

# Beneficios Sociales del Transantiago: “Cambios en la Exposición de Ruido en el Área de Influencia del Nuevo Sistema de Transporte Público en la Región Metropolitana de Santiago”

Esteban Tohá González, Cristóbal De La Maza Guzmán, Luis Abdón Cifuentes Lira  
Pontificia Universidad Católica de Chile, División de Medio Ambiente DICTUC S.A.  
E-mail: ertoa@uc.cl, cdelamaza@ing.puc.cl, lac@ing.puc.cl,

Aldo Campos Pérez  
Control Acústico S.A.  
E-mail: acampos@controlacustico.cl

## RESUMEN

El ruido es un subproducto no deseado y la locomoción colectiva es reconocida internacionalmente como la mayor responsable de la contaminación acústica de una ciudad (Platzer et al, 2007). Para determinar los niveles de ruido a los que la población se ve expuesta en las distintas comunas de Santiago y la pérdida de bienestar asociada a la exposición a estos niveles de ruido, producto de la implementación de un nuevo sistema de transporte público (Transantiago). Para cuantificar costos y beneficios sociales de cambios en la exposición de ruido se desarrolló una metodología que utilizó sistemas de información geográfica y el estado del arte en modelación estratégica de flujos vehiculares ESTRAUS (de Cea, 2001). La exposición en todas las zonas de análisis supera ampliamente los niveles de exposición recomendados por la OMS, alcanzando niveles considerados peligrosos (>70 dB). Sin embargo al contrastar la situación con proyecto y la situación sin él se observan reducciones en los niveles de ruido, lo que representa un beneficio de 168 MUS\$ para la ciudad.

*Palabras clave:* Nivel de Ruido, Flujos Vehiculares, Sistemas de Información Geográfica.

## ABSTRACT

Noise is an unwanted byproduct and the transportation is recognized internationally as the major responsible for the noise of a city (Platzer et al, 2007). To determine the noise levels to which people are exposed in different neighborhoods of Santiago and the welfare loss associated with exposure to these noise levels, product of the implementation of a new public transport system (Transantiago), To quantify costs and benefits of changes in noise exposure developed a methodology that used geographic information systems and the state of the art in modeling strategic vehicular flow ESTRAUS (de Cea, 2001). Exposure to all areas of analysis far exceeds the exposure levels recommended by WHO, reaching levels considered dangerous (> 70 dB). However, when contrasting the situation with the project and without project is observed reductions in noise levels, representing a gain of 168 MUS \$ for the city.

*Keywords:* Noise level, Vehicular flow, Geographic Information Systems.

## 1. INTRODUCCIÓN

El ruido es un subproducto no deseado del modo de vida moderno; es una sensación auditiva molesta y una de las perturbaciones ambientales que de manera importante afectan la salud del ser humano y su calidad de vida.

El tránsito vehicular (en particular la locomoción colectiva) es reconocido internacionalmente como el mayor responsable de la contaminación acústica de una ciudad (Platzer et al, 2007). En el presente estudio se estima el beneficio social asociado al cambio en la exposición al ruido producto del nuevo sistema de transporte público en la Región Metropolitana de Santiago (RM).

## 2. ALCANCE GEOGRÁFICO

El área de influencia de Santiago incluye las 38 comunas más pobladas de la Región Metropolitana. De acuerdo con esto interesaría estimar la exposición de la población y los beneficios de Transantiago (TS) a este mismo nivel de desagregación. Sin embargo la incertidumbre presente en la estimación de exposición no permite resultados confiables a este nivel, por lo que los resultados finales serán presentados por zonas según categorizaciones socioeconómicas. Se utiliza la categorización socioeconómica de las comunas de Cifuentes y Bravo (2004), para presentar los resultados de este estudio.

**TABLA 4: Comunas por Zona Socioeconómica de Santiago (Zonas TS)**

Zona	Comunas
Z1	Las Condes, La Reina, Ñuñoa, Providencia, Vitacura, Lo Barnechea
Z2	Cerrillos, Estación Central, Independencia, Maipú, Recoleta, Santiago, San Bernardo
Z3	La Cisterna, La Florida, Macul, San Miguel, Peñalolén
Z4	Cerro Navia, Conchalí, Huechuraba, Lo Prado, Quilicura, Quinta Normal, Renca, Pudahuel
Z5	El Bosque, La Granja, La Pintana, Lo Espejo, San Joaquín, Pedro Aguirre Cerda, San Ramón, Puente Alto

Fuente: Cifuentes y Bravo (2004).

A continuación se describe el proceso para determinar la exposición al ruido de la RM, la reducción en emisiones y los beneficios asociados a estas reducciones.

### 3. METODOLOGÍA PARA ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS EN RUIDO

Para la estimación de beneficios en ruido se desarrolló la siguiente metodología:

1. Emisiones con y sin proyecto
2. Potencia a decibeles
3. Atenuación a hogares
4. Delta de exposición con y sin proyecto
5. Valoración

#### 3.1 Emisiones de Ruido

El objetivo de la etapa de modelación de emisiones de ruido consiste en un ejercicio teórico en el cual se evaluará el delta de incremento o de descenso del nivel de ruido por comuna considerando las simulaciones con sistema de transporte de pasajeros y sin sistema de transporte de pasajeros para el año 2005.

Para esto se utilizan como datos de entrada las variables de flujo vehicular en horario punta mañana, segmentado por cada categoría de vehículos, las velocidades de desplazamiento por cada arco y factores de emisión por tipo de vehículo.

Con este ejercicio es posible establecer las variaciones de nivel de ruido que introduce el plan del sistema de transporte de pasajeros el corte 2005 para las comunas involucradas en el Transantiago.

