alcanzar 5 dB de atenuación, con un espesor aproximado de 10 cm. La superficie a tratar es aproximadamente 1 m<sup>2</sup>, con un costo estimado de US\$ 120. El efecto por sobre el control anterior será de aproximadamente 1 dB.

### 6.2.1.4. Control de ruido con tratamiento de piso para el motor

El compartimento donde se ubica el motor carece de piso, por lo que se propone incorporar un piso con 2 alternativas:

- a. Piso de celosía con salida de aire
- b. Piso cerrado con salida de aire por tapa posterior de celosía

La primera alternativa requiere aproximadamente 2,5 m<sup>2</sup> de piso con no menos de 1 m<sup>2</sup> de celosía. Este piso requiere ser removible. Se estima su costo en US\$ 400.

La segunda alternativa requiere un piso cerrado, simple y removible, con un costo aproximado de US\$ 200, además de una tapa que incorpore 1 m<sup>2</sup> de celosía acústica. Este elemento tendría un costo aproximado de US\$ 350.

La efectividad de estas medidas se estiman en 3 dB sobre las emisiones totales.

La acción conjunta de las tres medidas de control de ruido de motor tendrá un eficiencia de aproximadamente 6 dB sobre las emisiones totales. La vida útil de estas tres opciones de tratamiento del motor es de entre cinco y ocho años, dependiendo de la mantención y las condiciones de operación del bus.

## 6.2.2. Tratamiento de buses con motor intermedio y delantero y taxibuses

Para estos buses el costo será asociado al reemplazo de un silenciador poco eficiente por uno más eficiente. Se considera que el motor no incide sobre la medición en el tubo de escape, por lo tanto no existirán costos para silenciar el motor.

### Silenciador de escape

Se propone el reemplazo del silenciador de escape por uno de mayor eficiencia acústica, ya que se estima que el actual dispositivo tiene una eficiencia aproximada de 5 dB menor que uno convencional. Por lo tanto, se estima adecuado proponer una atenuación de diseño 6-10 dB superior a la actual. Esto implica un mayor tamaño y mayor costo. El costo actual para los buses tiene un rango de US\$ 80 a US\$ 200. En la primera etapa se considera que se instala uno de US\$200 y para la segunda etapa se proyecta un costo de US\$ 300, es decir, 50% superior al mejor disponible.

El costo actual para los taxibuses tiene un rango de US\$ 80 a US\$ 150. En la primera etapa se considera que se instala uno de US\$150 y para la segunda etapa se proyecta un costo de US\$ 225, es decir, 50% superior al mejor disponible.

### 6.3. Tratamiento de buses nuevos

Las exigencias para estos buses incluye niveles para el tubo de escape, motor e interior.

#### 6.3.1. Tratamiento de buses con motor trasero

Para el ruido exterior los costos unitarios son iguales a los entregados para los buses existentes de esta categoría (ver motor trasero sección 6.2.1.). La diferencia en este caso es que el bus debe incorporar el tratamiento desde el momento de la fabricación y además el control de ruido interior.

Ruido interior.

Se recomienda un tratamiento en el piso para disminuir los niveles de ruido interior del bus. Este podrá cubrir la zona cercana al motor, considerándola como el 30% de la superficie total, aproximadamente 10 m<sup>2</sup>. Se propone montar un piso doble tipo sándwich con material absorbente entremedio, el cual deberá ser denso y con alta amortiguación. La eficiencia de dicho tratamiento será superior a 4 dB. Este tratamiento será complementario con los tratamientos de motor, que disminuirán también la emisión interior, de modo que se pueden obtener reducciones en conjunto superiores a los 7 dB.

Se estima un costo total para esta categoría de aproximadamente US\$ 200 y una vida útil igual a la vida útil de bus. El costo de mantención se estimó igual al costo de inversión y se asocia a ajustar la hermeticidad del tratamiento. Estas mantenciones ocurren cada cinco años.

#### 6.3.2. Tratamiento de buses con motor intermedio

El costo para el silenciador es igual a estimado para los buses existentes de esta categoría.

##### 6.3.2.1. Absorción en compartimento de motor

Se propone revestir las superficies interiores cerradas con material absorbente flexible y en lo posible lavable y removible. La superficie a tratar son 8 a 9 m<sup>2</sup>. El costo se estima en US\$ 400.- La efectividad se estima en base a que el 65% de las emisiones incide sobre estas superficies, que sin tratamiento tiene una absorción de 12% y con tratamiento aumentan a 60%, es decir, quintuplican la absorción. El efecto es de 8 dB sobre el 65%, es decir 3 dB sobre el total de emisiones.

La estimación de la vida útil del tratamiento del motor, es de entre cinco y ocho años, dependiendo de la mantención y operación del bus.

##### 6.3.2.2. Tratamiento interior.

Se recomienda para disminuir los niveles interiores del bus un tratamiento en el piso. Este podrá cubrir la zona cercana al motor, considerándola como el 30% de la superficie total, aproximadamente 10 m<sup>2</sup>. Se propone montar un piso doble tipo sándwich con material absorbente entremedio, el cual deberá ser denso y con alta amortiguación. La eficiencia de dicho tratamiento será superior a 3 dB. Este tratamiento será complementario con los tratamientos de motor, que disminuirán también la emisión interior, de modo que se pueden obtener reducciones en conjunto de hasta 5-6 dB. Se estima un costo total aproximado de US\$ 200 y una vida útil igual a

la vida útil de bus. El costo de mantención se estimó igual al costo de inversión y se asocia a ajustar la hermeticidad del tratamiento. Estas mantenciones ocurren cada cinco años.

### 6.3.3. Tratamiento de buses con motor delantero y taxibuses

El costo para el silenciador es igual a estimado para los buses existentes de esta categoría.

#### 6.3.3.1. Absorción en compartimento de motor

Se propone revestir las superficies interiores cerradas con material absorbente flexible y en lo posible lavable y removible. La superficie a tratar son 3 m<sup>2</sup>. El costo por se estima en US\$ 200. La efectividad se estima en base a que el 75% de las emisiones incide sobre estas superficies, que sin tratamiento tiene una absorción de 12% y con tratamiento aumentan a 60%, es decir, quintuplican la absorción. El efecto es de 8 dB sobre el 75%, es decir 3 dB sobre el total de emisiones.

La estimación de la vida útil de esta opción de tratamiento del motor, es de entre cinco y ocho años, dependiendo de la mantención y operación del bus.

#### 6.3.3.2 Tratamiento al interior.

Para este tipo de buses se podrán disminuir los niveles interiores mediante un tratamiento acústico sobre la cubierta del encierro interior del motor (también llamado camello). Un rediseño de los materiales y sellos podrá reducir las emisiones en más de 3 dB. Este tratamiento será complementario con los tratamientos de motor, que disminuirán también la emisión interior, de modo que se pueden obtener reducciones en conjunto de hasta 5-6 dB al interior. El costo de un tratamiento sobre esta cubierta se estima en US\$ 100 como máximo y una vida útil igual a la vida útil de bus o taxibus. El costo de mantención se estimó igual al costo de inversión y se asocia a ajustar la hermeticidad del tratamiento. Estas mantenciones ocurren cada cinco años.

### 6.4. Agregación y comportamiento de los costos directos a lo largo de los 15 años en la RM

En base a los valores mencionados en el capítulo anterior se elabora un flujo de costos para el conjunto de vehículos existentes en la Región Metropolitana. En esta planilla se han tomado los valores unitarios mencionados y la vida útil.

Para determinar el tipo de combinación de opciones tecnológicas que debe emplearse en cada bus se tomó las reducciones de emisión requeridas para cada bus y la efectividad de las tecnologías propuestas.

#### 6.4.1. Costos totales para buses/taxibuses existentes al momento de entrada en vigencia de la norma

Extrapolando las estimaciones anteriores a todo el parque de buses existentes en cada año de la evaluación, se obtienen los resultados del cuadro siguiente.

**Cuadro 24:** Valor presente de los costo de la norma en la totalidad del parque de buses existentes según tipo de bus/taxibus

TIPO DE BUS/TAXIBUS	PAGO ANUAL EQUIVALENTE	VPN
Delantero	\$7.829.416	\$46.488.714,79
Intermedio	\$2.549.420	\$15.137.687,42
Trasero	\$73.980.936	\$439.276.541,66
Taxibus	\$1.890.782	\$11.226.894,44
<b>TOTALES</b>	<b>\$86.226.293</b>	<b>\$511.985.787</b>

Fuente: elaboración propia

#### 6.4.2. Costos totales para buses/taxibuses que ingresen con posterioridad a la fecha de entrada en vigencia de la norma

Extrapolando las estimaciones anteriores al parque de buses nuevos para cada año de la evaluación, se obtienen los siguientes resultados.

