

## MÉTODOS DE SIMPLIFICACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RUIDO DE CIUDADES.

PACS: 43.50.Rq

Bastián Monarca; Nicolás <sup>1</sup>; Suárez Silva; Enrique <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento Comercial, Área Comercial

Silentium, Ingeniería del Silencio

José Ananías 207 A, Santiago, Chile

Tel. +56 2 24489820

E-mail: [nbastian@silentium.cl](mailto:nbastian@silentium.cl)

<sup>2</sup> Instituto de Acústica, Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Universidad Austral de Chile (UACH)

Campus Miraflores, Valdivia, Chile

Tel. +56 63 2221339

E-mail: [enriquesuarez@uach.cl](mailto:enriquesuarez@uach.cl)

### ABSTRACT

This work presents simplified methods to generate a cost-effective noise maps. The methods are based on simplifications of both the buildings, which are treated as representative blocks, and the traffic flow. The noise map is implemented using a road traffic noise model and specialized modelling software. Two studies conducted in Chile in which the methods were applied are presented.

### RESUMEN

En este trabajo se presentan métodos de simplificación para elaborar mapas de ruido de ciudades a un bajo costo de implementación. Los métodos se basan en la simplificación de las edificaciones de toda la ciudad en bloques representativos y en la simplificación del flujo de tránsito vehicular. La confección del mapa de ruido se hace a través de un modelo de ruido de tránsito vehicular y software de modelación. A modo de ejemplo, se presentan dos estudios efectuados en Chile, en los cuales se aplicaron estos métodos.

### 1. INTRODUCCIÓN

La elaboración de mapas de ruido de ciudades se ha transformado en una herramienta de diagnóstico fundamental para establecer estrategias de gestión de control de ruido ambiental en todo el mundo. En algunos países no existen ni la información ni los recursos para elaborar mapas de ruido con rigurosidad. Por lo anterior, el utilizar métodos de simplificación para confeccionar mapas de ruido se ha convertido en una real necesidad para la comunidad científica acústica de países con escasos recursos. Respecto a los métodos de simplificación, se han simplificado las edificaciones en bloques representativos, el flujo de tránsito vehicular se ha clasificado en categorías, se realizó una segregación de vehículos entre livianos, pesados y motocicletas para contabilizar el flujo vehicular, se asumió una velocidad promedio de los vehículos para cada categoría de vía, se realizaron mediciones de nivel de presión sonora continuo equivalente en distintos puntos de la ciudad y se utilizó un modelo de ruido de tránsito

vehicular para elaborar el mapa de ruido de la ciudad. Posterior a esto, se elaboró el mapa de ruido de tránsito vehicular mediante el software CadnaA (Computer Aided Noise Abatement).

Respecto a la efectividad de los métodos de simplificación, la *Guía de Buenas Prácticas para Mapas Estratégicos de Ruido y la Producción de los Datos de Exposición al Ruido* (desde ahora *Guía de Buenas Prácticas*) [1] tiene metodologías muy similares a las empleadas, con una evaluación de los métodos desde el punto de vista de precisión, complejidad y costo y también con el margen de error que presentan los métodos. Además, se muestra una comparación entre los niveles medidos y modelados.

## 2. METODOS DE SIMPLIFICACIÓN

Tienen relación con los datos de entrada que se deben incorporar al software de modelación y están relacionados con la categorización de vías de la ciudad, agrupación y alturas de edificaciones y con la velocidad de los vehículos que pasan por las vías.

### 2.1. Categorización de Vías

Se utilizó una categorización de vías oficial de Chile, dada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en el Manual de Vialidad Urbana, la cual clasifica las vías urbanas en expresa, troncal, colectora, de servicio y local [2].