Para la estimación de la exposición de la población se requiere entonces determinar, en primer lugar, el flujo vehicular por tipo de vehículo y la velocidad promedio por arco para la situación con y sin proyecto. Se dispone para el estudio de simulaciones en ESTRASUS de ambos escenarios. ESTRASUS es un software de modelación estratégica (de Cea, Fernández y Soto, 2001) que permite evaluar el impacto de distintos cursos de

acción (implementación de proyectos, aplicación de políticas) sobre el comportamiento del sistema de transporte urbano, considerando distintos escenarios de desarrollo de la ciudad, lo cual lo convierte en una herramienta de apoyo al proceso de planificación continua de dicho sistema.

La implementación de este modelo ha permitido estimar la variación proyectada de las condiciones de operación de las flotas de buses para ambos escenarios analizados. De este modo, se logró calcular las proyecciones de las velocidades de funcionamiento por arco y los flujos vehiculares para la hora punta mañana.

El método utilizado para la estimación de emisiones es el método francés adaptado (Guide du Bruit des Transports Terrestres, 1980), que utiliza el nivel de emisión de ruido de un vehículo caracterizado por el nivel sonoro máximo de paso (LAMax) en dB medido a una distancia de 7,5 metros del eje de la trayectoria del vehículo. Este nivel sonoro se determina por separado para los distintos tipos de vehículos, velocidades y flujos de tráfico. Aunque se tiene en cuenta la pendiente de la vía, no sucede lo mismo con el pavimento. En el caso de este estudio, se consideró vías sin pendiente debido a que no se contaba con la información topográfica de cada arco de emisión de tráfico.

Para caracterizar las emisiones en distintas velocidades de desplazamiento, se estimaron factores de emisión para los diferentes tipos de vehículos, donde las emisiones se relacionan de diferente manera con la velocidad dependiendo del tipo de vehículo de el cual se trata.

Luego con estos niveles de presión es posible determinar la potencia sonora estática ( $Lw$ ) de un vehículo en un arco ESTRASUS para cada hora del día (en este caso se dispone inicialmente de flujos para hora punta mañana).



FIGURA 4: Red Vial Modelada en ESTRASUS

Fuente: ESTRASUS.

La potencia sonora estática nos permite determinar el nivel de emisión por vehículo que transita en una hora por cada metro lineal de vía. Finalmente, el dato que se obtiene es la potencia sonora por metro lineal de vía ( $LW/m$ ) para cada tipo de vehículo, en un arco ESTRAUS y para cada hora del día, dependiendo de la velocidad de desplazamiento.

$$LW_{vij} = 10 \times \log(Flujov_{ij}) + FE_{vij} \quad (1)$$

Donde:

$LW_{vij}$ : Potencia sonora estática de un vehículo  $i$  en un arco  $j$ .

$Flujov_{ij}$ : Flujo de un vehículo  $i$  en un arco  $j$ .

$FE_{vij}$ : Factor de emisión de un vehículo  $i$  en un arco  $j$ .

La emisión total por arco (dB) en una hora simplemente corresponde a la suma energética de la emisión unitaria de cada tipo de vehículo.

$$LW/m_j = 10 \times \log \left( \sum_{ij} 10^{(LW_{vij}+10)} \right) \quad (2)$$

Donde:

$LW/m_j$ : Emisión total para un arco  $j$ .

$LW_{vij}$ : Potencia sonora estática de un vehículo  $i$  en un arco  $j$ .

Como lo que interesa determinar es la exposición en hogares, la emisión total es atenuada (para cada arco ESTRAUS) para representar el nivel de emisión al que está expuesto un habitante promedio de cada comuna en una hora específica del día. Este valor se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Leq_j = LW_j + D_c - A \quad (3)$$

Donde:

$Leq_j$ : Nivel de presión sonora continuo equivalente para un arco  $j$ .

$LW_j$ : Potencia sonora estática, en decibeles.

$D_c$ : Es la corrección por directividad, en decibeles.

$A$ : Factor de atenuación en decibeles (Promedio de la comuna del arco  $j$ ).

$A$ : Corresponde al valor promedio de cada comuna, calculado a partir de la distancia de los arcos viales de cada comuna, a las manzanas comprendidas entre ellos.

**TABLA 5: Atenuación (dB) para Santiago**

Promedio	Mínimo	Máximo
57,4	55,6	59,5

Fuente: Elaboración propia.

La potencia sonora estática ( $LW_j$ ) para un arco en una hora se obtiene entonces a partir de la emisión por metro lineal ( $LW/m_j$ ) de cada arco.

$$LW_j = LW/m_j + 10 \times \log(l_j) \quad (4)$$

Donde:

$LW_j$ : Potencia sonora estática.

$LW/m_j$ : Potencia por metro lineal.

$(l_j)$ : Longitud del arco.

Para poder calcular emisiones a lo largo de todo el día y todo el año, es decir, llegar a estimar las emisiones anuales, es necesario realizar una expansión del flujo vehicular entregado por los modelos de transporte, a todo el día.

### 3.1.1 Perfiles de Flujo

El modelo de transporte ESTRAUS (de Cea, 2001) entrega solamente evaluaciones o asignaciones de flujos para ciertas horas específicas de modelación, generalmente un horario de punta y otro fuera de punta. Entonces, como el modelo de emisiones requiere calcular emisiones en un periodo continuo de tiempo, es necesario extrapolar estas asignaciones a todo el día y a todo el año, para lo cual se debe contar con perfiles de flujos diarios que caractericen el comportamiento a lo largo de los días y semanas característicos. En este sentido, los conteos continuos de flujos entregan la información relevante para esa extrapolación.