**Cuadro 25:** Valor presente de los costos de la norma en los buses que ingresan al parque con posterioridad a la fecha de entrada en vigencia según tipo de bus/taxibus y según la exigencia que deben cumplir

TIPO DE BUS/TAXIBUSES SEGÚN AÑO DE INGRESO	VPN
Taxibuses 2001	\$0
Taxibuses 2003	\$14.695.828
Taxibuses 2005	\$57.658.343
<b>TOTAL TAXIBUSES</b>	<b>\$72.354.171</b>

Traseros 2001	\$60.846.251
Traseros 2003	\$874.569.004
Traseros 2005	\$3.546.362.328
<b>TOTAL TRASEROS</b>	<b>\$4.481.777.583</b>

Intermedios 2001	\$0
Intermedios 2003	\$72.968.797
Intermedios 2005	\$225.216.595
<b>TOTAL INTERMEDIOS</b>	<b>\$298.185.392</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$4.852.317.146</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 6.5. Costos de fiscalización

Finalmente, los costos de fiscalización se estimaron para una planta de revisión técnica y para el centro de homologación de modelos nuevos. En la RM existen dos plantas de revisión técnica, por lo que el costo señalado en cuadro 26 debe multiplicarse por dos para un total regional. El centro de homologación se considera que basta uno para todo el país.

**Cuadro 26:** Valor presente de los costos para una planta de revisión técnica para aplicar el anteproyecto para dos escenarios.

ESCENARIO	COSTO ANUAL EQUIVALENTE	VALOR PRESENTE
COSTO MINIMO	<b>\$2.604.652</b>	<b>\$17.739.932</b>
COSTO MAXIMO	<b>\$5.841.536</b>	<b>\$39.785.908</b>

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 27:** Valor presente de los costos para el centro de homologación de modelos nuevos según escenarios

ESCENARIOS	VPN
COSTO MINIMO	<b>\$743.614.800</b>
COSTO MAXIMO	<b>\$747.374.792</b>

Fuente: Elaboración propia

## 7. EVALUACIÓN DE LOS BENEFICIOS DIRECTOS ATRIBUIBLES A LA NORMA.

### 7.1. Metodología

A partir de la descripción de los impactos del anteproyecto, se estiman los beneficios económicos atribuibles a la norma, los que vienen dados por la reducción de ruido (tanto hacia el interior como exterior del bus) y como afecta esta reducción al bienestar de las personas.

La literatura especializada reconoce, y ha empleado, para evaluar el efecto del ruido ambiental en las personas el método de las medidas defensivas (dobles ventanas) y el método de los precios hedónicos de las propiedades (Azqueta, 1994, p.238-242).

Otro estudio (Kuik, Oosterhuis y Jansen, 1992, p. 22) divide el impacto del ruido en las personas en dos categorías: riesgos a la salud y cambios en las condiciones del ambiente vital. Sugieren para valorar beneficios por disminución de riesgos en la salud el cálculo del valor agregado asociado a los días perdidos y de actividad restringida, los gastos evitados asociados a seguros de salud y la valoración contingente para el efecto de irritabilidad. En el caso del efecto sobre las condiciones del ambiente vital (hogar, escuela, oficina) se identifican el valor agregado de las pérdidas de oportunidades laborales por problemas de aprendizaje, el precio de las viviendas según el método de precios hedónicos y la pérdida de bienestar estimada a través de valoración contingente.

En Chile, se dispuso de antecedentes de valoraciones asociadas a proyectos relacionados con ruido ambiental. El estudio de introducción de buses a gas natural comprimido realizado por PUC (1998) utilizó la metodología de precios hedónicos, transfiriendo un coeficiente de depreciación atribuido a ruido obtenido en un meta-análisis hecho en EEUU. Otro antecedente es el estudio realizado por SECTRA (1999) que analiza propuestas de política para promover a los peatones y realiza una valoración subjetiva del ruido que afecta a peatones a través de un método de preferencias declaradas.

Dada la información disponible y recopilada en este estudio y los tipos de impactos identificados, este informe empleará estudios ya realizados y los adaptará al problema de esta evaluación. Los métodos empleados para evaluar los beneficios del anteproyecto son los señalados en el siguiente cuadro.

**Cuadro 28:** Tipos de impactos en las personas y metodología de valoración

IMPACTO EN LAS PERSONAS	RECEPTOR DEL EFECTO	MÉTODO DE MEDICIÓN DEL EFECTO
Reducciones de ruido exterior	Casas	Medidas defensivas (doble ventana); Precios hedónicos
	Departamentos	Medidas defensivas (doble ventana)
	Oficinas	Medidas defensivas (doble ventana)
	Peatones	Valor subjetivo de desutilidad según preferencias declaradas
Reducción de ruido al interior del bus	Pasajeros	Transferencia de beneficio (preferencias declaradas en peatones)

Fuente: Elaboración propia

A continuación se detallan cada uno de las metodologías empleadas y la forma en que son utilizadas en este informe.

#### 7.1.1. Método de medidas defensivas (dobles ventanas)

Esta metodología asume que la ausencia de ruido molesto al exterior de las viviendas es un bien sustituto perfecto de las dobles ventanas en la producción de tranquilidad (ausencia de ruido molesto) al interior del hogar. De este modo, es posible determinar la disposición marginal a pagar por una unidad adicional del bien ambiental (ausencia de ruido al interior del hogar) en función del precio del bien sustituto (doble ventana), el nivel del bien ambiental y la elasticidad de sustitución entre ambos (en el caso que no sea sustitutos perfectos).

Según esto, los beneficios de la mejora ambiental (los resultados esperados de este anteproyecto) podría aproximarse calculando el ahorro de costos que representa poder prescindir de una determinada cantidad del bien privado.

Los supuestos más importantes para aceptar el costo defensivo como medida de la disposición a pagar por tranquilidad al interior del hogar, es el de perfecta sustituibilidad entre el bien ambiental y la medida defensiva y la independencia de la relación marginal de sustitución de las cantidades consumidas de los bienes.

Existen dos problemas en estas estimaciones. Uno es una subvaloración de los beneficios calculados por el efecto renta, que se relaciona con el hecho que al abaratare el costo de producir tranquilidad fruto de la norma aumenta el consumo de otros bienes, en particular los bienes superiores.

El segundo problema es que los bienes en realidad no son sustitutos perfectos, fundamentalmente porque la medida escogida (doble ventana) no es igualmente eficiente en reducir el ruido interior como lo es si no existiera ruido exterior que lo cause. Además el doble vidrio posee otros efectos en el bienestar como aislación térmica y problemas de ventilación. Este efecto, dado que genera diferentes efectos en relación con el bien ambiental, algunos positivos y otros negativos, no permite saber a priori si la valoración sobrestima o subestima la estimación de la disposición a pagar por el ruido proveniente del exterior.

#### *Datos y supuestos empleados en el cálculo*

No obstante las limitaciones se considera viable como una primera aproximación al verdadero impacto. Para efectuar el cálculo se han considerado los siguientes datos y supuestos:

1. La valoración incluye casas, departamentos y oficinas en la zona urbana del Gran Santiago.

2. Se tomó la relación  $m^2$  de ventanas/ $m^2$  de planta obtenida del estudio UC (1997).
3. La relación entre  $m^2$  afectos a ruido (área de influencia) y  $m^2$  construidos totales (planta) es la misma que la obtenida del estudio USACH 1989 para el área total de la ciudad, actualizada con los nuevos flujos de buses.
4. Se tomó como medida de la reducción de la calidad acústica producto de la norma el promedio para los 1.800 puntos del estudio de USACH (1989) actualizado.
5. Dentro del área de influencia, la cantidad de ventanas dobles que se instalan es equivalente al porcentaje de población altamente molesta según el criterio de Schultz.
6. Las personas que evitan la ventana doble producto de la norma son el porcentaje de población que sale de la categoría de altamente molesta según Schultz.
7. Se asumió que el porcentaje de población que sale de la categoría de altamente molesta equivale al porcentaje de superficie de ventanas dobles que dejan de tener sentido como medida defensiva.
8. Se asumió como medida defensiva la doble ventana (y no el doble vidrio). El precio de empleado para el  $m^2$  de una segunda ventana de aluminio fue de \$39.004, a precio de mercado con instalación incluida.
9. Como las reducciones de ruido son diferentes anualmente, se anualiza la inversión en ventana doble y se estima un valor equivalente anual.
10. Vida útil de la ventana mayor a 15 años.
11. Dado que anualmente crecen los  $m^2$  construidos, también se considera como parte del universo de  $m^2$  de ventanas las nuevas construcciones.