La ventaja de clasificar las vías en distintas categorías es que ayuda con la estratificación estadística, reduce el número de mediciones acústicas y de flujo vehicular y permite estudiar una zona más amplia de la ciudad [3]. Además, se ha demostrado que categorizar es adecuado para la descripción de ruido en ciudades medianas [4] y claramente tiene una mejor capacidad de predicción que el método estándar de la retícula [5][6]. Complementando lo anterior, estudios recientes [7] han mostrado que el utilizar el método de categorización de vías desde un punto de vista de funcionalidad, puede ser aplicado para estudiar otros contaminantes relacionados con el tránsito (además del ruido).

### 2.2. Agrupación de Edificaciones y Estandarización de Alturas

La simplificación que se empleó fue con respecto a la altura de edificios y al grupo de viviendas, utilizando una altura en común para todos los edificios y bloques representativos para los grupos de viviendas [8].

Esta estrategia focaliza los resultados a los niveles en la fachada de los edificios, ya que se conserva la fachada más expuesta al ruido de tránsito vehicular.

En el proceso de simplificación de grupo de viviendas, se tuvieron los siguientes criterios [3]:

- a) **Fachada continua:** la simplificación consiste en la fusión de todas las unidades de vivienda/edificaciones en un bloque que representa toda la manzana. El borde de dicho bloque corresponde a la unificación de las fachadas enfrentadas a la calle.
- b) **Fachada discontinua:** en base a la clasificación anterior, se define como fachada discontinua a aquellas que presentan intersticios, separación entre edificaciones. En este caso se optó por ignorar dichas discontinuidades y completar el borde del bloque a semejanza del caso anterior. Se consideró un criterio similar para el caso de calles sin salida, accesos a condominios y calles peatonales al interior de la manzana.
- c) **Manzana parcialmente ocupada:** se crea un bloque correspondiente a la superficie ocupada. Se pueden diferenciar dos casos particulares:

- i) Conjunto de edificaciones agrupado en una sección de la manzana. Por lo general corresponde a grupos de viviendas, y el bloque se construye de acuerdo a criterios anteriores aplicado al área utilizada.
- ii) Edificaciones aisladas distribuidas al interior de la manzana, que por su dimensión y emplazamiento es fácil distinguir las unidades como individuales y no como parte de un agrupamiento. No se construye bloque, se considera la edificación.



Figura 1. Ejemplo de simplificación de edificaciones. Se destaca caso de condición manzana parcialmente ocupada. Fuente: [3].

### 2.3. Estandarización de Velocidades de Vehículos

Se consideraron velocidades estándar para cada categoría de vía.

### 2.4. Análisis de las Simplificaciones Empleadas

El documento *Guía de Buenas Prácticas* [1], tiene por objetivo ayudar a los países que están dentro de la Comisión Europea a realizar mapas de ruido de forma competente y también obtener información adecuada según la Directiva Europea 2002/49/EC [9]. Entre las recomendaciones referentes a la información a trabajar, se encuentra el flujo vehicular diario de la ciudad, la velocidad de los vehículos, las áreas verdes que existan, etc. Cada recomendación es caracterizada por el grado de complejidad, precisión y costo que ésta tiene, las cuales se dividen en seis intervalos (ver Tabla 1).

Tabla 1. Valoración y error estimado de cada parámetro en los distintos intervalos. Fuente: [1].

Colour code to rate Tools					
complexity	colour code	accuracy	colour code	cost	colour code
simple		low	> 5 dB	inexpensive	
-	-	-	4 dB	-	-
-		-	3 dB	-	
-		-	2 dB	-	
-	-	-	1 dB	-	-
sophisticated		high	< 0.5 dB	expensive	

Lamentablemente, en el documento sólo se menciona la valoración de los valores extremos de cada parámetro (el mejor y peor caso), lo que es poco preciso al situarse entre los intervalos medios de cada parámetro (ver Tabla 1).

Por este motivo se propone utilizar el siguiente rango que se muestra en la Tabla 2, basando en los valores extremos dados en el documento (mínimos y máximos) y los valores medios que los autores estimaron como los más convenientes para cada caso.

