



**FIA 2018**

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre**

## **RELACIÓN ENTRE EL TIPO DE VÍA URBANA Y EL TRÁNSITO RODADO**

**PACS:** 43.50.Rq

Rey Gozalo, Guillermo <sup>1,2</sup>; Suárez, Enrique <sup>3</sup>; Arenas, Jorge P. <sup>3</sup>; Cárdenas, Jorge <sup>3</sup>; Báez, Andrea <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Chile  
5 Poniente 1670, Talca, Chile  
Tel: +56 956568313

<sup>2</sup> Departamento de Física Aplicada, Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura  
Av. Universidad s/n, 10003 Cáceres, España  
E-mail: [guille@unex.es](mailto:guille@unex.es)

<sup>3</sup> Instituto de Acústica, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile  
Campus Miraflores, Valdivia, Chile  
Tel. +56 63 2221339  
E-mail: [enriquesuarez@uach.cl](mailto:enriquesuarez@uach.cl)

<sup>4</sup> Instituto de Estadística, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad Austral de Chile  
Campus Isla Teja, Valdivia, Chile  
E-mail: [abaez@uach.cl](mailto:abaez@uach.cl)

**Palabras Clave:** clasificación vial, ruido urbano, mapas de ruido, tránsito rodado

### **ABSTRACT**

Local administrative authorities classify urban roads into categories according to their characteristics and function. These types of roads are used in the development of noise maps. Traffic flows, types and speeds are all variables that explain the variation of noise levels in a city. The absence of statistical stratification of some of these variables may result in overlapping of the noise levels between different types of roads. In addition, these variables are highly correlated with noise levels, so they can be used for estimating traffic flows or noise at either other locations or daily periods.

### **RESUMEN**

Las administraciones locales clasifican los tipos de vías urbanas según características y diseño de circulación. Estas vías son utilizadas en la elaboración de mapas de ruido. El flujo, tipo y velocidad de tránsito rodado son variables que explican la mayor variabilidad de los niveles sonoros presentes en las ciudades. La falta de estratificación de alguna de estas variables puede conllevar a un solapamiento de los niveles sonoros entre los tipos de vías. Además estas variables debido a su significativa correlación con los niveles sonoros pueden utilizarse para la estimación de flujo vehicular o ruido en otras localizaciones o periodos diarios.



## FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre**

### INTRODUCCIÓN

Las administraciones locales de muchas de las ciudades del mundo clasifican las vías urbanas de acuerdo a determinadas características urbanísticas y del flujo de tránsito rodado. A priori, la finalidad de estas clasificaciones estaba relacionada con la regulación del tránsito rodado. Por ejemplo, en Chile, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo [1] clasifica las vías urbanas en cinco tipos: Expresa, Troncal, Colectora, Servicio y Local.

Esta clasificación vial administrativa ha sido utilizada, como estrategia de muestreo espacial, en la realización de mapas de ruido [2-4]. La funcionalidad de estas vías y su diseño urbano presenta relación con el flujo de tránsito rodado. Por lo tanto, dado la relación existente entre el flujo vehicular y los niveles sonoros, esta clasificación se ha utilizado para muestrear el ruido. Sin embargo, algunos estudios muestran falta de estratificación significativa en los niveles sonoros registrados en algunas tipos de vías [5,6]. La mejora en esta diferenciación estadística va a conllevar beneficios en la estimación y precisión de los niveles sonoros. Teniendo en cuenta lo anterior, uno de los objetivos del presente trabajo fue el análisis de las posibles fuentes de variabilidad de los niveles sonoros registrados en los tipos de vías urbanas de la ciudad de Santiago, Chile.

El flujo de tránsito rodado es una de los principales factores que influyen en la variabilidad de los niveles sonoros [7]. También, la velocidad y el tipo de vehículo son dos variables con una influencia significativa en los niveles sonoros. La velocidad, en gran parte del núcleo urbano, esta regulada un mismo valor. Sin embargo, la tipología de vehículos puede ser variable en función de la clase de vía. En este sentido, el tráfico pesado merece especial mención. De hecho, uno de los cambios más significativos en los nuevos software de ruido, es la subdivisión de la categoría de tráfico pesado [8]. En las ciudades de Chile, al igual que sucede en otras ciudades del mundo, el transporte público pesado va a influir en la situación acústica del enclave [9].