#### Aplicación del método

Se desconoce que porcentaje de la población ya ha incurrido en esta inversión. Por otro lado, si se ha incurrido en ventanas dobles las reducciones esperadas no debieran permitir recuperar este bien, siendo el efecto en estos casos igual a 0. Dado esto, se construyeron tres escenarios que simulan comportamientos de demanda futura respecto de la compra de ventanas dobles:

- (a) Escenario donde el beneficio de las ventanas dobles evitadas es sólo en las construcciones nuevas. En estos casos es esperable que el costo realmente se evite (y asumiendo que no tiene otro uso más allá del ruido). Este escenario debiera ser el mínimo costo estimado por este método, dado que no reconoce que hay demanda por ventanas dobles en las construcciones existentes.
- (b) Escenario donde el beneficio es sobre toda la superficie de  $m^2$  de ventanas que dejan de estar afectas a ruidos altamente molestos producto del anteproyecto. Esto asume que a la fecha nadie en las construcciones existentes ha incurrido en el costo, por lo tanto todos son potenciales beneficiados, siendo por lo tanto una aproximación al valor de costo máximo según esta metodología. Una explicación opcional es que independiente de cuántos hayan incurrido en el gasto a la fecha, todos los que salen de la categoría de "altamente molestos" tendrían demanda por ventanas dobles y, por lo tanto, evitarán efectivamente el costo. Por último, este escenario refleja la máxima disposición a pagar de la ciudad por la mejora ambiental, asumiendo los supuestos de perfecta sustituibilidad, independientemente de cuánta gente haya incurrido ya en evitar dicha molestia.
- (c) Escenario intermedio de beneficios. En este caso se busca identificar una demanda intermedia a las de los escenarios antes señalados. Se ha supuesto que una fracción de la población total irá decidiendo poner ventanas en el futuro (y por lo tanto evitar ponerlas producto de la norma) linealmente entre el 2001 y el 2015, alcanzando un 100% al final del periodo. La fracción de población que tiene este comportamiento corresponde a los habitantes de casas y departamentos. Las oficinas se excluyen, dado que son los que con mayor probabilidad han incurrido en el gasto a la fecha.

### 7.1.2. Método de precios hedónicos de las propiedades

Esta metodología se emplea para conocer el precio implícito de un atributo ambiental relevante para una vivienda (como lo es el ruido) en el mercado inmobiliario. Para esto se debe estimar una función de precios hedónicos, en la cual se relaciona el precio de la vivienda con una serie de atributos de la misma que explican el porqué de su precio. Estas características son fundamentalmente estructurales (m<sup>2</sup> construidos, material, N° de piezas, etc.), del vecindario (cercanía al metro, seguridad, etc.) y características ambientales, entre las que está el ruido. Luego a través de procedimientos matemáticos, se puede aislar el efecto del ruido en el precio de la vivienda y estimar así la disposición marginal a pagar o precio implícito. Lo que se obtiene entonces con este método es conocer cuánto castigan o premian el precio las personas que han adquirido viviendas por la ausencia o presencia de ruido exterior.

En nuestro país no se han hecho este tipo de estudios para valorar el efecto del ruido. Esto obliga, para efectos de este informe, a utilizar estimaciones realizadas en otros contextos y transferirlas a la realidad local. Un estudio realizado por la Universidad Católica (1999) utiliza esta metodología para estimar los beneficios de incorporar buses a gas natural en la ciudad de Santiago, y serán estos mismos antecedentes los que se utilizarán para la presente evaluación.

Si el anteproyecto produce una reducción en los niveles de ruido ambiental, según esta metodología debiera producirse una revalorización de las propiedades que se ven actualmente impactadas por el nivel de ruido proveniente de buses y taxibuses. Una vez reducidos los niveles de ruido, lo más probable que ocurra es que estos beneficios recaerán en el corto plazo en los usuarios de las viviendas (por ejemplo arrendatarios), para finalmente reflejarse en un incremento de precios de dicha propiedad. Por lo tanto, el beneficiario final será el dueño de la vivienda.

Estudios realizados en EEUU y citados por UC (1999) demuestran que el precio implícito o disposición a pagar por el ruido a través del precio de las viviendas depende del nivel del ingresos de las personas. Se encontraron cifras de reducciones de precio de un 0,48% por cada dB de incremento para casas adquiridas por personas de ingreso alto hasta 0,08% en vecindarios más pobres.

#### Datos y supuestos empleados para el cálculo

- Se tomó un precio implícito de 0,4%, obtenido de un meta-análisis realizado por Nelson, 1982 (citado en Azqueta (1997)). Este estudio pasó revista a una serie de 10 estudios que abordaban el tema del impacto del ruido proveniente de tráfico de carreteras. El rango de reducciones en el precio de venta de la vivienda (expresados como valor presente) osciló entre 0,08% y 1,05%, teniendo como valor medio el 0,4%.
- Se estimó sólo el efecto en casas. El área de depreciación fue toda la zona urbana de Santiago.
- La información de precios de venta de viviendas provino de la Asociación de Corredores de Propiedades (último trimestres de 1998) para el sector oriente de Santiago. Para extrapolar al resto de la ciudad, en donde no se dispuso de información, se estimó un valor de las casas en función del precio del valor de los terrenos.
- Las reducciones de ruido son el resultado de la simulación señalada en el capítulo de impactos, realizado en base a los datos actualizados del estudio de USACH (1989). Se asumió que el porcentaje de viviendas afectadas era el mismo que el porcentaje de personas afectadas que arroja este estudio.

- La tasa de descuento empleada para anualizar las estimaciones de la depreciación y actualizar los flujos fue de 12%, que corresponde a la sugerencia de tasa social de MIDEPLAN (MIDEPLAN, 2000).

Tal como señala Azqueta (1994, pág. 251), este tipo de estimación es una primera aproximación al impacto y sólo refleja la ganancia de bienestar de las personas durante el tiempo que permanecen en las viviendas. Esta estimación no contempla los beneficios que puedan existir durante los desplazamientos o el tiempo de permanencia en el trabajo o centro de estudios.

En este caso, si bien la transferencia de beneficios es aceptada cuando no existe información local, se está asumiendo que la demanda de la Región Metropolitana por el bien ambiental se comporta de manera similar que la del estudio original (en EEUU y realizado con anterioridad a 1982).

### 7.1.3. Estimación de beneficios en peatones y pasajeros

Para la estimación de beneficios del anteproyecto en los peatones se tomó un estudio realizado por SECTRA (1999) que mide el efecto del ruido sobre la elección de la ruta peatonal, para luego estimar un valor subjetivo de desutilidad atribuido a caminar por vías peatonales con nivel de ruido alto. La metodología empleada en este estudio fue la de preferencias declaradas.

Las técnicas de preferencias declaradas han sido aplicadas en estudios de transporte desde fines de los años 70. Estas técnicas se refieren a un conjunto de metodologías que utilizan juicios declarados por los individuos acerca de sus preferencias sobre un conjunto de alternativas de transporte, donde las opciones corresponden típicamente a descripciones de situaciones de transporte o contextos definidos por el modelador. Estas metodologías se pueden complementar con datos de modelación y deben incluir una serie de criterios de diseño en las encuestas de manera de garantizar la obtención de una adecuada "función de utilidad que de cuenta de las preferencias de los usuarios, la cual puede ser utilizada en la determinación de beneficios directos a los viajeros". (SECTRA, 1999, pág. 3-25 a 3-28)

Para estimar el efecto del ruido, el estudio realizó un experimento "genérico de elección de ruta peatonal" en donde, a través de encuestas directas a peatones, se buscó medir la desutilidad relativa de una serie de atributos asociadas a un tramo genérico de vereda. Las variables estudiadas fueron largo de la caminata, calidad del entorno, vigilancia, iluminación, ancho de vereda, segregación de flujo, estado de la vereda, congestión peatonal, demora en intersecciones y nivel de ruido.

Para valorar económicamente la preferencia de los usuarios, se consideró la estimación obtenida de un experimento que midió el valor dado por los encuestados ante la opción de caminar o tomar un bus para distintos escenarios de tiempo y distancia de viaje versus valor de la tarifa del bus. Esta estimación se emplea para calcular en términos económicos la desutilidad manifestada por los peatones respecto del ruido.

Los resultados en general de este estudio señalan que "usuarios prefieren caminar por lugares con menos ruido" y que "...los encuestados no presentan una valoración distinta entre caminar con un nivel de ruido medio o bajo" pero sí respecto de ruido alto, donde el modelo es significativo. Por otro lado el estudio concluye que el parámetro asociado a ruido alto, estimado para la muestra de ingresos bajos pierde significancia, "lo que implica que las personas de nivel de ingresos bajos les resulta indiferente caminar en cualquier condición de ruido." (SECTRA, 1999, pág. 3-56)

Finalmente, para estimar el beneficio en los pasajeros de buses se transfirió las estimaciones realizadas para peatones. En este caso se asumió que el pasajero del bus tiene la misma disposición a pagar que el peatón por

un viaje menos ruidoso. Esta extrapolación no considera que el viaje de bus es en promedio más largo que la caminata.

## 7.2. Estimación de beneficios en las personas por reducciones en el ruido ambiental.

A continuación se describen los cálculos realizados y los resultados para las tres evaluaciones de beneficios en las personas expuestas a ruido de exteriores.

### 7.2.1. Estimación de beneficios en usuarios de casas, departamentos y oficinas según medidas defensivas.

Para determinar el número de m<sup>2</sup> de ventanas expuestas al ruido exterior en la RM, se consideró un informe realizado por UC en 1997, en el contexto del Plan de Prevención y Descontaminación de la RM, que estimó la superficie expuesta a contaminación atmosférica. A partir de este dato se obtuvo una superficie total de ventanas, que es el total empleado en el cálculo. La tabla con los m<sup>2</sup> de ventanas en función del tipo de construcción se muestra en el anexo 2. El siguiente cuadro muestra la cantidad total de ventanas potencialmente expuestas, la superficie de expuestas a niveles molestos de ruido con y sin norma y el porcentaje de reducción producto de la regulación.

