

CONTRASTACIÓN DE MAPAS DE RUIDO MEDIANTE SOFTWARE DE PREDICCIÓN ACÚSTICA A PARTIR DE NIVELES SONOROS RELEVADOS IN SITU VS. DATOS DEL FLUJO VEHICULAR

Jorge A. Pérez Villalobo^{a,b}, Horacio H. Contrera^a, Raúl A. Bodoira^a, Elías A. Cáceres Mendoza^a, María A. Hinalaf^{a,c}, Pablo Kogan^{a,b}

^a*Centro de Investigación y Transferencia en Acústica, CINTRA, Unidad Asociada del CONICET, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina, X5016ZAA Córdoba, Argentina, jorgeperezvillalobo@gmail.com, <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/cintra>*

^b*Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, <http://www.institucional.frc.utn.edu.ar/civil>*

^c*Escuela de Fonoaudiología, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Córdoba, Enrique Barros s/n, X5016ZAA Córdoba, Argentina, <http://www.fono.fcm.unc.edu.ar>*

Palabras Clave: Contaminación sonora, Mapas de ruido, Ruido de tránsito, Simulación acústica.

Resumen. La contaminación sonora de un área urbana se analiza a través del desarrollo de mapas de ruido, siendo el tránsito vehicular la fuente sonora predominante en este tipo de sectores. En este trabajo se estudió la contaminación sonora de una zona residencial de la ciudad de Córdoba (Argentina) en horario diurno, donde por medio de simulación computacional se desarrolló: a) un mapa de ruido a partir de los niveles sonoros relevados in situ en puntos fijos, b) dos mapas de ruido a partir de los datos de los flujos vehiculares en distintas arterias. Finalmente, se contrastan los valores de ruido obtenidos por ambas metodologías, mostrando que las diferencias no son elevadas.

1 INTRODUCCION

El crecimiento demográfico en las ciudades ha provocado que la contaminación acústica sea una de las más importantes problemáticas ambientales de los centros urbanizados.

La principal fuente de ruido urbano es el tránsito vehicular, por tanto se hace necesario contar con información referente al tema de modo tal de poder caracterizar a éste y analizar los niveles sonoros que genera, logrando una evaluación de la situación de ruido o grado de contaminación acústica presente en un sector (Bluhm et al., 2004).

Ante ello, es imprescindible contar con herramientas que permitan definir y visualizar de manera sencilla la realidad acústica del área bajo estudio, para lo cual los mapas de ruido resultan ser adecuados.

La elaboración de mapas de ruido puede llevarse a cabo mediante dos modalidades –siendo posible realizar además una combinación de ambas– ya sea por medio del relevamiento de los niveles sonoros in situ presentes en cada área de interés, o mediante la aplicación de un modelo predictivo de ruido de tránsito o TNM (Traffic Noise Model) (Quartieri et al., 2009).

El uso de modelos de predicción de ruido de tránsito vehicular permite prever los niveles sonoros generados por una arteria, a partir de datos característicos de la misma como cantidad y composición del flujo vehicular, velocidades de circulación, características constructivas de la vía, entre otros (Steele, 2001). En la actualidad existen distintos modelos principalmente desarrollados por diferentes países de la comunidad europea (CoRTN, del Reino Unido; NMPB-ROUTES-96 y 2008, de Francia; RLS-90, de Alemania; STL86, de Suiza; STATENS PLANVERK-96, de los Países Nórdicos; FHWA, de Estados Unidos; CNOSSOS de la comunidad europea, entre otros) (Garg et al., 2014; Steele, 2001)

La principal ventaja de utilizar los modelos de cálculo predictivo a partir del comportamiento del flujo vehicular y su entorno acústico-arquitectónico, es la de desarrollar los mapas de polución sonora sin necesidad de realizar arduas y costosas campañas de medición (Quartieri et al., 2009). Asimismo, es común también simplificar el proceso de elaboración de los mapas mediante una categorización de las arterias, consistente en agrupar las distintas vías de la zona bajo estudio a partir de un criterio determinado, y de esta forma asignarle a cada grupo características representativas en cuanto a flujo vehicular, velocidad máxima, porcentaje de vehículos pesados, etc. Con ello se evita relevar estos parámetros en cada una de las arterias del área analizada, solo debiéndose evaluar a que categoría pertenece cada vía y luego aplicar los datos definidos para cada tipo (Romeu et al., 2011).