El flujo y tipo de tránsito rodado pueden ser utilizados en aplicaciones sencillas para la estimación del nivel sonoro equivalente con un nivel de precisión aceptable [10]. Estas aplicaciones libres pueden ser útiles para conseguir una mayor información espacial y temporal de las características del tránsito rodado presente en una ciudad. También, estas estimaciones puede ser utilizadas para la caracterización de periodos horarios de los que se dispone menor información, como por ejemplo el periodo nocturno. En el presente estudio, se muestran las estimaciones de valores sonoros nocturnos a partir de la relación encontrada entre los valores sonoros y el flujo y tipo de tránsito rodado encontrada en el periodo diurno.

### METODOLOGÍA

La ciudad de Santiago fue el lugar de estudio seleccionado. Esta ciudad es el principal núcleo urbano del país con una población de 6.123.491 habitantes. Santiago no está constituida por una sola unidad administrativa, sino formada por al menos 35 comunas o distritos (Figura 1).

En este trabajo fueron analizados: 458 puntos de muestreo en el periodo diurno, 270 puntos de conteo nocturno y 41 estaciones de monitoreo semanal (Figura 1). En las medidas sonoras realizadas se siguieron las recomendaciones de la normativa internacional ISO 1996-2 con respecto al tipo de instrumental, altura y distancias del micrófono, condiciones climáticas, etc. La fuente de ruido objeto de análisis fue el tránsito vehicular. Las mediciones diurnas tuvieron una duración de 15 minutos y se registraron indicadores acústicos de interés ( $L_{eq}$ ,  $L_{max}$ ,  $L_{min}$ , etc.), las características del entorno y la composición y cantidad de flujo vehicular [vehículos livianos, pesados (camiones y autobuses) y motocicletas]. Las mediciones nocturnas tuvieron una duración de 30 minutos y se registraron las características del tránsito rodado (flujo y composición). Con respecto a las estaciones de monitoreo, se registraron los indicadores

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

sonoros  $L_{eq}$ ,  $L_{max}$  y  $L_{min}$  con un periodo de integración de 15 minutos durante una semana. Todas estas mediciones fueron realizadas durante el año 2016 en la actualización del mapa de ruido de la ciudad de Santiago [11].