**Cuadro 29:** Total ventanas dobles en construcciones nuevas y existentes en la RM, superficie afecta al niveles de ruido altamente molesto con y sin norma y reducción atribuible a la norma

AÑO	TOTALES	S/ NORMA		C/ NORMA		% REDUCCIÓN DEL IMPACTO	m <sup>2</sup> EVITADOS (escenario de máximo impacto)	m <sup>2</sup> EVITADOS (escenario de impacto intermedio)
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%			
2003	49,788,605	2,402,563	4.8%	2,348,726	4.7%	0.1%	53,836.6	22,073.0
2005	52,708,774	2,471,282	4.7%	2,341,028	4.4%	0.2%	130,253.3	53,403.9
2008	57,153,451	2,606,506	4.6%	2,375,086	4.2%	0.4%	231,419.3	94,881.9
2011	61,660,091	2,773,064	4.5%	2,447,528	4.0%	0.5%	325,535.8	133,469.7
2015	67,315,155	2,983,053	4.4%	2,598,311	3.9%	0.6%	384,741.5	157,744.0

Fuente: Elaboración propia en base a USACH (1989), UC (1997)

La penúltima columna muestra los m<sup>2</sup> de ventanas que evitan la doble ventana según el escenario de máximo impacto, la última columna el escenario de impacto intermedio y el siguiente cuadro el escenario de mínimo impacto según el método de valoración escogido.

**Cuadro 30:** Superficie de ventanas dobles en construcciones nuevas y superficie evitada producto del anteproyecto

AÑO	TOTAL	% REDUCCIÓN DEL IMPACTO	m <sup>2</sup> EVITADOS (escenario de mínimo impacto)
2001	1.421.410	-	-
2003	2.878.582	0,11%	3.113
2005	2.920.169	0,25%	7.216
2008	4.444.677	0,40%	17.997
2011	4.506.640	0,53%	23.793
2015	5.655.064	0,57%	32.322

Fuente: Elaboración propia en base a USACH (1989), UC (1997)

El valor de mercado del m<sup>2</sup> de una ventana es de \$39.004 incluida la instalación. Este valor se refiere a una ventana de aluminio y provino del menor valor de cotizaciones realizadas por CONAMA a mediados del año 2000.

En base a las reducciones estimadas en los cuadros 29 y 30 y el dato del costo del m<sup>2</sup> de ventana, se construyen los siguientes escenarios de costos. Los flujos para los 15 años se presentan en anexo.

**Cuadro 31:** costos evitados en casas, departamentos y oficinas para tres escenarios de impacto según la metodología de costos defensivos.

ESCENARIO	VPN COSTO EVITADO
<i>Escenario de máximo impacto: 100% de la población altamente molesta que sale de la categoría por efecto de la norma evita el costo de la doble ventana (tanto en ventanas de construcciones existentes como nuevas)</i>	<b>\$5.085.650.148</b>
<i>Escenario de impacto intermedio: El 100% de las oficinas existentes y un 33% del resto (casas y departamentos) ya tiene ventanas dobles (costo hundido), y la demanda futura por ventanas tiene un incremento lineal en las construcciones que no han instalado.</i>	<b>\$2.085.116.561</b>
<i>Escenario de mínimo impacto: El 100% de las ventanas de las nuevas construcciones de las áreas de cada distrito que salen de la categoría de altamente molesta evita el costo defensivo</i>	<b>\$356.747.393</b>

Fuente: Elaboración propia

7.2.2. Estimación de beneficios en residentes y/o propietarios de casas de la RM según método de precios hedónicos.

La revalorización de la propiedad atribuible a las reducciones en el nivel de ruido obtenida a partir de la transferencia de un coeficiente hedónico calculado fuera de Chile (ver capítulo 7.1 para detalle de la metodología) se estimó como un valor anualizado, dado que el efecto de la norma será una reducción paulatina en los niveles de calidad, y por lo tanto es una reducción diferente en un año con respecto al otro. Además, como se mencionó en el capítulo de impactos, la mejoría en calidad percibida por lo habitantes incluye la existencia de ruido proveniente de otras fuentes móviles no reguladas, las que crecen su aporte en el futuro.

El resultado de la aplicación de esta metodología, arroja una estimación de beneficios atribuibles al anteproyecto expresados como una revalorización en el valor de las casas del gran Santiago. El cuadro 32 a continuación detalla el flujo obtenido. Esta estimación no incluye departamentos ni oficinas.

Como se observa, los beneficios obtenidos en casas del gran Santiago son casi el doble más grandes que los obtenidos para casas, departamentos y oficinas según la metodología de las ventanas dobles. Estos resultados son consistentes con la teoría el mayor valor estimado según el coeficiente hedónico, dado que captura de mejor manera la totalidad de los beneficios de la reducción de ruido percibidos por lo habitantes al adquirir una propiedad: por ejemplo un barrio más tranquilo y ausencia de ruido con ventanas abiertas.

En la estimación del valor de las propiedades (para luego aplicar el coeficiente hedónico) se extrapoló para todo el gran Santiago la razón entre el precio del terreno y precio total de la casa obtenida de varias comunas del sector oriente de la ciudad. Este paso se considera que puede subestimar los valores, dado que en estas

comunas el precio de la tierra es particularmente alto y los sitios en promedio más grandes que los observados en otras comunas.

**Cuadro 32:** Revalorización de las casas en el gran Santiago aplicando la metodología de precios hedónicos y transfiriendo coeficiente de estudio de Nelson (1982)

AÑO	REVALORIZACIONES ANUALIZADAS (\$) PARA CADA AÑO Y VPN TOTAL
2002	333.228.912
2003	666.457.825
2004	1.410.075.201
2005	2.153.692.577
2006	2.243.530.664
2007	2.333.368.750
2008	2.423.206.838
2009	2.177.148.164
2010	1.931.089.491
2011	1.685.030.819
2012	1.630.891.560
2013	1.576.752.302
2014	1.522.613.044
2015	1.468.473.786
<b>VPN 2000-2015</b>	<b>\$9.280.111.757</b>

Fuente: Elaboración propia

### 7.2.3. Estimación de beneficios en peatones que caminan más de cuatro cuadras.

Según la encuesta origen destino, se realizan al día en la región metropolitana 1.658.200 viajes de a pie de más de cuatro cuadras, ya sean como único modo de transporte o como medio para acceder a otro modo.

Se estimaron, del capítulo de impactos del anteproyecto, los niveles de reducción de ruido en la vereda de las vías principales o de las zonas de impacto del ruido de buses. Para cuantificar, primero se estimó el porcentaje de peatones molestos del total, multiplicando el porcentaje de molestia de Schultz por el factor de alcance del ruido dentro de cada distrito del estudio USACH (1989). Esto supone que los peatones se distribuyen homogéneamente dentro de las calles de cada distrito.

Dado que este escenario desconoce que los peatones tienden a encontrarse en las vías principales (sobre todo cuando el destino es un paradero de micros) se construyó otro escenario de mayor impacto que aplica directamente la relación de Schultz a los datos de ruido sobre la vereda (a cero metros de la fuente) para estimar un nuevo porcentaje de peatones altamente molestos. Este segundo escenario, entonces, se puede interpretar como si el 100% de los peatones (que caminan más de cuatro cuadras) camina todo el trayecto por las veredas de las vías principales.

Para hacer la valoración, se obtuvo de un estudio de SECTRA (1999) información respecto de la valoración subjetiva a la desutilidad de niveles altos de ruido. El valor dado por este estudio fue de \$12,22/cuadra con una tarifa de \$180 pesos. Actualizado al valor de la tarifa de septiembre de 2000 (\$280) el valor es de \$19,01/cuadra. Considerando que la caminata promedio para el modo peatón es de 5,5 cuadras, el valor alcanza un total de \$104,5/peatón/viaje. Esto significa que un peatón valoraría la desutilidad de una caminata de 5,5 cuadras por calles con ruido alto en \$104,5.

Los dos escenarios construidos reflejan un rango mínimo y uno máximo del efecto sobre los peatones, y es esperable que el efecto se sitúe entre ambos valores. El impacto agregado utilizando estos datos se muestran en el siguiente cuadro.

**Cuadro 33:** Costo evitado en peatones que caminan más de cuatro cuadras método de valoración subjetiva de la molestia

ESCENARIO	VPN
Valor mínimo de costo evitado	<b>\$707.135.451</b>
Valor máximo de costo evitado	<b>\$2.885.283.851</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SECTRA 1999.

Debe notarse además que los coeficientes de Schultz hacen una relación entre ruido ambiental y porcentajes de molestia asociado a personas que habitan viviendas, por lo tanto aplicarlo a peatones y pasajeros (donde el impacto es más agudo pero de menos tiempo que en las viviendas y no se realiza otras actividades como en las casas) se considera que sobrestima el impacto. Por esta razón el impacto debiera tender hacia el valor mínimo de los señalados en el cuadro.