Debido a la inexistencia de un modelo de predicción de ruido de tránsito para ciudades en Argentina, para este trabajo se tomaron como referencia estudios similares realizados en otras ciudades de Latinoamérica (Bastián et al., 2016; Suarez et al., 2014; Murillo et al., 2015), donde el modelo que más aceptación presentó fue el correspondiente a la norma alemana RLS-90.

Este trabajo tiene como objetivo contrastar los niveles sonoros relevados in situ en puntos fijos de un área residencial de la ciudad de Córdoba, Argentina, con los niveles sonoros simulados por modelado predictivo en los mismos puntos a partir de los datos de flujos vehiculares y velocidades máximas.

También se presenta una primera intención en la búsqueda de una categorización de las arterias de la ciudad de Córdoba, de modo de poder emplearse en esta contrastación y en un futuro para el trazado de mapas de ruido de otras áreas de la ciudad.

2 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio seleccionada corresponde a Barrio Juniors, un sector con predominio

residencial de la ciudad de Córdoba (ver [Figura 1](#)). La elección del mismo tuvo por finalidad la caracterización acústica de una zona que es puramente residencial en el interior del barrio y que en su periferia presenta características con tendencia mixta (residencial-comercial). La población del sector es de 6521 habitantes según el Censo Nacional (2010).

El área posee una superficie de 0,83 km² y se encuentra delimitada por las calles: Av. Intendente Mestre, Rosario de Santa Fe y Larrea. Las edificaciones en su mayoría no superan las dos plantas, a excepción de las ubicadas sobre la calle Rosario de Santa Fe, en donde se registra la presencia de construcciones residenciales más elevadas, siendo la altura promedio de cuatro plantas. Por último, se menciona que en el extremo sur del barrio, se encuentran emplazadas las instalaciones de un Club de actividades deportivas.

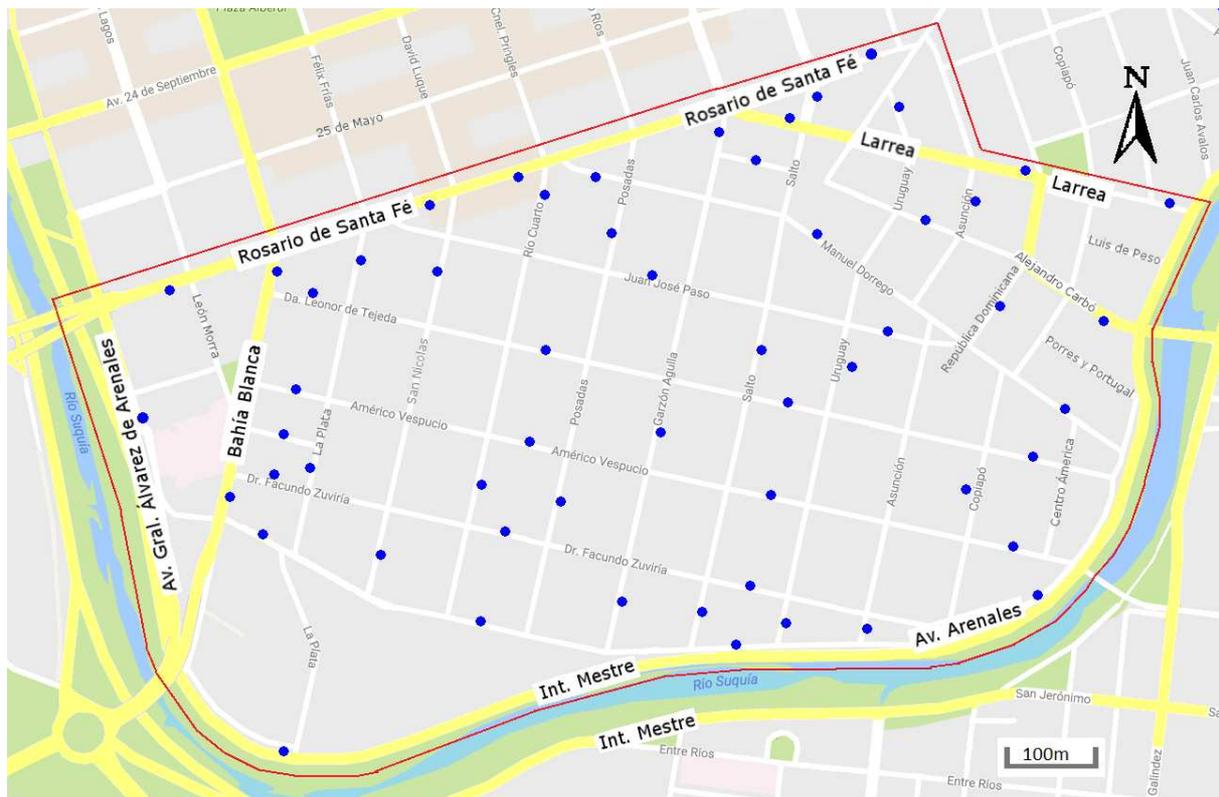


Figura 1: Área residencial de la Ciudad de Córdoba (Barrio Juniors), con los puntos de medición