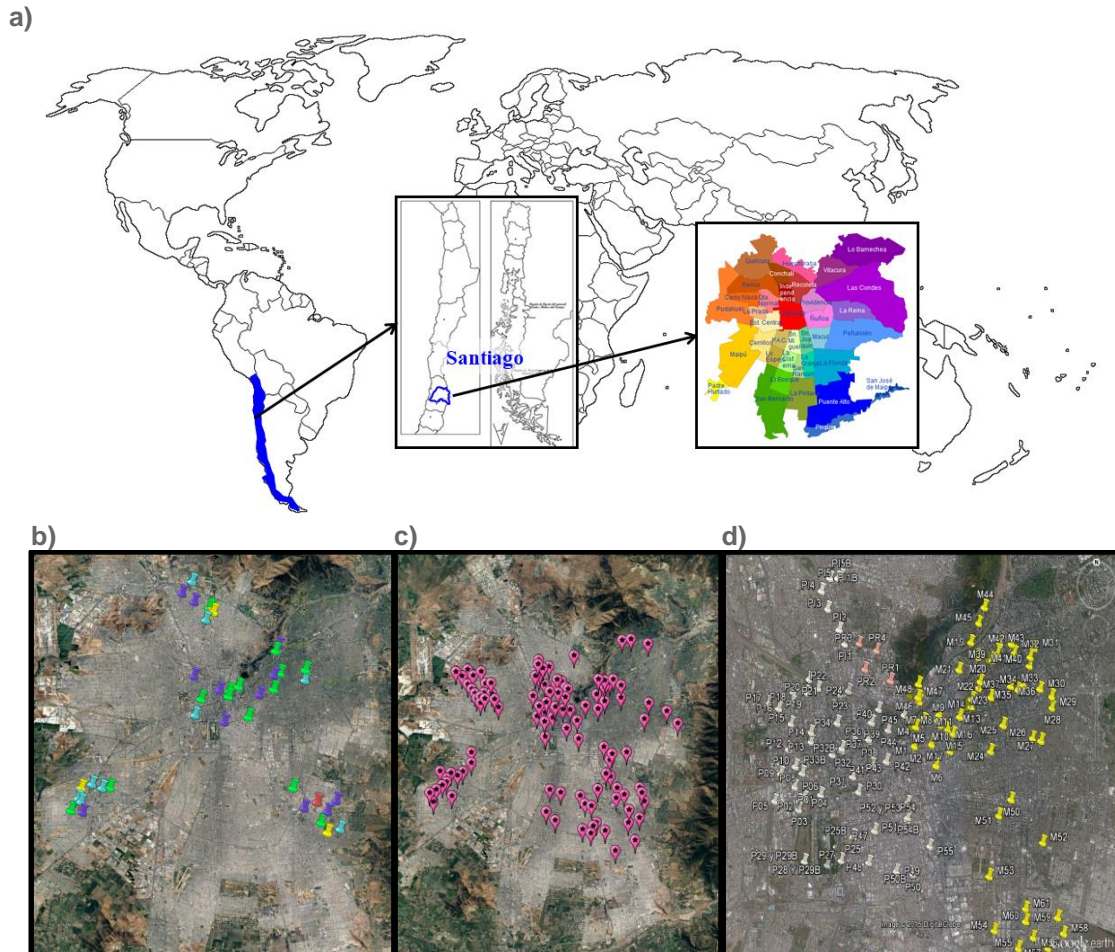


Figura 1 – Localización de la ciudad de Santiago de Chile (a), estaciones de monitoreo semanal (b), puntos de conteo de flujo nocturno (c) y puntos de medición y conteo diario (d).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las mediciones de los niveles sonoros durante el periodo nocturno fueron realizadas aleatoriamente en los distintos tipos de vías teniendo en cuenta la longitud y número de las mismas. La distribución fue la siguiente: 14 medidas en la vía Expresa, 47 en la vía Troncal, 98 en la vía Colectora, 105 en la vía Servicio y 194 en la vía Local. Los valores sonoros medios registrados en los distintos tipos de vías y su intervalo de confianza para el 95% se muestran en la Figura 2.

A pesar de que hay una disminución del valor sonoro medio diario de la vía Expresa a la vía Local, dada la variabilidad de las mismas, algunas tipologías no presentan diferencias significativas (Figura 2). Este solapamiento del nivel sonoro equivalente se observa para las vías Expresa y Troncal y, en menor medida, para las vías Servicio y Local.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

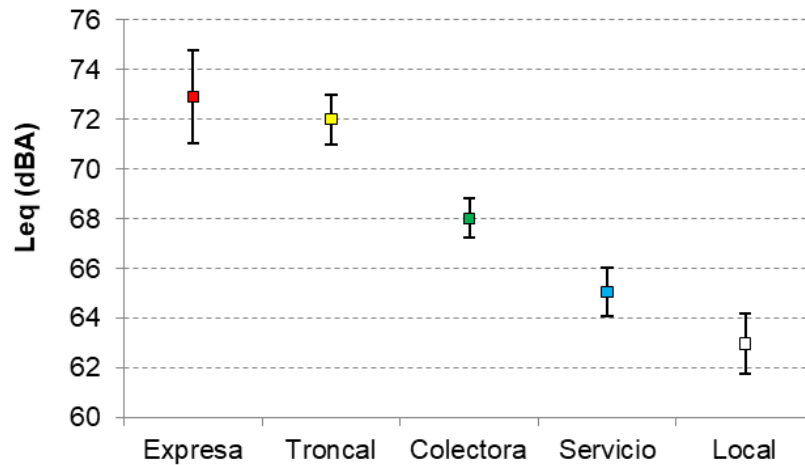


Figura 2 – Nivel sonoro equivalente (dBA) y su intervalo de confianza del 95% registrado en el periodo diurno en los distintos tipos de vías.