Respecto al error de cada recomendación, dependiendo del intervalo en que se esté, los valores varían entre 5 a 0,5 dB. En la Tabla 2 se muestra cada intervalo con su posible error.

Tabla 2. Valoración y error estimado de cada nivel.

Complejidad	Precisión	Costo	Error
Muy simple	Muy impreciso	Muy barato	> 5 dB
Simple	Impreciso	Barato	4 dB
Normal	Normal	Normal	3 dB
Medianamente difícil	Medianamente preciso	Medianamente caro	2 dB
Difícil	Preciso	Caro	1 dB
Muy difícil	Muy preciso	Muy caro	< 0,5 dB

Analizando las recomendaciones del documento y comparando con los métodos de simplificación que se utilizaron para desarrollar este trabajo, se puede ver en la Tabla 3 un análisis de la metodología empleada.

Tabla 3. Análisis de la metodología empleada.

Información disponible	Recomendación	Complejidad	Precisión	Costo
No hay información respecto al flujo vehicular	Seleccionar un tipo de carretera y hacer un conteo de flujo, luego extrapolar a otras carreteras del mismo tipo	Muy difícil	Medianamente preciso	Medianamente caro
No hay información respecto a las velocidades	Suponga una velocidad media en función de la experiencia de carreteras del mismo tipo	Muy simple	Medianamente preciso	Normal
No hay información respecto a la altura de los edificios	Realizar visitas in situ y contar el número de pisos, luego multiplicar cada piso por una altura promedio	Muy difícil	Preciso	Medianamente caro

Por lo tanto, basado en las recomendaciones de la *Guía de Buenas Prácticas* [1], si bien el utilizar los métodos de simplificación expuestos anteriormente puede ser bastante tedioso y de un costo relativamente alto, la precisión que se obtiene es bastante buena ( $\pm 2$ dB).

### 3. METODOLOGÍA

Se elaboraron los mapas de ruido utilizando el software CadnaA, tomando en consideración la metodología desarrollada en otros estudios realizados en Chile [10][11][12]. El proceso de modelación se llevó a cabo incorporando al software de modelación información cartográfica y de flujo vehicular. En estos trabajos, los mapas de ruido que se obtuvieron, se limitan al ruido generado por el tránsito vehicular.

Para desarrollar los mapas de ruido, se debió realizar un análisis de la trama circulatoria (tipo de carpeta, número de vehículos, etc.), flujo vehicular (segregado entre vehículos livianos, pesados y motos), edificación en altura, topografía, etc.

#### 3.1. Proceso de Modelación

Primero se tuvo que obtener toda la información necesaria para poder desarrollar el modelo en el software, en este caso la metodología empleada fue la siguiente:

- a) Se obtuvo información cartográfica de la ciudad (calles, edificios, áreas verdes, etc.).
- b) Se verificó la información obtenida mediante visitas en terreno.
- c) Se realizó una categorización de las vías de la ciudad.
- d) Se realizaron mediciones acústicas y de flujo vehicular.
- e) Se compararon los niveles proyectados por los modelos de ruido de tránsito vehicular con los niveles medidos en terreno.
- f) Se escogió el modelo de predicción más apropiado.

Después de haber realizado los pasos que se mencionaron anteriormente, se procedió a trabajar en el software de la siguiente forma:

- a) Se importó la información cartográfica al software.
- b) Se aplicaron métodos de simplificación en el software.
- c) Se estableció el escenario de modelación: calles, edificios, curvas de nivel, etc.
- d) Se escogió el modelo de predicción a utilizar (modelo Alemán RLS-90) [13].
- e) Se obtuvo el mapa de ruido mediante la modelación con el software.
- f) Se comparó los resultados entregados por el software con mediciones acústicas.

### 3.2. Altura de Modelación

Si bien las recomendaciones de la Directiva 2002/49/CE [9] son que se realicen mapas de ruido a una altura de 4 metros, en el presente estudio se optó en utilizar una altura de 1,5 metros, ya que las mediciones acústicas de comparación se realizaron a esa de altura.