3 RELEVAMIENTOS IN SITU

Para el relevamiento de niveles sonoros in situ en la zona se distribuyeron un total de 56 puntos fijos de medición (ver [Figura 1](#)). La ubicación de los mismos fue definida con la intención de evitar que estuviesen próximos a paradas de colectivos, semáforos, e intentando siempre ubicar los puntos en el sector medio de cada cuadra. La densidad de los puntos estipulada preveía un punto cada tres cuadras o menos sobre la misma arteria.

Al no disponer de un punto de medición en cada una de las cuadras y vista cierta regularidad del tránsito de una cuadra a otra sobre la misma arteria, los niveles sonoros para las cuadras no relevadas fueron determinados a partir de una interpolación con los datos disponibles de los puntos próximos.

Las mediciones se llevaron a cabo durante períodos de 15 minutos en cada punto, y en la franja horaria correspondiente entre las 10:00 y las 18:00 hs., es decir, en el horario diurno según la Norma [IRAM 4062:2016](#).

El relevamiento sonoro en cada punto consistió en la medición del nivel sonoro continuo equivalente (L_{Aeq}), para lo cual se empleó un medidor de nivel sonoro clase 1 (Brüel & Kjaer 2270) con trazabilidad a patrones internacionales. El medidor fue ubicado a una distancia de 0,2 m con respecto al cordón de la vereda y a una altura de 1,50 m con respecto al nivel de piso, siendo orientado hacia la calzada y con protector de viento incorporado.

Simultáneamente con las mediciones sonoras se registró el aforo vehicular en cada punto, contabilizando según la categoría en automóviles y motocicletas (vehículos livianos) y camiones y colectivos (vehículos pesados) con su correspondiente velocidad máxima. Esta información es la que luego se utiliza para asignar valores de flujo vehicular y velocidad específicos para cada grupo de vías, cuando se realizan las categorizaciones.

Adicionalmente fueron relevadas las características acústicas-arquitectónicas del lugar (materiales constitutivos, anchos de calzadas, dimensiones de las veredas, altura de las fachadas frente a la ubicación del punto de medición y su valor medio por cuadra, entre otros), información que se emplea luego en la modelización del sector a través del software de predicción acústica.

4 ESPECIFICACIONES DEL MODELO

Para desarrollar el mapa de ruido de la zona, es necesario realizar en primera instancia el modelo computacional de la misma. Para ello se empleó el software de simulación acústica CadnaA.

El modelo físico constructivo del sector se llevó a cabo a partir de una base de datos con información referida al trazado de las calles, el ancho de calzadas y veredas, y la distribución y alturas de las edificaciones. Esta información se obtuvo tanto de los datos relevados in situ como también de la obtenida empleando herramientas informáticas como Google Earth y su opción Street View (principalmente usadas para determinar las alturas de las edificaciones y la distribución de las unidades edilicias).

En el software de simulación acústica es imprescindible definir el modelo de fuente sonora o ruido de tránsito rodado a utilizar, así como el modelo de propagación del ruido. En este caso se seleccionó para el modelo de propagación el estipulado por la norma ISO 9613-2:1996, y para el modelo de las fuentes sonoras (carreteras) se utilizó el propuesto por la norma alemana RLS-90. Esta última plantea como principal descriptor al $L_m^{(25)}$ el cual es el valor promedio medido a una distancia de 25 m del centro del carril de la vía. Este resulta ser función de la cantidad de vehículos por hora M y del porcentaje de vehículos pesados p , ver Ecuación (1), siempre y cuando se cumplan las condiciones preestablecidas, es decir, velocidad límite menor a 100 km/h, gradiente de la vía menor al 5 % y una superficie predeterminada de la arteria (asfalto).

$$L_m^{(25)} = 37,3 + 10 \log[M(1 + 0,082p)] \quad (1)$$

Cuando las condiciones mencionadas no se cumplen el valor promedio medible a 25 m se llama $L_{m,E}$ (Ecuación (2)) el cual está compuesto por el valor $L_m^{(25)}$ más una serie de correctores que compensan el incumplimiento de las condiciones que se mencionaron. Los correctores son:

- D_v Corrección por diferentes límites de velocidad.
- D_{Str} Corrección por diferentes tipos de superficie de carretera.
- D_{sig} Corrección por gradiente.
- D_E Corrección por reflexiones.

$$L_{m,E} = L_m^{(25)} + D_v + D_{Str} + D_{sig} + D_E \quad (2)$$

Las correcciones anteriormente mencionadas son aplicadas internamente por el software de simulación, para lo cual hay que escoger la velocidad límite deseada como así también el gradiente de la vía y el material que la constituye.