La disminución progresiva de los valores sonoros entre las distintos tipos de vías también se observa para los otros periodos diarios, como se muestra en la Tabla 1. Estos indicadores fueron obtenidos a partir de las estaciones de monitoreo sonoro semanal. Estas estaciones fueron ubicadas a una altura de 6 m aproximadamente, de ahí la diferencia con los valores sonoros diurnos registrados en las medidas de corta duración.

Tipo de vía	Indicadores sonoros (dBA)			
	Ld	Le	Ln	Lden
Expresa	-	-	-	-
Troncal	69,9	68,5	64,6	72,9
Colectora	66,4	65,4	60,1	69,0
Servicio	64,9	64,8	58,9	67,6
Local	62,2	62,4	55,9	64,9

Tabla 1 – Indicadores sonoros registrados en las estaciones de monitoreo semanales

A continuación, se llevó a cabo un análisis del flujo de vehículos livianos y pesados en el periodo diurno y en el periodo nocturno. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 2. Las vías que registraron mayor nivel sonoro equivalente también son las que presentan mayor número de vehículos. Sin embargo, no hay un marcado decrecimiento de los vehículos pesados de la vía Expresa a la vía Local.

El decrecimiento del flujo vehicular diurno con respecto al nocturno es similar al 86% indicado por la Guía de las Buenas Prácticas para los Mapas Estratégicos de Ruido [12]. Sin embargo, no hay diferencia en el nivel promedio de porcentaje de pesados en las distintos tipos de vías. Este resultado es una evidencia de la importancia del transporte público pesado en las vías residenciales, ya que, otro tipo de vehículo pesado tienen un acceso restringido teniendo en cuenta sus características urbanísticas.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

Tipo de vía	Periodo diurno		Periodo nocturno	
	$\bar{Q}$ livianos	$\bar{Q}$ pesados	$\bar{Q}$ livianos	$\bar{Q}$ pesados
Expresa	1221	68	278	15
Troncal	1069	67	223	23
Colectora	490	22	78	6
Servicio	281	13	48	4
Local	209	10	38	2

Tabla 2 – Flujo promedio de vehículos livianos y pesados registrado por horas en el periodo diurno y nocturno en los distintos tipos de vías

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la Figura 2 y Tabla 2, se analizó la relación entre el nivel sonoro equivalente y el flujo de vehículos. Los resultados de esta relación se muestra en la Figura 3. Independientemente de que se trate el flujo total (Figura 3a) o el flujo equivalente (Figura 3b), la variabilidad explicada por este factor es significativamente elevada. El flujo equivalente se obtuvo estableciendo la equivalencia entre vehículo liviano y vehículo pesado y entre vehículo y motocicleta utilizada en estudios previos [3,10]. Por lo tanto, si tenemos en cuenta el flujo y tipología de vehículos, la variabilidad sonora es explicada es un 90%.