### 3.3. Mapa de Ruido

Se utilizó un coeficiente de absorción promedio para los edificios, el cual es de  $\alpha = 0,4$  [1].

Para las áreas verdes, el parámetro G se considera con un valor de 0,5 (suelo semi – poroso). Teniendo en cuenta que la norma ISO 9613-2 considera un valor  $G=0$  como suelo duro (concreto, agua, etc.) y  $G=1$  corresponde a suelo blando (poroso) [14].

Para el cálculo de mapas, se seleccionó un espaciado de receptores de 10 metros, valor recomendado por la directiva EC 2002-49 [9]. Además, la altura de evaluación es de 1,5 m.

Para la apariencia de los mapas se utilizan las recomendaciones de la directiva EC 2002-49 [9], lo que implica que los rangos de niveles sean de 5 dB.

El mapa de ruido representará niveles de presión sonora en tramos de 5 dB con distintos colores, acorde a lo establecido en la norma ISO 1996-2 [15]. Además, se siguieron las recomendaciones entregadas por el *Grupo de Trabajo de Evaluación a la Exposición al Ruido de la Comisión Europea* [16].

## 4. CASOS DE ESTUDIO

Los casos de estudio son dos proyectos que fueron realizados en la ciudad de Santiago de Chile el año 2011 y en la ciudad de Valdivia el año 2013. Ambos contemplaron un mapa de ruido diurno, categorización de vías de flujo vehicular utilizando la clasificación vial oficial de Chile y mediciones acústicas acorde a lo descrito en la norma ISO 1996-2:2007 [17]

Ambos estudios contemplaron separación de vehículos livianos, pesados y motos y fue posible concluir que las categorías Colectora y Servicio muestran gran similitud, a tal punto que para estudios acústicos podrían agruparse como una sola categoría.

Referente a la tipología de edificaciones, se utilizaron bloques representativos de grupos de viviendas, edificios y/o manzanas. Ambos estudios incluyeron un análisis de esta simplificación respecto a su impacto acústico, concluyendo que los posibles errores son muy poco significativos. Además, la altura de modelación es de 1,5 m, y se utilizaron dos alturas de bloques de edificaciones: 4 m en manzanas donde sólo hay viviendas de uno y dos pisos, y 10 m para los otros casos con edificaciones de más alturas.

En ambos estudios, el análisis de flujos de tránsito y niveles de ruido según tipo de vía confirmó como adecuada la utilización de las categorías de las vías. Los flujos y los niveles (promedios, mínimos y máximos) muestran la tendencia de disminución al bajar de categoría desde Expresa a Local.

#### 4.1. Mapa de Ruido del Gran Santiago (2011)

Se realizó un análisis de flujos de tránsito vehicular y de niveles de ruido mediante el estudio de 1.057 mediciones. De los 1.057 datos, 721 corresponden a horario valle (9:00 – 18:00 / 20:00 – 21:00) y 336 a horario punta (7:00 – 9:00 / 18:00 – 20:00).

El proceso de modelación contempló ingresar los datos promedio de flujo vehicular diferenciado por horario, tipo de vía y zona, con excepción de las vías expresas que se trataron como un solo tipo de vía para toda la superficie de estudio, por sus propias características.

Respecto a la diferencias entre los datos medidos y modelados, en la tabla 4 se muestra un análisis con 191 datos, diferenciados por tipo de vía.

**Tabla 4. Ejercicio de comparación entre Leq medido v/s Leq modelado.**

Categoría de vía	Cantidad de datos	Leq Promedio Medido (dBA)	Leq Promedio (dBA)	Promedio Diferencia Absoluta	Desviación Estándar Diferencia Absoluta
Expresa	4	73,3	75,0	1,7	1,1
Troncal	80	71,8	72,9	1,5	1,4
Colectora	59	68,4	70,1	2,1	1,7
Servicio	19	66,5	68,1	2,6	3,1
Local	29	61,2	62,2	3,1	3,3

#### 4.2. Mapa de Ruido de Valdivia (2013)

Se realizó un análisis de flujos de tránsito vehicular y de niveles de ruido mediante el estudio de 80 mediciones entre las 9:00 y 18:00 sin diferenciar entre horario valle y punta.