Para el trazado del mapa de ruido se optó por configurar una grilla de 10x10 m, de acuerdo a lo recomendado por el Grupo de Trabajo sobre Evaluación de Exposición al Ruido de la Agencia Medioambiental Europea (WG-AEN, 2007).

Debido a la complejidad del cálculo computacional y con ello el tiempo que demanda la elaboración del mapa, se configuró el software teniendo en cuenta algunas simplificaciones generales, como son la reducción del radio de búsqueda de fuentes de emisión sonora alrededor de cada receptor, la limitación en el orden de reflexiones consideradas, entre otras, las cuales fueron aplicadas en otras simulaciones en trabajos realizados anteriormente (Contrera et al., 2015, Pérez et al., 2016).

Es importante destacar que el mapa de ruido fue trazado considerando la malla de elementos receptores posicionados a 1,5 m desde el nivel del suelo, es decir, a la altura que fueron realizadas las mediciones in situ.

En términos gráficos el mapa representa áreas de ruido en intervalos de niveles sonoros de 5 dB, según lo recomendado por la Directiva Europea 2002/49/CE (2002). Y se emplea la paleta de colores sugerida por la versión 1987 de la ISO 1996-2.

4.1 Simplificaciones para el modelado

Para optimizar los tiempos en la etapa de carga y elaboración del modelo, se utilizaron algunas simplificaciones específicas principalmente en lo referido a las características arquitectónicas del área, algo que también es propuesto por el Grupo de Trabajo de la Agencia Medioambiental Europea (WG-AEN, 2007).

En lo que respecta a las edificaciones se simplificaron las manzanas. En aquellas donde las edificaciones eran netamente residenciales con alturas de hasta dos plantas, se simplificó el modelado como una única unidad edilicia con una altura promedio de las relevadas en la manzana. Sin embargo, a aquellas edificaciones que poseían una altura razonablemente mayor que sus colindantes se las modeló de manera individual.

También el sector sur presenta en su arteria límite –Av. Intendente Mestre– una sobrelevación de entre 4 y 5 m respecto al resto de la zona bajo estudio. Por lo que para modelar esta arteria se utilizaron curvas de nivel y la opción de triangulación de puntos en el Modelo Digital de Terreno (MDT) del software. En cuanto al resto del barrio la variabilidad del terreno puede considerarse prácticamente nula, obteniéndose un modelo aproximado a la realidad topográfica del lugar.

4.1.1 Categorización de las arterias de circulación

Otra manera de simplificar el proceso de carga de datos y elaboración de los mapas es a través de una categorización de las diferentes arterias del sector. Es decir, agrupar las distintas vías a partir de un criterio determinado y asignar a cada categoría valores representativos en lo relacionado al flujo vehicular total, porcentaje de vehículos pesados, y velocidades máximas, entre otros. Por lo que, en este trabajo se desarrollan: a) un mapa acústico a partir de los niveles sonoros relevados in situ, el cual se considera como referencia. b) dos mapas sonoros desarrollados a partir de los datos del flujo vehicular relevado, con distintos grados de simplificación o categorización de las arterias.

Categorización 1

Se estableció esta primera categorización teniendo en cuenta el flujo vehicular y el

porcentaje de pesados relevados in situ en cada uno de los puntos de medición. Y se definió velocidades máximas para cada una de las arterias en función de la categorización planteada por el municipio ([Ordenanza N° 9981](#)) de acuerdo al uso de cada vía. Esta categorización define:

1) Avenidas: las cuales presentan alto flujo vehicular y continuo, velocidad de circulación media-alta, constituyen vías de comunicación entre diferentes sectores o barrios de la ciudad, tienen prioridad en las bocacalles, y poseen un ancho de calzada superior a los nueve metros.

2) Calles: presentan flujo vehicular medio/bajo y discontinuo, velocidad de circulación media/baja, y tienen un ancho de calzada de hasta nueve metros.

La [Tabla 1](#) presenta un resumen de la categorización 1, donde n es el número de puntos relevados según cada tipo de vía.