### 7.3. Estimación de beneficios en los pasajeros por reducciones de ruido al interior del bus.

Para estimar el valor de la molestia en los pasajeros de los buses se decidió transferir la valoración subjetiva del peatón por viaje (\$104,5/peatón/viaje), para luego aplicársela al total de pasajeros que salen de la categoría de altamente molesta producto de las reducciones de ruido al interior del bus. Este valor además se corrigió por las características de ingreso de los pasajeros, según datos obtenidos del estudio SECTRA, 1999. Esto se hace para incluir el hecho que en el estudio el grupo de ingresos bajos resultó indiferente a caminata bajo niveles altos de ruido.

Para cuantificar la población que sale de la categoría de altamente molesta producto de la norma se aplicó directamente el criterio de Schultz con y sin anteproyecto a los pasajeros del bus. Como se señaló en el caso de los peatones este criterio estaría sobrestimando las cantidades de gente molesta, por lo cual se creó un segundo escenario en donde la cantidad de pasajeros que salen de la categoría de molestia se estima a partir de los porcentajes de molestia calculados con los valores de inmisión a los peatones. Esto se interpreta como si los pasajeros recibieran la misma inmisión que los peatones junto a las vías principales. Esto se justifica por la similitud de los valores de inmisión del test dinámico al interior y exterior. Los porcentajes de gente altamente molesta medido según uno u otro método varían sustancialmente, de 59,7% en el caso del primer escenario en el año 2015 a 22,7% en el caso del segundo escenario en el mismo año, por lo que valoración reflejará esta diferencia.

El cuadro 34 muestra el resultado de ambos escenarios.

Por otra parte, los tiempos de viaje promedio en buses en gran Santiago son significativamente mayores que los tiempos de viaje del modo peatón, por lo tanto el tiempo de exposición a niveles altos de ruido es mayor en los pasajeros. Por lo tanto, los cálculos subestimarían dicho efecto en ambos escenarios.

**Cuadro 34:** Costo evitado en pasajeros transfiriendo valor de peatones estimado según método de valoración subjetiva de la molestia

PASAJEROS	VPN
Valor mínimo de costo evitado	<b>\$6.635.779.309</b>
Valor máximo de costo evitado	<b>\$17.053.451.088</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SECTRA 1999

Los valores obtenidos de beneficios en los pasajeros son significativamente más altos que en los peatones dado por el mayor número de pasajeros de buses que utilizan este modo de viaje (4.551.237 viajes/día) y porque las reducciones atribuibles a la norma son significativamente mayores al interior del bus que las reducciones en el ruido percibido por los que caminan en las veredas.

#### 7.4. Agregación de beneficios para la Región Metropolitana para los próximos quince años.

El siguiente cuadro resume los beneficios para todos los agentes a los que se les cuantificó su impacto. Dado que existen escenarios en cada valoración se muestran las sumas de los escenarios de mínimo, intermedio y máximo beneficio para obtener un rango del impacto total cuantificado atribuible a la norma.

Dado que se dispuso de dos valoraciones para el efecto en las casas (gastos defensivos y precios hedónicos) se presentan los resultados totales empleando uno u otro método.

**Cuadro 35:** Beneficios totales estimados producto de la aplicación del anteproyecto en la Región Metropolitana según seis escenarios

ESCENARIOS CON MEDIDA DEFENSIVA EN CASAS, DPTOS. Y OFICINAS	VPN
Total escenarios de mínimo	\$7.699.662.153
Total escenarios mínimo/intermedio	\$9.428.031.321
Total escenarios de máximo	\$25.024.385.086

ESCENARIOS CON PRECIOS HEDÓNICOS EN CASAS, Y MEDIDAS DEFENSIVAS EN DPTOS Y OFICINAS	VPN
Total escenarios de mínimo	\$16,682,960,080
Total escenarios mínimo/intermedio	\$16,973,326,100
Total escenarios de máximo	\$30,073,235,920

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SECTRA 1999

Como se observa en el cuadro 35, los beneficios para la población de la región estarían entre \$7.700 y \$30.000 millones de pesos expresados como VPN. No se estimó una probabilidad asociada a este rango.

Si aceptamos los ordenes de magnitud de los beneficios, las cifras permiten comparar con las estimaciones de beneficios asociadas a la descontaminación atmosférica, en donde los cálculos arrojan por lo menos un orden de magnitud mayor.

Si estas cifras se distribuyeran homogéneamente entre la totalidad de la población urbana de la RM, se obtiene una cifra per capita de entre \$4 y \$7 mil pesos (en valor presente). En base al estudio de USACH, es altamente probable que la población afectada sea una fracción cercana al 25% del total o menos, en cuyo caso los beneficios individuales serían de entre 16 y 34 mil pesos en valor presente (VP).

## 8. COMPARACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS Y ANÁLISIS GENERAL DE LOS EFECTOS DE LA REGULACIÓN

Considerando las estimaciones realizadas en el capítulo 7 y 8 sobre costos y beneficios directos del anteproyecto se puede construir un cuadro que sume ambas cifras (todas están expresadas como VP en \$ 2000). El cuadro 36 expresa el impacto neto cuantificado del anteproyecto en la Región Metropolitana. Debe notarse que la estimación de beneficios posee un grado mayor de incertidumbres que la realizada para los costos, y por esto se presenta como un rango de valores. En todos los escenarios los beneficios superan a los costos, por lo tanto la recomendación apuntaría, en general, a aceptar la aplicación del anteproyecto. A continuación (página siguiente) se analiza más detenidamente los costos y beneficios según actores (cuadro 37).

**Cuadro 36:** Comparación de costos y beneficios cuantificados del anteproyecto de norma en la Región Metropolitana (en pesos de 2000).

ESCENARIOS CON MEDIDA DEFENSIVA EN CASAS, DPTOS. Y OFICINAS	BENEFICIOS	COSTOS EMISOR	COSTOS FISCALIZADOR	SALDO
Total escenarios de mínimo	\$7.699.662.153	5.364.302.933	79.571.816 (826.946.608)	2.225.787.404 (1.508.412.612)
Total escenarios mínimo/intermedio	\$9.428.031.321			3.984.156.572 (3.236.781.780)
Total escenarios de máximo	\$25.024.385.086			19.580.510.337 (18.833.135.545)

ESCENARIOS CON PRECIOS HEDÓNICOS EN CASAS, Y MEDIDAS DEFENSIVAS EN DPTOS. Y OFICINAS	BENEFICIOS	COSTOS	COSTOS FISCALIZADOR	SALDO
Total escenarios de mínimo	\$16,682,960,080	5.364.302.933	79.571.816 (826.946.608)	11.239.085.331 (10.491.710.539)
Total escenarios mínimo/intermedio	\$16,973,326,100			11.529.451.351 (10.782.076.559)
Total escenarios de máximo	\$30,073,235,920			24.629.361.171 (23.881.986.379)

Nota: Valores entre paréntesis incluyen el costo de la pista de homologación que es una para todo el país.

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 37:** Costos y beneficios según actores

ACTOR	REDUCCIÓN EN EL IMPACTO DEL RUIDO (LEVE, APRECIABLE O SIGNIFICATIVO)	COSTO	BENEFICIO
Peatones	Interferencia en la comunicación oral (A) Efectos sobre la conducta (A) Estrés (A)	-	\$104, 5/peatón/viaje. Total RM entre \$707 y \$2.885 millones
Usuarios permanentes de veredas y calles	Desplazamiento temporal o permanente del umbral de audición (A) Interferencia en la comunicación oral (A) Efectos sobre la conducta (A) Efectos sobre la memoria (L) Efectos en la atención (A) Estrés (A)	-	Existentes y mayores que beneficio unitario de peatones, pero no cuantificado.
Arrendatarios de casas y departamentos expuestos	Interferencia en la comunicación oral (L) Interferencia con el sueño (L) Estrés (L)	-	Entre \$356 y \$10.134 millones para la RM (en VP) dependiendo del método de valoración. El beneficio podría pasar de los usuarios a los propietarios si la mejor calidad se refleja en incrementos en el precio de los arriendos.
Habitantes que son propietarios ( o propietarios arrendadores) de casas, dptos y oficinas expuestas al ruido	Interferencia en la comunicación oral (L) Interferencia con el sueño (L) Estrés (L) Revalorización de propiedades y/o costos evitados por gastos defensivos (doble ventanas)	-	
Trabajadores de oficinas expuestas	Interferencia en la comunicación oral (L) Efectos sobre la memoria (L) Efectos en la atención (L) Estrés (L)	-	Existentes, pero no cuantificado
Estudiantes expuestos	Interferencia en la comunicación oral (L) Efectos sobre la conducta (L) Efectos sobre la memoria (L) Efectos en la atención (L) Estrés (L) Efectos sobre los niños (L)	-	No se cuantificaron
Pasajero	Interferencia en la comunicación oral (S) Efectos sobre la conducta (S) Estrés (S) Efectos en el embarazo (L)	\$1,2 a \$2,5/persona (Incremento tarifa, ver página siguiente)	\$38,5/viaje (rango entre \$0 y \$127 según nivel de ingreso). Total para la RM de entre \$6.635 y \$17.053 millones (VP)
Chofer	Desplazamiento temporal o permanente del umbral de audición (A) Interferencia en la comunicación oral (S) Efectos sobre la conducta (S) Efectos en la atención (A) Estrés (S)	-	No se cuantificaron
Dueños de buses existentes	Entre un 14% y un 84% serían rechazados en la revisión técnica, debiendo incurrir en costos de tratamientos de ruido en escape y motor en el caso de los con motor trasero.	\$512 millones VPN para todo el sector.	-
Dueños de buses nuevos	Mayor costo de inversión en un bus, costo que debiera ser traspasado al usuario según el algoritmo de cálculo de tarifas. Costos de mantención y reparación para toda la vida útil del bus no traspasable al usuario.	\$2.436 millones difícilmente traspasables al usuario (\$2.416 traspasables al usuario en el valor del pasaje)	-
Plantas de revisión técnica de buses	Inversión y operación de equipos para fiscalizar norma	Entre \$35,4 a \$79,6 millones traspasables al dueño del bus (en VP)	-
Estado como organismo fiscalizador	Costos en habilitación de centro de homologación y eventuales equipos de fiscalización en ruta	\$747 millones el centro de homologación (VP)	-