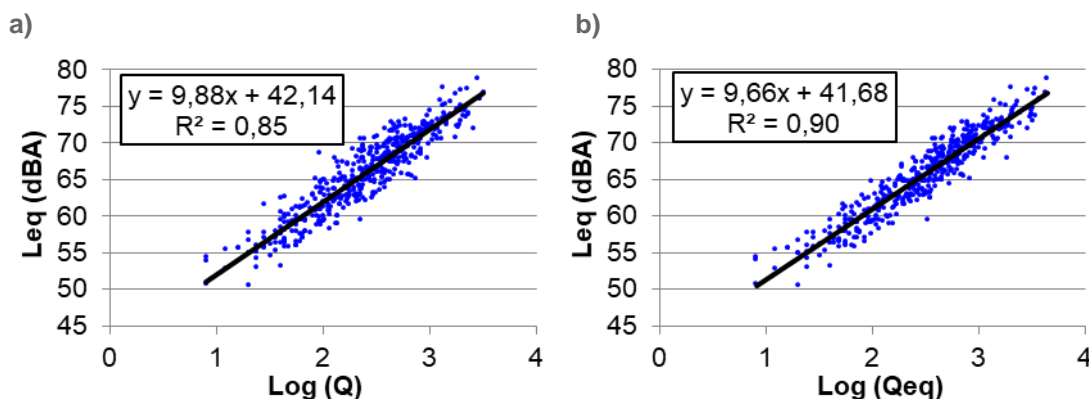


Figura 3 – Relación entre el nivel sonoro equivalente (dBA) y el flujo total de vehículos (a) y de vehículos equivalentes (b)

El error estándar de la ecuación obtenida en la Figura 3b es de 1.8 dB. Este error está por debajo de los 3 dB considerados como aceptable en las estimaciones de los mapas de ruido. Para una determinada distancia de la fuente sonora, aplicaciones que incorporen estas dos variables, pueden resultar sencillas y económicas.

El siguiente análisis que se planteó en el estudio, fue determinar las posibles causas de la variabilidad de los niveles sonoros observadas en la Figura 2. La primera hipótesis estaba relacionada con la variabilidad del flujo vehicular en el periodo diurno, también conocido como periodos valle y peak. Tiendo en cuenta los valores promedios de las distintas estaciones localizadas en cada tipo de vía, se elaboró la Figura 4. En la Figura 4 se observa que, en el periodo diurno (7:00 – 19:00), la variabilidad sonora horaria en los distintos tipos de vías es pequeña (no se ubicaron estaciones de monitoreo en la vía Expresa). Quizás, en el periodo vespertino, se empieza a observar una ligera disminución de los niveles sonoros. Por lo tanto, a priori, teniendo en cuenta la simplificación obtenida con la realización de promedios, la primera hipótesis fue rechazada.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

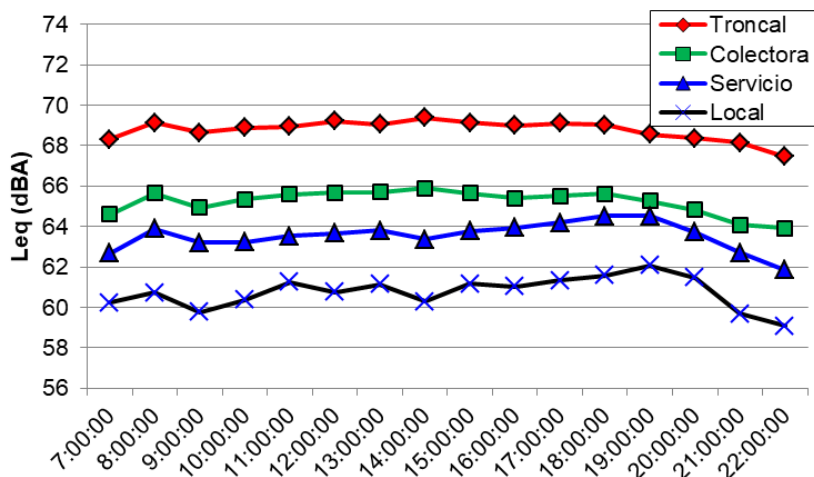


Figura 4 – Variabilidad de los niveles sonoros promedios en las horas del periodo diurno para los distintos tipos de vías

La segunda hipótesis planteada estaba relacionada con la presencia de transporte público pesado, también conocido en la ciudad de Santiago como transantiago. Los resultados de este análisis se muestran en la Figura 5 y Figura 6. En estas figuras se analizaron diferenciando, dentro de cada tipo de vía, aquellas localizaciones que tenían o no la presencia de transporte urbano pesado.

La Figura 5 y 6 muestran la variabilidad entre los niveles sonoros de aquellas estaciones de monitoreo que registraban o no transporte urbano pesado en función del tipo de vía. La vía Troncal que no presenta transporte urbano pesado presenta un nivel inferior que la vía Colectora que si lo presenta. Del mismo modo, la vía Colectora que presenta transporte urbano pesado presenta solapamientos en los niveles sonoros con la vía Servicios.