Respecto a la clasificación vial, se consideraron vías Colectoras o de Servicio como una sola categoría, debido a que en la ciudad de Valdivia no existen vías de Servicio.

El proceso de modelación contempló ingresar los datos promedio de flujo vehicular y tipo de vía.

Respecto a la diferencias entre los datos medidos y modelados, en la tabla 5 se muestra un resumen por tipo de vía.

**Tabla 5. Ejercicio de comparación entre modelación y mediciones.**

Categoría de vía	Cantidad de datos	Leq Promedio Medido (dBA)	Leq Promedio Modelado (dBA)	Promedio Diferencia Absoluta	Desviación Estándar Diferencia Absoluta
Expresa	10	73,7	72,9	1,9	1,7
Troncal	24	70,4	69,8	4,6	3,0
Colectora o Servicio	36	68,2	67,3	3,0	2,7
Local	10	58,5	59	4,9	2,4

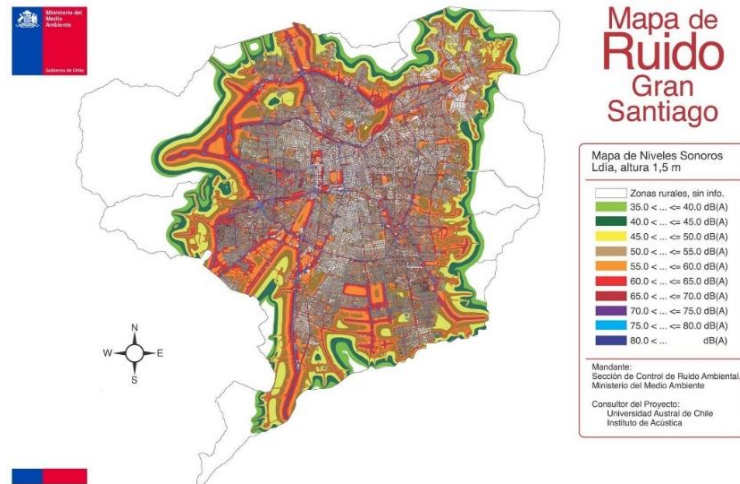


Figura 2. Mapa de Ruido del Gran Santiago. Fuente: [18].



Figura 3. Mapa de Ruido de la ciudad de Valdivia.

## 5. CONCLUSIONES

Se pueden confeccionar mapas de ruido a través de un método híbrido, basado en metodología de viales, modelos predictivos y simplificaciones cartográficas y de flujo vehicular, obteniendo datos acústicos confiables que muestran la distribución del ruido en toda ciudad.

La metodología empleada permite desarrollar mapas de ruido de manera efectiva y económica, adecuándose a la realidad de Chile.

Además, la metodología presentada se puede aplicar a pequeñas ciudades (como Valdivia, 155.000 habitantes) y también a grandes ciudades (como Santiago de Chile, sobre 5.000.000 de habitantes) obteniendo información válida sobre el comportamiento acústico de la ciudad.

La simplificación de vías debe ser revisada y ajustada en una ciudad pequeña como Valdivia, ya que existe variación de flujo vehicular y nivel de presión sonora entre vías que comparten la misma categorización, como las vías Troncales y Locales. Una opción es crear una clasificación vial que segregue las vías con alto flujo y bajo flujo vehicular o bien, incluir otras formas de subclasificar las vías, como aquellas vías con presencia de buses y microbuses y las que no tienen ese tipo de flujo vehicular.

Finalmente, es importante destacar que estas metodologías son concordantes con la Comunidad Europea según la *Guía de Buenas Prácticas* [1].