En base a los ordenes de magnitud de los beneficios, los principales beneficiados por el anteproyecto en términos generales son los pasajeros de los buses y los habitantes y propietarios de casas, departamentos y oficinas.

Los pasajeros deben asumir parte de los costos asociados a los buses nuevos (los mismos que reducen la emisión hacia el interior del bus) pero reciben beneficios muchos más significativos que el desembolso. Tomando información de SECTRA (1999) mayor será el beneficio mientras mayor es el nivel de ingreso del pasajero. Las personas de bajos ingresos son los únicos que su saldo es negativo y cercano a 0, pero que por las magnitudes y la gradualidad en que se manifiesta el efecto positivo en un horizonte de 15 años, se considera en definitiva despreciable.

Esta conclusión se puede respaldar por un estudio realizado por la SEREMITT RM en 1998, en que a partir de un experimento de preferencias declaradas se demuestra que los usuarios valoran altamente los mejoramientos de calidad del servicio ofrecido, en particular el mejoramiento del estándar de calidad de las máquinas (donde el ruido es un componente), junto con mejoras en los paraderos y la existencia de choferes profesionales.

#### Efecto en las tarifas

Para estimar el efecto neto en los pasajeros, debe identificarse el costo que podría traspasarse a los usuarios del servicio a través de un alza en el precio de los pasajes. De acuerdo a lo señalado en el capítulo 2, sólo el costo de inversión de los buses nuevos podría ser traspasado a los usuarios. Aplicando la fórmula de tarifa vigente, que asigna a las variaciones en los costos de inversión de un bus nuevo un peso de 37% sobre la tarifa total, el costo traspasable a los usuarios corresponde a un 49,8% del costo total, quedando fuera los costos de las mantenciones futuras de los buses nuevos. Este porcentaje significa traspasar a tarifa aproximadamente \$592 mil por bus, lo cual representa un 1,16% del costo de inversión total y por lo tanto un incremento de la tarifa de \$1,2 por pasaje.

Si se pudiera traspasar la totalidad del costo de la norma de los buses nuevos equivalente a \$1,2 millones, el efecto en tarifa sería aproximadamente \$2,5 por pasaje.

Es importante señalar que los costos señalados en los párrafos anteriores se lograrían una vez que el parque esté 100% renovado (año 2011). Dependiendo de la forma de cálculo de los valores del algoritmo de cálculo de la tarifa el costo debiera ir subiendo paulatinamente hasta llegar al valor señalado.

Los buses existentes no podrían traspasar a tarifa ninguno de sus costos, dado el algoritmo tarifario vigente.

Dado los beneficios y las magnitudes de los incrementos en los pasajes, se considera que las eventuales alzas no debiera significar problemas en ninguna categoría de usuario.

#### Revisiones técnicas

Algo similar debiera ocurrir con el costo incremental en las plantas de revisión técnica, que debieran traspasar sus costos incrementales a los buses. Considerando que cada planta revisa la totalidad del parque en un año, el incremento en la tarifa de la revisión debiera subir entre \$260 y \$584 por bus/visita.

En el caso de los usuarios y propietarios de viviendas, el impacto es relevante, más que por las magnitudes absolutas de reducción en los niveles de ruido por la cantidad de población potencialmente afectada. La

incertidumbre de las valoraciones impide detectar el real impacto para la región, pero debe notarse que las zonas donde el ruido de buses es una fuente importante puede abarcar una franja de 200 m de ancho, cuyo centro son las vías donde circulan los buses y taxibuses de la locomoción colectiva.

#### Incertidumbres de las estimaciones

La cantidad de peatones y pasajeros son valores de relativa poca incertidumbre. También existe una baja incertidumbre en la composición del parque de buses, las proyecciones de la cantidad y composición en el largo plazo y los costos de cumplimiento.

Las emisiones de ruido medidas en el estudio de Ambiente consultores (1999) y el supuesto de representatividad de todo el parque de la RM no debieran tener errores importantes, dado lo relativamente homogéneo de las máquinas dentro de cada modelo y el tamaño de muestra relativamente grande.

La calidad acústica del estudio USACH (1989) se proyectó a largo plazo mediante una serie de supuestos. Se consideró que las emisiones del automóvil y camión tipo no varían con el tiempo, corrigiendo sólo la emisión de los buses (por el significativo cambio en el tipo de bus que circulaban en 1989 con respecto al 2000). Se espera que este supuesto subestime los efectos de la calidad acústica final, producto de posibles regulaciones en las emisiones de ruido de dichos vehículos dentro del período considerado. En las proyecciones de calidad acústica también se consideró que el tráfico de rodado corresponde a la fuente principal en el entorno de las vías principales, de modo que se descartaron los efectos de otras posibles fuentes esporádicas o propias del lugar, situación que podría sobreestimar levemente los resultados.

La mayor incertidumbre de la presente evaluación está asociada a la estimación de población afectada por ruido en las distintas categorías y los valores económicos estimados para el impacto del ruido.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones y Recomendaciones Generales

1. La norma genera en el mediano y largo plazo beneficios netos para la región metropolitana. Por lo tanto se recomienda normar. No se justifica, por lo tanto, relajar las exigencias dispuestas, a no ser que se justifiquen por razones de equidad o de viabilidad técnica.
2. Los beneficios los reciben principalmente pasajeros; usuarios y propietarios de viviendas y oficinas y peatones cercanos a vías por donde circulan buses de locomoción colectiva. Otros beneficiados de manera importante con la regulación son el chofer y las personas que trabajan en las veredas de las vías principales.
3. En el largo plazo, un porcentaje importante de los costos que se le aplican a los buses y taxibuses recaerán sobre los pasajeros (50% o más) de acuerdo con la lógica de la definición de las tarifas vigentes. Este incremento no debiera superar los \$2,5 por pasaje.
4. Parte de los costos no tarifables puede ser una causa de conflicto con el gremio.

5. Efecto en tarifa es muy menor que los beneficios que se estiman para los pasajeros, por lo tanto se considera que los usuarios estarán dispuestos a pagar más dado que en definitiva percibirán una mejoría en el nivel de calidad del servicio.
6. Se estima que la norma tendrá efectos positivos que no fueron valorados, entre los cuales existen algunos que pueden tener consecuencias importantes en el largo plazo como eventuales reducciones en los niveles de estrés y los efectos positivos sobre la salud y la conducta de los choferes.
7. El impacto es en definitiva en variables que afectan calidad de vida, pudiendo algunas incidir en efectos económicos concretos como es el valor de las propiedades.
8. Respecto de las fuentes no reguladas, para reducir el efecto en el futuro (que podría enmascarar los beneficios logrados en la presente regulación) debiera regularse la cantidad de ellos que circulan en las vías cercanas a población. La solución debiera por lo tanto no sólo en regular emisión sino que estudiar la limitación de la cantidad de vehículos livianos y camiones que circulan en barrios residenciales o áreas peatonales importantes.
9. Es importante coordinar los plazos de esta norma con los plazos que se fijen en las próximas licitaciones de buses dentro de la RM.
10. Es fundamental difundir y capacitar a fabricantes y talleres de buses que se comercializan en el país de tecnologías de reducción de ruido, de manera de garantizar la efectividad de la norma.