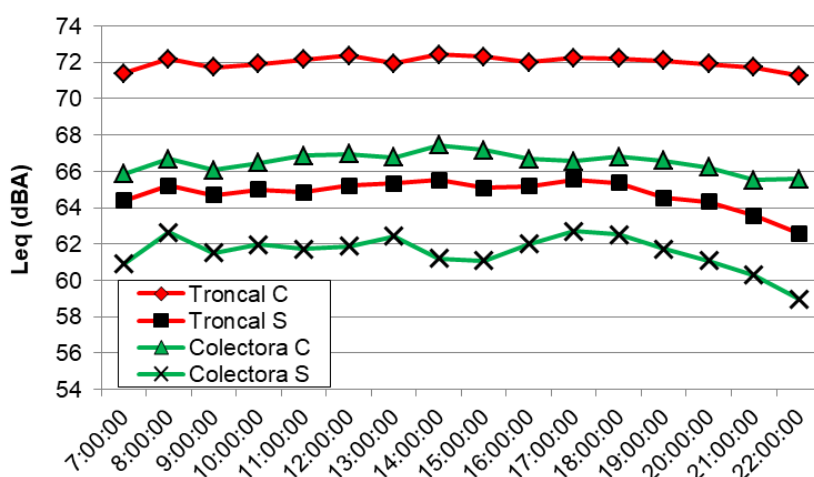


Figura 5 – Variabilidad de los niveles sonoros promedios con y sin buses urbanos en el periodo diurno en la vía troncal y colectora

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

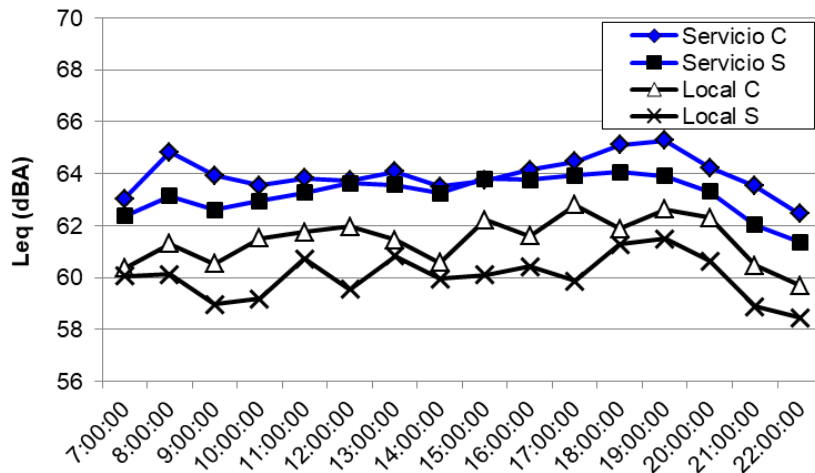


Figura 6 – Variabilidad de los niveles sonoros promedios con y sin buses urbanos en el periodo diurno en la vía servicio y local

La presencia de transporte urbano pesado esta influyendo en los niveles sonoros registrados. Además, la presencia de transporte urbano pesado influye en un posible cambio de funcionalidad de la vía. Según resultados mostrados en trabajos anteriores [11], el flujo de vehículos livianos también era superior si en dicha vía registraba la presencia de transporte urbano pesado. Por lo tanto, estos resultados permiten replantearse la clasificación vial considerando el transporte público urbano.

Finalmente, como último análisis de este estudio, dado la estrecha relación obtenida entre los niveles sonoros diurnos y el flujo equivalente (Figura 3b), se estimó el nivel sonoro nocturno a partir de los promedios de flujo obtenidos en los distintos tipos de vías (Tabla 2). Los valores obtenidos de este cálculo se le aplicó la corrección en altura por divergencia geométrica (1.5 m a 6 m) para compararlos con los valores mostrados en la Tabla 1.