## REFERENCIAS

- [1] WG-AEN: Assessment of exposure to noise. Good practice guide for strategic noise mapping and the production of associated data on noise exposure, version 2. European Commission Working Group, August 2007.
- [2] Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU (2009). Manual de Vialidad Urbana 2009, "Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana (REDEVU) 2009". [[http://www.minvu.cl/opensite\\_20070404110715.aspx](http://www.minvu.cl/opensite_20070404110715.aspx)]
- [3] Suárez, E.; Barros, J.L. Traffic Noise Mapping of the City of Santiago de Chile. *Science of the Total Environment*. Volumes 466-467, 1 January 2014, Pages 539-546.
- [4] Barrigón Morillas, JM.; Gómez Escobar, V.; Méndez Sierra, JA.; Vílchez-Gómez, R.; Vaquero, JM.; Trujillo Carmona, J. A categorization method applied to the study of urban road traffic noise. *J acoust Soc Am* 2005;17:2844-52.
- [5] Barrigón Morillas, JM.; Gómez Escobar, V.; Méndez Sierra, JA.; Vílchez-Gómez, R.; Carmona del Río, FJ.; Trujillo Carmona, J. Analysis of the prediction capacity of a categorization method for urban noise assessment. *Appl Acoust* 2011;72:760-71.
- [6] Rey Gonzalo, G.; Barrigón Morillas, JM.; Gómez Escobar, V. Analysis of noise exposure in two small towns. *Acta Acustic* 2012;98:884-93.
- [7] Rey Gonzalo, G.; Barrigón Morillas, JM.; Gómez Escobar, V. Urban streets functionality as a tool for urban pollution management. *Sci Total Environ* 2013;461-462:453-61.
- [8] Ausejo, M.; Recuero, M.; Asensio, C.; Pavón, I. & López, J. M. Study of Precision, Deviations and Uncertainty in the Design of the Strategic Noise Map of the Macrocenter of the City of Buenos Aires, Argentina. *Environ Model Assess* 2010; 15, p. 125–135.
- [9] Directive of The European Parliament and of The Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise; 2002/49/ECC.
- [10] Comisión Nacional del Medio Ambiente CONAMA. Elaboración de Mapas de Ruido mediante Software de Modelación, para Caso Piloto (Comunas de Antofagasta y Providencia) (Contrato N° 01-059/09). Proyecto Ejecutado por el Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile; 2009.
- [11] Ministerio del Medio Ambiente MMA. Elaboración de Mapa de Ruido Comuna De Santiago Mediante Software de Modelación. Ficha de Licitación N° 1588-67-LE10. Proyecto Ejecutado por el Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile; 2010.
- [12] Ministerio del Medio Ambiente MMA. Elaboración de Mapa de Ruido del Gran Santiago Mediante Software de Modelación. Ficha de Licitación N° 608897-12-LE11. Proyecto Ejecutado por el Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile; 2011.
- [13] Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen RLS-90, Der Bundesminister für Verkehr, 1990.
- [14] International Organization for Standardization. *International Standard ISO 9613-2:1996, Acoustics – Attenuation of Sound During Propagation Outdoors – Part 2: General Method of Calculation*. Technical Committee ISO/TC 43, Acoustics; 1996.
- [15] International Organization for Standardization. *International Standard ISO 1996-2: 2007, Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedures*. International Organization for Standardization; 2007, Switzerland.
- [16] WG-AEN: Presenting Noise Mapping Information to the Public. A Position Paper from the European Environment Agency Working Group on the Assessment of Exposure to Noise. European Commission Working Group, March 2008.
- [17] International Organization for Standardization. *International Standard ISO 1996-2: 2007, Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedures*. International Organization for Standardization; 2007, Switzerland.
- [18] Suárez, E.; Quezada, R. Avances en Mapas de Ruido en Chile. *Tecniacustica* 2013 – 44º Congreso Español de Acústica, Encuentro Ibérico de Acústica, EAA European Symposium on Environmental, Acoustics and Noise Mapping.