Los perfiles son generados para cada categoría:

- Vehículos Livianos
- Vehículos Comerciales
- Camión Liviano
- Camión Mediano
- Camión Pesado
- Taxi Colectivo
- Bus Urbano
- Bus Interurbano

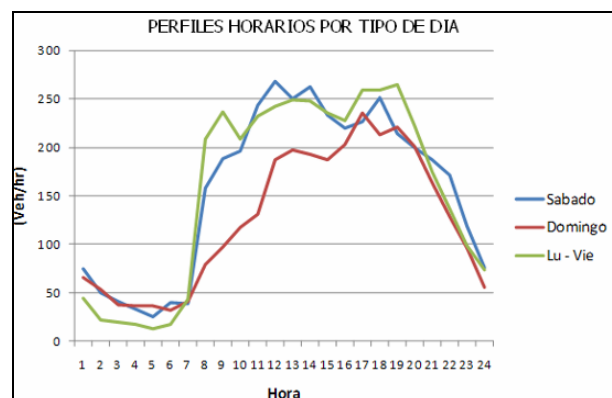
Así, el procedimiento para caracterizar estas variaciones temporales del comportamiento del flujo vehicular, consiste en efectuar campañas de conteos vehiculares en terreno en puntos escogidos estratégicamente y distribuidos sobre la red vial, bajo ciertos criterios de selección, para luego generar perfiles temporales y normalizarlos en el horario punta. Los conteos vehiculares incluyen conteos instrumentales (automáticos) que registran flujos continuos de 24 horas y conteos manuales que permiten caracterizar el parque por tipo de vehículo en distintas horas del día.

Estos perfiles son obtenidos para cada categoría vehicular, por días tipo de la semana (lunes-jueves, sábado y domingo) y sentido (norte-sur, sur-norte, oriente-poniente y poniente-oriente).

La siguiente figura muestra el perfil para un tipo de vehículo para los distintos días tipo de la semana y un sentido.

Para expandir los flujos de hora punta a todo el día se normalizan los flujos en otras horas del día con este punto de referencia (flujo entre las 8 AM y las 9 AM de un día tipo lunes-jueves). En otras palabras, se requiere asignar un ponderador de uno a los flujos realizados en hora punta y un ponderador equivalente a la razón entre los conteos realizados en la hora punta y los conteos en otras horas del día a los flujos realizados en otras horas del día. La siguiente expresión resume la metodología utilizada:

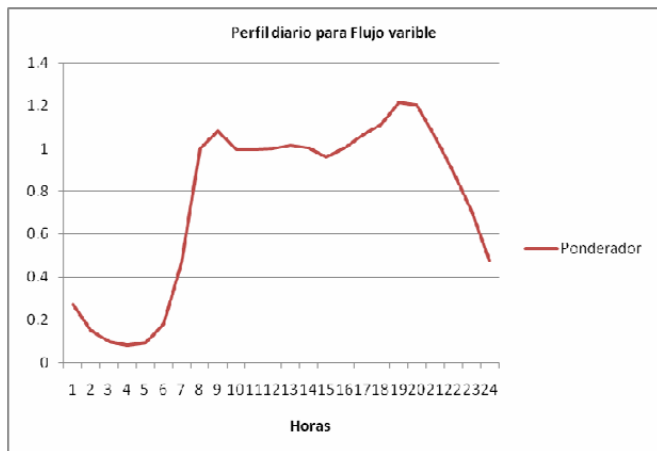
$$Ponderador HR_x = \begin{cases} 1 & , \quad x = \text{Hora punta} \\ \frac{Conteos_x}{Conteos_{HoraPunta}} & , \quad \forall x \neq \text{Hora punta} \end{cases} \quad (5)$$



**FIGURA 5: Perfil de Flujo por Tipo de Día**

Fuente: Elaboración propia en base a datos UOCT.

La siguiente figura muestra el perfil diario de ponderadores para el flujo variable, esto es en el escenario sin Transantiago y para el año 2005.



**FIGURA 6: Perfil diario de Ponderadores para Flujo Variable**  
Fuente: Elaboración propia.

Luego si multiplicamos el ponderador estimado por tipo de vehículo, podemos expandir el flujo de hora punta al resto del día. La siguiente expresión resume el cálculo del flujo para cada hora del día.

$$Flujo_{HR_x} = Ponderador_{HR_x} \times Flujo_x \tag{6}$$

Donde:

$Flujo_{HR_x}$  : Flujo hora del día.

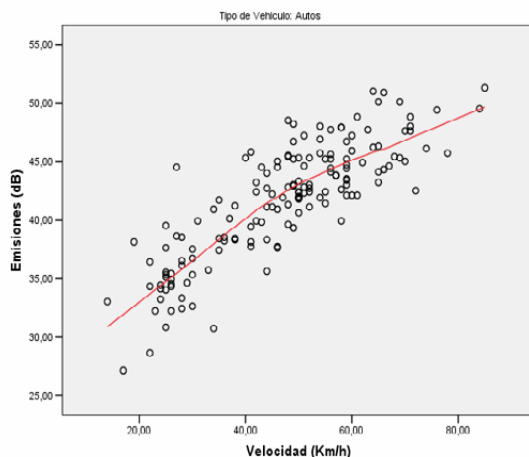
$Ponderador_{HR_x}$  : Ponderador hora del día.

$Flujo_x$  : Flujo hora punta.