Tipo de vía	Ln estimado
Expresa	-
Troncal	65,0
Colectora	60,3
Servicio	58,7
Local	59,4

Tabla 3 – Nivel sonoro nocturno estimado a partir del flujo y tipos de vehículos registrados en el periodo nocturno

Comparando los valores de la Tabla 1 y Tabla 3, los valores son muy próximos, excepto para la vía Local (quizás debido a la variabilidad de la misma y al tratarse de valores promedios globales). A partir de modelos simples se pueden obtener aproximaciones de los niveles sonoros, los cuales pueden utilizarse en aplicaciones educativas o para la comunidad, con el fin de aumentar el conocimiento y la conciencia al problema de la contaminación acústica [10].



## FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18- 24 al 26 de octubre**

### CONCLUSIONES

El flujo y tipo de tránsito rodado son dos variables importantes relacionadas con los niveles sonoros presentes en las vías urbanas. Ambas variables también son importantes para determinar la funcionalidad de las vías. De hecho, las actuales vías administrativas presentes en la ciudad de Santiago presentan problemas de diferenciación estadística por el efecto del transporte público pesado.

Los modelos de regresión lineal obtenidos del análisis de la relación entre los niveles sonoros diurnos y el flujo tránsito rodado pueden utilizarse para obtener aproximaciones de ambas variables en otras ubicaciones o en otros periodos horarios.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Ministerio de Medio Ambiente de Chile (Licitación N° 608897-160-LP15) y a la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile (CONICYT) a través del proyecto FONDECYT N° 1180547 por la financiación de este trabajo. G. Rey-Gozaló agradece la financiación del contrato Juan de la Cierva – Incorporación del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España (IJCI-2016-28923).

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). Manual de Vialidad Urbana. Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana (REDEVU) 2009. Disponible online: [http://www.minvu.cl/opensite\\_20070404110715.aspx](http://www.minvu.cl/opensite_20070404110715.aspx)
- [2] Ko, J.H.; Chang, S.I.; Lee, B.C. Noise impact assessment by utilizing noise map and GIS: A case study in the city of Chungju, Republic of Korea. *Appl. Acoust.* 2011, 72, 544–550.
- [3] Suárez, E.; Barros, J.L. Traffic noise mapping of the city of Santiago de Chile. *Sci. Total Environ.* 2014, 466, 539–546.
- [4] Bastián-Monarca, N.; Suárez, E.; Arenas, J.P. Assessment of methods for simplified traffic noise mapping of small cities: Casework of the city of Valdivia, Chile. *Sci. Total. Environ.* 2016, 550, 439–448.
- [5] Rey Gozaló, G.; Barrigón Morillas, J.M. Analysis of sampling methodologies for noise pollution assessment and the impact on the population. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2016, 13(5), 490.
- [6] Zambon, G.; Benocci, R.; Brambilla, G. Cluster categorization of urban roads to optimize their noise monitoring. *Environ. Monit. Assess.* 2016, 188, 1–11.
- [7] Alvarado, R.E.M.; Morillas, J.M.B.; Gozaló, G.R. Urban characteristics and traffic noise in Loja (Ecuador). *INTER-NOISE 2017*, Hong Kong, China.
- [8] European Commission. Commission Directive (EU) 2015/996 of 19 May 2015 establishing common noise assessment methods according to Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council. *Off. J. Eur. Union* 2015, L 168/1–823.
- [9] Arenas, J.P.; Suarez, E.; Cárdenas, J. Estimating the contribution of public transport buses to the total traffic noise in Santiago de Chile. *ICSV 2017*; London; United Kingdom;
- [10] Suarez, E.; Arenas, J.P.; Rey-Gozaló, G. Educational App for Traffic Noise Mapping. *INTER-NOISE 2018*, Chicago, USA.
- [11] Ministerio del Medio Ambiente. Actualización del Mapa de Ruido del Gran Santiago. Ficha de Licitación N° 608897-160-LP15, Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile, 2016.
- [12] WG-AEN (European Commission Working Group-Assessment of Exposure to Noise). Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure version 2, 2006.