#### Conclusiones y Recomendaciones Específicas

11. Se observa una situación de inequidad con los buses con motor trasero existentes, en donde sólo ellos deberán reducir las emisiones en el motor para dar cumplimiento con la norma y abordar un costo significativamente mayor. Para mejorar esta situación se recomienda la eliminación del segundo nivel de exigencia en los buses existentes o la regulación de la emisión en la posición del motor. Si se elimina esta segunda exigencia en orden de ser equitativos entre emisores de la misma categoría, la regulación permitiría detectar la existencia de tubos de escapes en mal estado o tubos de escape que si bien están en buen estado (sin perforaciones) no cumplen la función de silenciar. Esto hace reducir los rechazos a los indicados en el cuadro 9 y evitar una reducción arbitraria en el motor para ciertos buses.

Además, según los niveles observados, se propone exigir límites iguales para los niveles del test estático en todas las categorías de buses (Livianos, Medianos y Pesados). Estos límites podrían ser los fijados inicialmente para los buses pesados y medianos.

12. Debe notarse que, según los ensayos de ruido que define el anteproyecto, el motor es para todos los modelos la fuente principal de ruido. Si se quiere regular esta fuente en los buses existentes se debiera medir ruido en la posición de motor en todas las categorías de buses. Esta medida aumentaría la efectividad de la norma y sería equitativa entre emisores. La dificultad de esta medida radica en la inexperiencia del control de emisiones ruido en buses en funcionamiento, lo cual puede significar la no operatividad de la norma. Si se implementa una medida de esta naturaleza debiera definirse un plazo que permita la adopción gradual de tecnología y la difusión por parte del Estado de las tecnologías y el *expertise* asociado.

13. Se recomienda incluir en el anteproyecto un procedimiento de control del gobernador, de manera de no distorsionar las mediciones y las exigencias respecto de la medición del ruido de fondo en las plantas de revisión técnica.
14. Se propone variar el método de medición de ruido de fondo por un método más simple y de inspección instantánea, con el objetivo de certificar que en el momento en que se realizaron las mediciones no habían otras fuentes importantes. Ya que el instrumental requerido para realizar el test estático no debe ser necesariamente un sonómetro integrador, se propone usar el mismo equipo (con retención de máximo) para muestrear el ruido de fondo. Esto podría realizarse tomando muestras de niveles máximos por 1 minuto, antes y después de la serie de mediciones estáticas. Se recomienda incluir la repetición de alguna muestra que haya sido tomada en presencia de algún ruido ocasional.
15. Se recomienda fijar nuevos niveles de deterioro aceptable para cada posición para las exigencias de los buses nuevos. Se recomienda +5dB sobre los niveles leídos en la homologación para las posiciones interior y del escape. Para el motor se recomienda un deterioro aceptable de +3dB.
16. Se recomienda estudiar algún tipo de regulación hacia el interior de los buses existentes, con el objeto de garantizar una buena mantención y algún tratamiento acústico menor, como recambio de sellos. Esta recomendación se hace considerando que los beneficios que se pueden lograr son importantes versus los costos de estas exigencias. La dificultad puede estar en que estos costos no serían traspasables al usuario.
17. Se recomienda modificar de la exigencia para el centro de homologación de buses nuevos que permita el uso de espacios ya existentes o de menor costo de construcción. Asimismo se considera que un ejemplar por modelo nuevo puede significar poco representativo, por lo cual se recomienda estimar esta muestra con criterios de representatividad estadística.
18. Se recomienda que el texto explicita la facultad de las revisiones técnicas para medir en el test estático las tres posiciones que se midieron en la homologación.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

**Azqueta, D. 1997.** Valoración Económica de la Calidad Ambiental. Mc Graw Hill, Madrid.

**CONAMA. 1999.** Elaboración de estudio de antecedentes para la revisión de la norma sobre contaminación acústica para vehículos de locomoción colectiva contenida en el D.S.Nº122/91 MINTRATEL. Elaborado por Ambiente Consultores 1999 **(Citado en el texto como Ambiente Consultores, 1999)**.

**CONAMA. 1998.** Estudio de seguimiento del plan piloto de utilización de combustibles gaseosos en buses de la RM. Elaborado por Pontificia Universidad Católica de Chile **(Citado en el texto como UC, 1998)**. Santiago.

**CONAMA. 1997.** Valoración de efectos del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la RM en la agricultura y los materiales. Elaborado por Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía.

**Federal Transit Administration. 1995.** Transit Noise and Vibration impact Assessment.

**Fidell, S, D.S. Barber and T.J. Schultz. 1991.** Updating a Dosage-Effect Relationship for the Prevalence of Annoyance Due to General Transportation Noise. Journal of the Acoustical Society of America,.

**INE. 1998.** Compendio Estadístico 1998.

**Intendencia Regional Metropolitana. 1989.** Estudio Base de Generación de niveles de ruido. Elaborado por USACH **(Citado en el texto como USACH 1989)**

**Kuik, O, Oosterhuis, H, Jansen, M. 1992.** Assesment of benefits of environmental measures. Eurpoean Communities Environmental Policy Series, Graham and Trotman, Londres.

**MIDEPLAN. 2000.** Procedimientos y formularios para el sistema de estadísticas básicas de inversión. SEBI 2001.

**MOP. 1995.** Análisis programa estratégico de inversiones. Síntesis ejecutiva.

**Rooke y Fuentes. 2000.** Elaboración de propuesta de norma de ingreso para vehículos nuevos livianos y medianos sobre niveles máximos permisibles de ruido. Informe de Avance Nº1

**SECTRA. 1999.** Análisis y proposiciones de políticas de inversión para favorecer a los peatones. Elaborado por CITRA, Santiago.

**SEREMITT RM 1998.** Estudio de demanda del sistema de transporte público de superficie de Santiago. Realizado por ASTRA Ltda.

**SEREMITT RM. 2000.** Archivo con estadísticas del parque de la RM a enero del 2000.

## ANEXO N°1

### Descripción cualitativa del efecto de ruido en las personas<sup>1</sup>

El ruido aparenta ser el más inofensivo de los agentes contaminantes, puesto que es percibido fundamentalmente por un solo sentido, el oído, y ocasionalmente, en presencia de grandes niveles de presión sonora, por el tacto (percepción de vibraciones). En cambio el resto de los agentes contaminantes son captados por varios sentidos con similar nivel de molestia.

#### Efectos Fisiológicos

#### Efectos Auditivos

La exposición a niveles de ruido intenso durante un período de tiempo significativo, da lugar a pérdidas de audición, que si en un principio son recuperables cuando el ruido cesa, con el tiempo pueden llegar a hacerse irreversibles, convirtiéndose en sordera. A su vez, la exposición a niveles de ruido de mediana intensidad, pero con una prolongación mayor en el tiempo, repercute en forma similar, traduciéndose ambas situaciones en desplazamientos temporales o permanentes del umbral de audición. Los métodos de evaluación se realizan a través de análisis audiométricos y/u otoscópicos.

- a. **Desplazamiento temporal del umbral de audición. (TTS: Temporary Threshold Shift).** El TTS consiste en una elevación del umbral producida por la presencia de un ruido, existiendo recuperación total al cabo de un periodo de tiempo, siempre que no se repita la exposición al mismo. Habitualmente se produce durante la primera hora de exposición al ruido,
- b. **Desplazamiento permanente de umbral de audición. (PTS: Permanent Threshold Shift).** Es consecuencia del TTS, agravado por el paso del tiempo y la exposición al ruido. Cuando un individuo ha sido sometido a numerosos TTS y durante largos períodos de tiempo (varios años), la recuperación del umbral va siendo cada vez más lenta y parcial, al extremo de tornarse irreversible, situación que denominamos PTS. Se vincula directamente con la *Presbiacusia*, pérdida de la sensibilidad auditiva debida a los efectos de la edad. La sordera producida es de percepción y simétrica, lo que significa que afecta ambos oídos con idéntica intensidad.
- c. **Interferencia en la comunicación oral.** La inteligibilidad de la comunicación se reduce por el ruido de fondo. El oído es únicamente un transductor, no discrimina entre fuentes de ruido. La separación e identificación de las fuentes sonoras ocurre en el cerebro. La voz humana produce sonido en el rango 100 a 10000 Hz, pero prácticamente toda la información verbal está contenida en la región de 200 a 6000 Hz. La banda de frecuencia para la inteligibilidad de la palabra (entender palabra y frases) está contenida entre 500 y 2500 Hz. Se cree que la interferencia en la comunicación oral durante las actividades laborales puede provocar accidentes causados por la incapacidad de oír llamadas de advertencia u otras indicaciones. Tanto en oficinas como en escuelas y hogares, la interferencia en la conversación constituye una fuente importante de molestias.

---

<sup>1</sup> Fuente: [www.conama.cl](http://www.conama.cl)

## Efectos No Auditivos

Además de las afecciones producidas por el ruido al oído, éste actúa negativamente sobre otras partes del organismo, donde se ha comprobado que bastan 50 a 60 dBA para que existan enfermedades asociadas al estímulo sonoro. En presencia de ruido, el organismo adopta una postura defensiva y hace uso de sus mecanismos de protección. Se han podido observar efectos vegetativos como la modificación del ritmo cardíaco y vasoconstricciones del sistema periférico. Entre los 95 y 105 dBA se producen afecciones en el riego cerebral, debidas a espasmos o dilataciones de los vasos sanguíneos, además de alteraciones en la coordinación del sistema nervioso central; alteraciones en el proceso digestivo, dadas por secreciones ácidas del estómago las que acarrearán úlceras duodenales, cólicos y otros trastornos intestinales; aumento de la tensión muscular y presión arterial; cambios de pulso en el electroencefalograma; dilatación de la pupila, alterando la visión nocturna, además de estrechamiento del campo visual.