### 3.1.2 Factores de Emisión

A continuación se describirá la metodología de cálculo de los factores de emisión por tipo de vehículo según las mediciones realizadas en terreno. Para realizar la estimación de los factores de emisión por tipo de vehículo se utilizaron los datos aportados por la medición en terreno realizada por Control Acústico S.A. El detalle de métodos de medición y resultados de la medición se detalla en el IV.

De estos datos fueron considerados los atributos correspondientes al tipo de vehículo, emisiones y velocidades, tal como se aprecia en la Figura 4.



Considerando la cantidad de datos disponibles por tipo de vehículo y las tendencias de estos se estimaron regresiones lineales simples con el fin establecer la relación entre la velocidad y las emisiones por tipo de vehículo tal como se muestra en la tabla siguiente.

De esta manera a través de las siguientes ecuaciones es posible determinar el factor de emisión para cada tipo de vehículo.

**TABLA 6: Factor de Emisión por Tipo de Vehículo**

Tipo de Vehículo	Factor de Emisión
Autos	$11,59 \times \ln(Vel_i) - 2,27$
Micros ( $Vel < 41$ Km/h)	$-0,241 \times (Vel_i) + 43,46$
Micros ( $Vel \geq 41$ Km/h)	34,05
Buses (capacidad 40 y 80 pasajeros)	47,28
Buses (capacidad 160 pasajeros)	41,46

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Exposición

Para determinar al nivel de ruido que está expuesta la población de una comuna se deben construir indicadores específicos, según el estudio de actualización de los niveles de ruido realizado por (Zamora, 2001) se consideró, que para el caso de ruido en el medio urbano, el parámetro más adecuado para caracterizarlo es el nivel equivalente ( $Leq$ ) durante el intervalo de tiempo que se determine en el estudio.

Para este estudio se definieron dos intervalos de tiempo para caracterizar los niveles de ruido generados por las fuentes móviles en las comunas de Santiago, el nivel sonoro continuo equivalente día ( $LeqD$ ) y el nivel sonoro continuo equivalente noche ( $LeqN$ ).

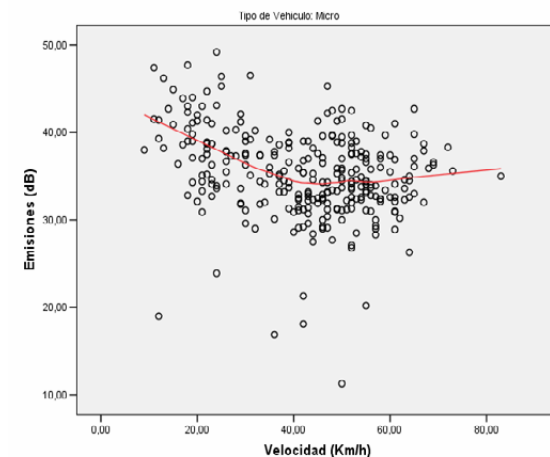
#### 3.2.1 Nivel Sonoro Continuo Equivalente Día ( $LeqD$ )

$$LeqD_j = 10 \times \log \frac{1}{15} \sum_7^{22} 10 \frac{Leq_j}{10} \tag{7}$$

Donde:

$LeqD_j$  : Nivel equivalente día para un arco j (dB).

$Leq_j$  : Nivel de presión sonora equivalente en una hora h para un arco j (dB).



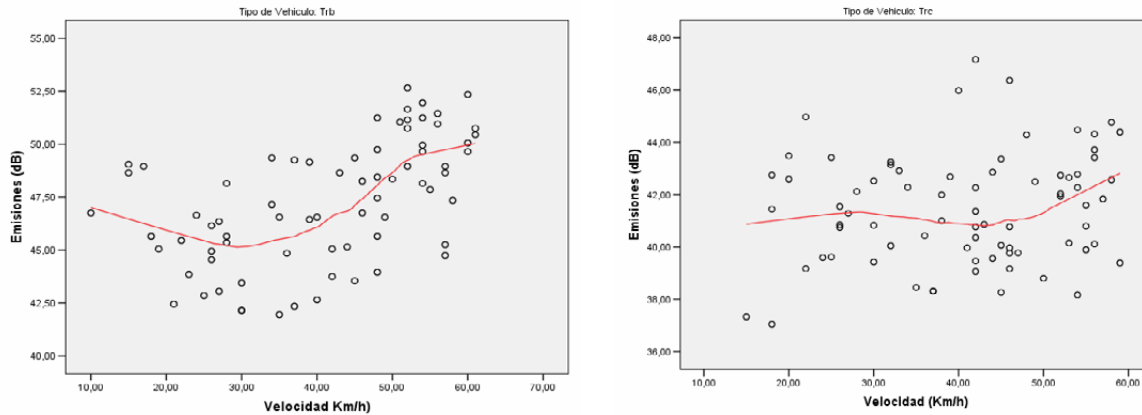


FIGURA 7: Emisiones en Función de la Velocidad para los Tipos de Vehículos Medidos en Terreno

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.1 Nivel Sonoro Continuo Equivalente Noche (LeqN)

$$LeqN_j = 10 \times \text{Log} \frac{1}{9} \sum_{22}^7 10 \frac{Leq_j}{10} \quad (8)$$

Donde:

$LeqN_j$  : Nivel equivalente día para un arco j (dB).

$Leq_j$  : Nivel de presión sonora equivalente en una hora h para un arco j (dB).

### 3.2.3 Nivel Base de Ruido

Se define como nivel base para estimar la exposición de la población en la calzada el valor de 55,8 dB que equivale al ruido emitido por un sólo vehículo circulando. Cabe destacar que el nivel de ruido en hogares equivale a la atenuación del nivel de ruido estimado en la calzada como se describió anteriormente. Como no se dispone de niveles de base para el ruido en hogares no es posible determinar la exposición absoluta de la población, pero si podemos tener una idea del nivel de ruido adicional producido por fuentes móviles.

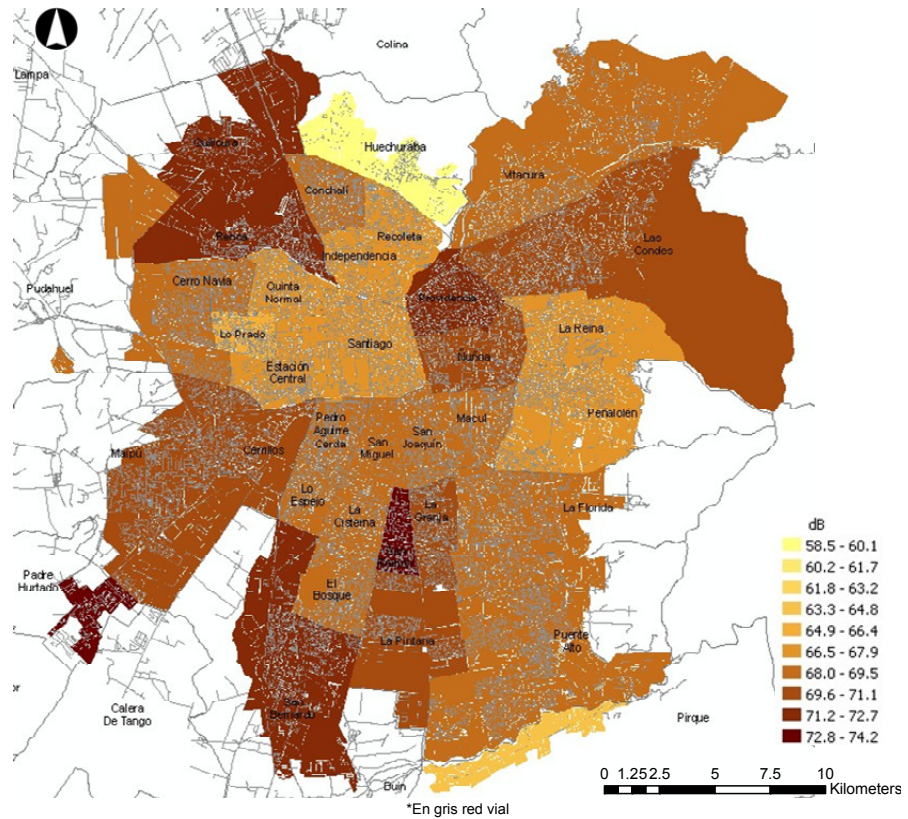
Los diferentes niveles a los que está expuesta la población pueden ocasionar distintos tipos de trastornos los cuales dependen a su vez de la magnitud de la emisión. De esta manera según Zamora, Marzzano et al. (2001). Los efectos en la población pueden variar desde: riesgo de la pérdida auditiva, cuando se está expuesto a más de 70 dB (Nivel de presión sonora continuo equivalente con base de 24 horas), hasta molestias menores, cuando los niveles a los que está expuesta la población sobrepasan los 50 dB (Nivel de presión sonora continuo equivalente con base de 9 horas).

Las figuras 5 y 6 corresponden a la exposición al ruido en la calzada para el escenario con Transantiago. Cabe destacar que esta exposición solo corresponde al aporte de las fuentes móviles lo que significa que los valores presentados podrían ser aun mayores. Este análisis solo aplica para las comunas de la provincia de Santiago ya que solo para ellas la cantidad de arcos modelados correspondía una muestra representativa.

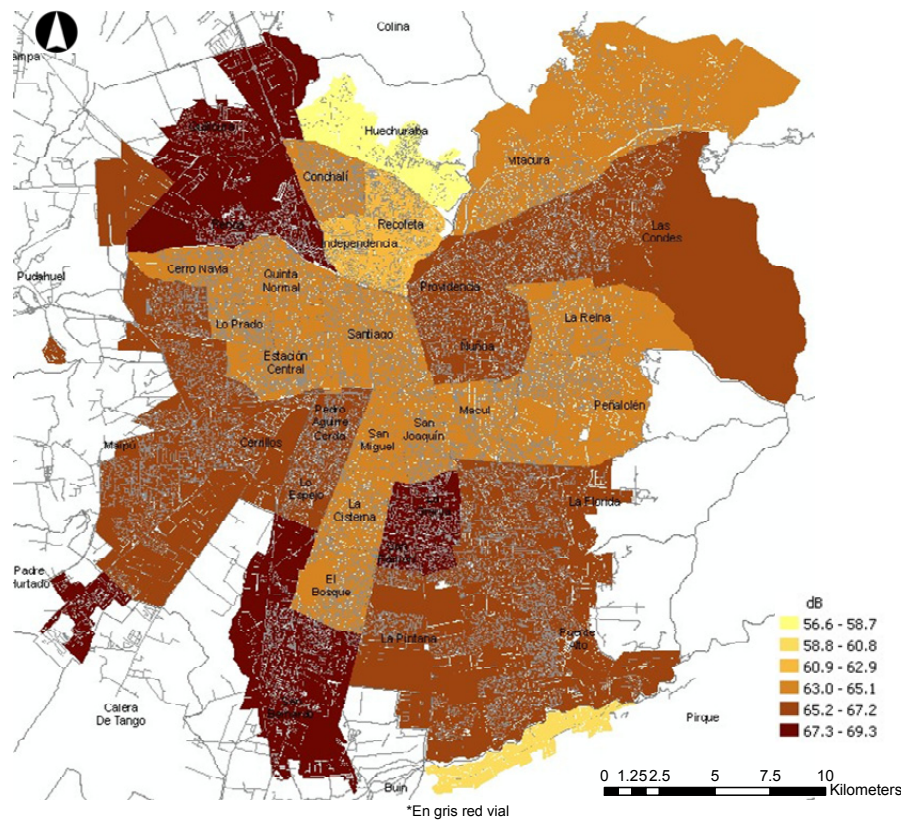
Según (Boesch, 2008) los efectos provocados por el ruido son apreciables con valores superiores a 50dB (Leq) durante el día. De esta manera como se muestra en el mapa anterior ninguna comuna de Santiago presenta valores menores al umbral definido anteriormente. De hecho el 3% de la población está expuesta a niveles entre 50 y 60 dB, un 60% de la población está expuesta a niveles entre 60 y 70 dB y un 37% de la población está expuesta a valores superiores a 70 dB del umbral. Estos niveles pueden presentar riesgos de pérdida de audición principalmente los habitantes de las comunas de Providencia, San Ramón, Quilicura, Renca y Padre Hurtado.