Las reacciones fisiológicas al ruido no se consideran patológicas si ocurren en ocasiones aisladas, pero exposiciones prolongadas (por ejemplo, el ruido de tráfico urbano) pueden llegar a constituir un grave riesgo para la salud. Se ha comprobado que en los sujetos expuestos al ruido, se produce un incremento significativo en la concentración de la hormona GH, que es uno de los principales marcadores de estrés. En todo caso, el estrés ambiental no es más que la respuesta defensiva del organismo a estímulos adversos.

## Efectos Psicológicos

La salud no debe entenderse sólo como ausencia de enfermedad, sino que, salud debe ser sinónimo de bienestar físico y psíquico. La *Psicoacústica* es un área que se dedica a investigar sobre las alteraciones psíquicas que provoca el ruido en tareas de vital importancia para el desenvolvimiento humano. Entre estas citamos el sueño, la memoria, la atención y el procesamiento de la información.

- a. **Efectos sobre el sueño.** El ruido puede provocar dificultades para conciliar el sueño y también despertar a quienes están ya dormidos. En numerosas oportunidades hemos escuchado la típica frase de que el sueño es la actividad que copa un tercio de nuestras vidas y este nos permite entre otras cosas descansar, ordenar, y proyectar nuestro consciente, esto es un hecho, así como también está claro que está constituido por a lo menos dos tipos distintos de sueño: El sueño clásico profundo (No REM (etapa de sueño profundo), el que a su vez se divide en cuatro fases distintas), y el sueño paradójico (REM). Se ha comprobado que sonidos del orden de los 60 dBA. reducen la profundidad del sueño. Dicha disminución se acrecienta a medida que crece la amplitud de la banda de frecuencias, las cuales pueden llegar a despertar al individuo, dependiendo de la fase del sueño en que se encuentre y de la naturaleza del ruido. Los estímulos débiles inesperados también pueden perturbar el sueño.
- b. **Efectos sobre la conducta.** La aparición súbita de un ruido o la presencia de un agente sonoro molesto para el sujeto, pueden producir alteraciones en su conducta que, al menos momentáneamente, puede hacerse más abúlica, o más agresiva, o mostrar el sujeto un mayor grado de desinterés o irritabilidad. Las alteraciones conductuales que son pasajeras en la mayor parte de las ocasiones, se producen porque el ruido ha provocado inquietud, inseguridad, o miedo en unos casos, o bien, son causa de un mayor falta de iniciativa en otros.
- c. **Efectos en la memoria.** En tareas donde se utiliza la memoria, se observa un mejor rendimiento en los sujetos que no han estado sometidos al ruido. Ya que con este ruido crece el nivel de activación del sujeto y esto, que en principio puede ser ventajoso, en relación con el rendimiento en cierto tipo de tareas, resulta que lo que produce es una sobreactivación que conlleva un descenso en el rendimiento. El ruido hace más lenta la articulación en la tarea de repaso, especialmente con palabras desconocidas

o de mayor longitud. Es decir, en condiciones de ruido, el sujeto sufre un costo psicológico para mantener su nivel de rendimiento.

- d. **Efectos en la atención.** El ruido repercute sobre la atención, focalizándola hacia los aspectos más importantes de la tarea, en detrimento de aquellos otros aspectos considerados de menor relevancia.
- e. **Estrés.** Parece probado que el ruido se integra como un elemento estresante fundamental. Y no sólo los ruidos de alta intensidad son los nocivos. Ruidos incluso débiles, pero repetidos pueden entrañar perturbaciones neurofisiológicas aún más importantes que los ruidos intensos. Es preciso fundamentar más estudios para determinar los riesgos a largo plazo causados por la acción del ruido sobre el sistema nervioso autónomo.
- f. **Efectos en el embarazo.** Se ha observado que las madres embarazadas que han estado desde el principio en una zona muy ruidosa, tienen niños que no sufren alteraciones, pero si se han instalado en estos lugares después de los 5 meses de gestación (en ese periodo el oído se hace funcional), después del parto los niños no soportan el ruido, lloran cada vez que lo sienten, y al nacer su tamaño es inferior al normal.
- g. **Efectos sobre los niños.** El ruido es un factor de riesgo para la salud de los niños y repercute negativamente en su aprendizaje. Educados en un ambiente ruidoso se convierten en menos atentos a las señales acústicas y sufren perturbaciones en su capacidad de escuchar y un retraso en el aprendizaje de la lectura. Dificulta la comunicación verbal, favoreciendo el aislamiento y la poca sociabilidad. La exposición al ruido afecta al sistema respiratorio, disminuye la actividad de los órganos digestivos, acelerando el metabolismo y el ritmo respiratorio, provoca trastornos del sueño, irritabilidad, fatiga psíquica, etc.

## ANEXO N°2

### Cálculo de m2 de ventanas expuestas a la contaminación atmosférica en la RM

(se asume que la misma cantidad es la potencialmente expuesta a la contaminación acústica proveniente de tráfico urbano).

AÑO	M2 de muro expuesto a la contaminación atmosférica (ECONAT)					
	Casas 1 Piso	Casas 2 Pisos	Edificio ¾	Edificio 5/8	Edificio 9 o +	Oficinas
2000	23,480,855	56,565,883	4,996,102	2,063,560	4,817,317	3,228,782
2001	23,823,160	58,459,489	5,150,977	2,149,536	5,027,810	3,390,509
2003	24,482,743	62,309,502	5,465,240	2,326,072	5,459,984	3,720,052
2005	25,109,188	66,233,100	5,785,095	2,508,291	5,906,022	4,057,141
2008	25,987,238	72,233,906	6,274,419	2,791,315	6,598,734	4,575,651
2011	26,791,931	78,347,654	6,774,125	3,084,887	7,317,185	5,108,170
2015	28,162,450	85,874,638	7,388,912	3,425,819	8,151,891	5,754,239

TIPO DE CONSTRUCCION	RELACIÓN MURO Y VENTANA EXPUESTA
CASA 1 PISO	43.0%
CASA 1 PISO	42.9%
EDIFICIO 3/4 PISO	66.5%
EDIFICIO 5/8 PISO	66.3%
EDIFICIO 9 ó + PISOS	66.6%
OFICINAS	100.0%

M2 de ventanas expuestas a la contaminación atmosférica	
AÑO	TOTAL
2000	45488613
2001	46910023
2003	49788605
2005	52708774
2008	57153451
2011	61660091
2015	67315155

## ANEXO N°3

### Información adicional de relación de Shultz sobre población altamente molesta (en inglés)

Dr. T.J. Shultz published his "Synthesis of Social Surveys on Noise Annoyance" in 1978. Shultz's synthesis of the dosage-effect relationship provided the best tool available to environmental planners to predict noise-induced chronic annoyance. In fact, chronic annoyance is the implicit basis for noise related habitability criteria such as those adopted by various government agencies.

#### **Why is "percent highly annoyed" used as an index of community annoyance?**

The use of the percentage of exposed persons who rate themselves highly annoyed is used because it is the most stable indicator of annoyance. Persons who perceive their noise exposure as an extreme annoyance have little difficulty in sorting their feelings out from other non-acoustic variables which tend to scatter responses on surveys which try to determine the median community response. Because the highly-annoyed individual exhibits a definitive response, a clearer and more meaningful relationship between outdoor noise exposure and annoyance can be seen through this index. By looking at this index, one also has an idea of the magnitude of the annoyance problem by looking at the worst case. Nevertheless, it should be recognized that many more people are annoyed, but to a lesser extent, than would be indicated by the descriptor "highly annoyed."

#### **What is the latest criteria showing the extent of community annoyance that can be expected from given levels of noise?**

Schultz synthesized results from 19 social surveys of annoyance and found a remarkable consistency. The synthesized data yields a somewhat different result from that relationship depicted in the EPA Levels Document. Schultz's Figure shows the close clustering of annoyance curves from many transportation sources. Generally, data synthesized from prior social surveys on noise as displayed in Schultz's Figure indicate that very few people (on average three to four percent) will be highly annoyed by noise at or below a level of about  $L_{dn} = 55$  dB. However, about 16 percent of the population will be highly annoyed by noise at about a level of  $L_{dn} = 65$  dB; 25 percent of the population will be highly annoyed at  $L_{dn} = 70$  dB; and 37 percent of the population will be highly annoyed as the noise level reaches  $L_{dn} = 75$  dB. Twenty to 30 percent of the population is apparently imperturbable and not bothered even by high noise levels. The Committee on Hearing, Bioacoustics, and Biomechanics has indicated that these data are up-to-date and has included them in its guidelines for environmental impact statements on noise.