Para el caso de la noche los efectos provocados por la exposición al ruido se manifiestan a partir de los 40 dB (Leq) (Boesch, 2008). Según la figura anterior en todas las comunas de Santiago se exceden estos valores. De hecho un 3 % de la población está expuesta a niveles de ruido entre los 50 y 60 dB el umbral y un 97% de la población está expuesta a niveles que entre 60 y 70 dB el umbral durante la noche.

De acuerdo con lo descrito en esta sección el ruido en calzada es en promedio 57,4 dB más que el ruido dentro del hogar, por lo que si restamos este valor a la exposición en la calzada estimada se obtiene que en la provincia de Santiago personas en hogares experimentarían entre 1 y 15 dB adicionales dentro de sus hogares producto del transporte.



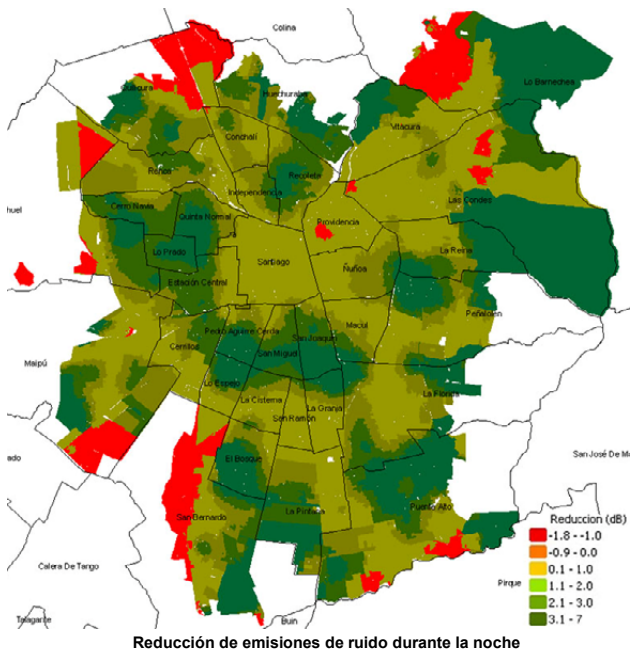
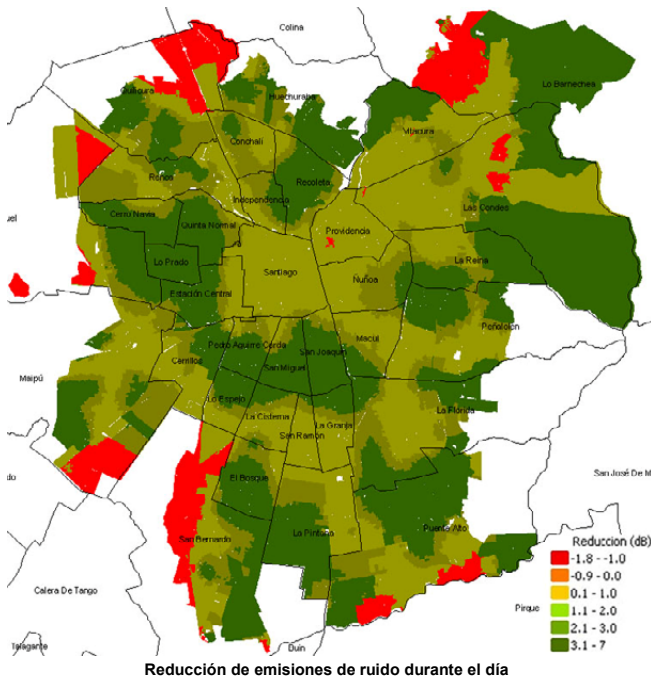
**FIGURA 8: Nivel Continuo Equivalente Día Promedio (dB) en la Calzada, Escenario con Transantiago**  
Fuente: Elaboración propia.



**FIGURA 9: Nivel Continuo Equivalente Noche Promedio (dB) en la Calzada, Escenario con Transantiago**  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4. CAMBIO EN EXPOSICIÓN

El cambio en la exposición se estima como la diferencia en decibeles promedio entre la situación con proyecto y la situación sin proyecto, para cada zona de Santiago. En base a estos resultados se calcularon los beneficios sociales producto de la incorporación del nuevo sistema de transporte público. A continuación la siguiente figura presenta las reducciones en ruido para los periodos día y noche.



**FIGURA 10: Reducciones para periodos día y noche**

Fuente: Elaboración propia.

La reducción en los niveles de ruido se debe principalmente a las nuevas tecnologías en buses, a la disminución de los kilómetros recorridos y de la frecuencia del transporte público, tanto en los periodos día como en los periodos noche.

El aumento de los niveles de ruido en algunas manzanas de la ciudad, principalmente en la periferia, puede asociarse a la aparición de nuevos recorridos y a que habitualmente estos sectores corresponden a lugares de término y/o comienzo de recorridos de buses del transporte público. La siguiente tabla presenta los estadígrafos de las reducciones para el año de modelación 2005 y los periodos día y noche, para las zonas geográficas anteriormente descritas.

**TABLA 7: Reducción (dB) de Emisiones Año 2005 Día y Noche**

	Zonas TS	Mean
Reducción Día-Noche	1	0.047
	2	0.058
	3	0.065
	4	0.138
	5	0.052

Fuente: Elaboración propia.

#### 5. BENEFICIOS SOCIALES

Diversos impactos a la salud han sido asociados al aumento en los niveles de ruido a los que la población se ve expuesta. Trastornos conductuales, *stress*, pérdida de audición, disminución de capacidades cognitivas, molestia y pérdida de bienestar en general, entre otros. De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada no se reportan funciones dosis - respuesta<sup>1</sup> que permitan cuantificar la disminución de efectos a la salud asociada a una disminución en la exposición a ruido. Debido a esto, en este estudio sólo se valorará la pérdida de bienestar asociada a disminuciones en la exposición al ruido.

Para estimar el beneficio social de la implementación del proyecto debemos multiplicar entonces la reducción en exposición entre los escenarios con y sin Transantiago por la disposición a pagar unitaria por hogar al año por reducir un decibel de ruido (Galilea y Ortúzar 2005)<sup>2</sup> (US\$/hogar × dB × año) por el número de hogares presente en cada manzana. Solo se consideró reducciones en exposición en niveles por sobre 55 dB (día) y 45 dB (noche), que es el nivel de exposición por sobre el cual la calidad de vida en hogares comienza a verse afectada (Rizzi, 2007).

En función de la disposición al pago, la reducción de los niveles de ruido y el número de hogares por manzana, se estimaron los beneficios sociales producidos por la incorporación del nuevo transporte público. El número de hogares por comuna (y por ende por zona) se obtuvo de las bases de datos correspondientes al censo de población y vivienda del año 2002. A continuación se presenta la descripción de la información de hogares agregada por zonas.

**TABLA 8: Hogares por Zona de Análisis**

Zonas TS	Número de Hogares
1	211.196
2	307.671
3	223.985
4	375.613
5	332.045

Fuente: Elaboración propia en base a (INE, 2002).

Con el número de hogares y el cambio en la exposición en los niveles de ruido se calcularon los beneficios en base a la siguiente ecuación:

$$BS_j = DAP \times NH_j \times RED_j \tag{9}$$

<sup>1</sup> Funciones del mismo tipo que las funciones concentración – respuesta (CR) antes mencionadas. Asocian variaciones en los niveles de exposición al ruido (en decibeles) con el número de efectos a la salud que pueden ser evitados (menor número de casos de pérdida de audición).

<sup>2</sup> Pérdida de bienestar asociada a este impacto.

Donde:

$BS_j$  : Beneficio social en una zona  $j$  (US\$).

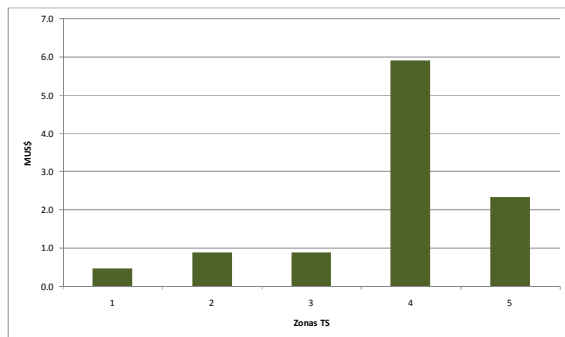
$DAP$  : Disposición a pagar (US\$/hogar  $\times$  dB  $\times$  año).

$NH_j$  : Número de hogares en una zona  $j$ .

$RED_j$  : Reducción diaria de ruido en una zona  $j$  en decibeles.

A continuación se presentan los beneficios sociales producto de la incorporación del nuevo sistema de transporte público agregados por zonas.

Como se aprecia en la siguiente figura, los mayores beneficios se observan en las zonas 4 y 5, principalmente debido a que en la zona 4 se observan las mayores mejoras y en la zona 5 un mayor número de hogares. Los beneficios totales producidos por la disminución de ruido por la incorporación del nuevo sistema de transporte público son de 10.5 MMUS\$ para el año 2005.



**FIGURA 11: Beneficios Sociales (MUS\$)**

Fuente: Elaboración propia.

Los mayores niveles de exposición se localizan en los sectores céntricos de la ciudad, en las comunas periféricas en los sectores cercanos a los ejes viales más importantes y en los sectores de término de recorridos (terminales de buses). La exposición promedio en la calzada se encuentra por sobre los valores recomendados por la OMS para ruido doméstico (45 dB) y llega a niveles considerados peligrosos (>70 dB). El ruido al que se ve expuesto un habitante promedio de la ciudad de Santiago en la calzada es equivalente al ruido emitido por un automóvil silencioso a 2 metros de distancia (70 dB). Existen lugares en la capital en que incluso el nivel de ruido es equivalente al de una discoteca todo volumen (100 dB) (OCDE, 1995). Cabe destacar que los valores estimados no consideran posible fuentes adicionales de ruido provenientes de actividades como la construcción y la industria que pueden aumentar aún más el nivel de exposición.

Los beneficios totales producidos por la disminución de ruido asociada a la incorporación del nuevo sistema de transporte público equivalen a 10.5 MUS\$ por año. Si se considera que el proyecto no cambiará sustantivamente en los próximos 10 años, y se descuentan los flujos futuros del proyecto a una tasa del 8% anual, se estima que Transantiago implicaría un beneficio social por reducción de ruido de 76 MUS\$ en valor presente representando el 6% de los beneficios totales del proyecto (DICTUC, 2009).

**TABLA 9: Aporte a los Beneficios Globales del Transantiago**

Ítem	Beneficios (MUS\$)	Porcentaje
Salud	1077	79%
Visibilidad	25	2%
Materiales	61	4%
Ruido	76	6%
GEI	119	9%
Total	1358	100%

Fuente: DICTUC (2009).

La tabla 6, ilustra la importancia de la inclusión del impacto en el ruido ambiental al realizar la evaluación social de un proyecto de transporte. Si se considera que el beneficio estimado sólo toma en cuenta la desutilidad que el ruido provoca en el hogar por concepto de molestias (Rizzi, 2007), la subestimación de no incluir este impacto en la evaluación final podría ser aun mayor al 6% estimado.

## 6. CONCLUSIONES

El tránsito vehicular es reconocido internacionalmente como el responsable de más del 70% de la contaminación acústica de una ciudad (Platzer *et al*, 2007). Las mayores emisiones se asocian a vehículos de mayor tamaño, entre ellos, los que se usan con fines de la locomoción colectiva (también los más numerosos en esta categoría).

El ruido generado por los vehículos se convierte así en uno de los grandes problemas de nuestra sociedad, principalmente en núcleos urbanos y en las zonas suburbanas habitacionales aledañas a las carreteras.

La exposición en todas las zonas de análisis supera ampliamente los niveles de exposición recomendados por la OMS. Esto sugiere que se implementen cuanto antes medidas de abatimiento. Sin embargo, la normativa vigente en Chile para vehículos móviles solo considera límites de emisión por tipo de vehículo de manera unitaria sin considerar límites para la agregación de estos efectos en el flujo vehicular en los arcos viales de la ciudad, ni tampoco límites para la agregación de emisiones de fuentes móviles más fuentes fijas. Sería recomendable que la autoridad considere fijar límites de exposición para las emisiones por arco y que internalice la externalidad, mitigando a los afectados con medidas para reducir la exposición (aislación acústica de hogares, pavimentos anti ruido, barreras de ruido en autopistas urbanas entre otras medidas).

Los mayores beneficios ambientales de la implementación del Transantiago se observaron en las zonas 4 y 5, principalmente debido a que en ellas se concentran las mayores reducciones y el mayor número de hogares. Es interesante destacar que los mayores beneficios corresponden a las zonas con menor nivel socioeconómico. Los beneficios totales producidos por la disminución de ruido por la incorporación del nuevo sistema de transporte público son de 10.5 MMUS\$ para el año 2005. Si se considera un horizonte de evaluación de 10 años, y una tasa de descuento de 8%, se estima que Transantiago implicaría un beneficio social por reducción de ruido de 76 MUS\$ en valor presente, lo que representa un 6% de los beneficios totales.

El aporte metodológico realizado por este estudio radica en el desarrollo de una metodología que permite estimar beneficios en ruido de un proyecto de transporte con cierta desagregación geográfica, temporal (día y noche) y por tipo de vehículo (bus, vehículos liviano buses y camiones).



## REFERENCIAS

Boesch, H. J., S. Kahlmeier, et al. (2008). **Economic valuation of transport-related health effects.**

**Censo de Población y Vivienda.** Instituto Nacional de Estadística. Chile, 2002.

Cifuentes, L. A. y M. Bravo (2004). **Differential mortality effects of PM10 by educational level and residence in Santiago, Chile.** Health Effects Institute Annual Meeting, Boston, MA.

Control Acústico S.A., 2006. Mediciones en calzada por tipo de vehículo. **Estudio solicitado pro SEREMI RM.**

De Cea, J. y J.E. Fernández. (2001). ESTRAUS: A Simultaneous Equilibrium Model to Analyze and Evaluate Multimodal Urban Transportation Systems with Multiple User Classes, **Proceedings of the Ninth World Conference on Transport Research.** Seoul, Korea.

Diario Oficial n° L 212 (2003). **Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes.**

DICTUC, (2009). Evaluación ambiental del Transantiago. **Estudio realizado para el Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (PNUMA)**

Galilea, P. y J. D. Ortúzar (2005). Valuing noise level reductions in a residential location context. **Transportation Research Part D** 10(4): 305-322.

**Guide du Bruit des Transports Terrestres.** (1980). Prévision des niveaux sonores. Ministre de L'Environment et du cardé de vie, Nov.

Navrud, S. (2002). **The State-Of-The-Art on Economic Valuation of Noise.** Agricultural University of Norway.

Norma, I. S. O. (1996). 9613. **Acústica-Atenuación del sonido durante su propagación al exterior.**

Platzer, U., R. Iñiguez, et al. (2007). Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Santiago de Chile. **Rev. Otorrinolaringol. Cir. Cabeza Cuello** 67(2): 122-128.

Rizzi, L.L. (2008) **Costos externos del transporte automotor vial en la Región Metropolitana de Santiago.** Mimeo.

Zamora, P., A. Marzzano, et al. (2001). Actualización estudio base de generación de niveles de ruido en el gran Santiago.