Tipo de vía	n	Velocidad máxima (km/h)
Avenidas	26	60
Calles	30	40

Tabla 1: Características de categorización 1.

Categorización 2

Como segundo intento de categorización se establecieron tres tipos de vías de acuerdo a su uso. A saber:

1) Avenidas: caracterizadas principalmente por presentar un flujo vehicular continuo a alta velocidad, constituyen corredores de distribución de tránsito a través de distintas zonas de la ciudad, con alta prioridad en los cruces con vías de categorías inferiores.

2) De Servicio: poseen flujo vehicular continuo, con velocidades de circulación media-alta, y constituyen vías de ingreso y egreso desde el sector residencial hacia avenidas u otras zonas colindantes. Poseen prioridad en cruces con vías locales.

3) Locales: poseen flujo vehicular discontinuo, a velocidad media-baja, las mismas son utilizadas en su mayoría solo por residentes de la zona, por lo que la circulación de vehículos pesados es baja.

Para definir los flujos vehiculares, velocidades máximas y porcentajes de pesados de ésta categorización se agruparon los puntos relevados de acuerdo a cada tipo de vía y se determinaron los promedios para cada parámetro. La [Tabla 2](#) resume los resultados de la categorización 2.

Tipo de vía	n	Velocidad máxima (km/h)	Flujo promedio (veh/h)	Vehículos pesados (%)
Avenidas	4	70	1536	2,0
De Servicio	6	60	536	5,2
Locales	46	40	88	3,0

Tabla 2: Características de categorización 2.

En la [Figura 2](#) se observa un diagrama de cajas en donde se representa la distribución del flujo de tráfico de acuerdo al tipo de vía. Se evidencia un aumento en la dispersión de los valores de aforo a medida que la categoría es mayor. Asimismo, se infiere que no hay solapamiento entre las distintas cajas, indicando según Bastián et al. (2016) una adecuada clasificación de las vías.

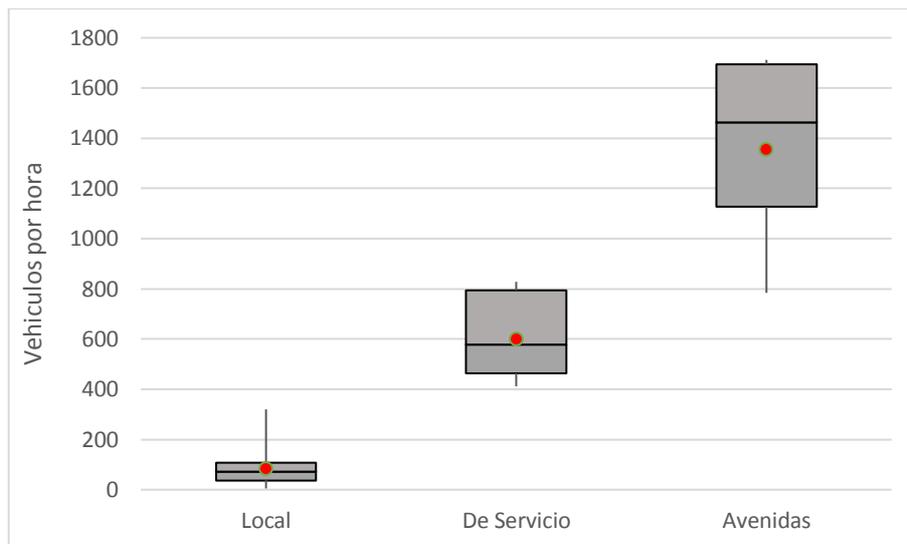


Figura 2: Diagrama de cajas del flujo vehicular según categoría.

5 ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE RUIDO

5.1 Mapa de ruido a partir de niveles sonoros in situ

Al elaborar el mapa a partir de los niveles sonoros medidos se aprovecha la característica de la norma alemana RLS-90 de emplear como parámetro de entrada de los emisores de ruido el nivel sonoro continuo equivalente ponderado A, medido a una distancia de 25 m del centro de calzada. Debido a que en zonas urbanas esta distancia teórica resulta difícil de satisfacer es necesario aplicar una corrección al valor que se ingresa al software de predicción acústica. El parámetro de corrección por distancia dispuesto por la RLS-90 se describe en las Ecuaciones (3) y (4).

$$L_{m,E} = L_m - D_{s,1} \quad (3)$$

$$D_{s,1} = 15,8 - 10 \log S_1 - 0,0142 S_1^{0.9} \quad (4)$$

Siendo L_m el nivel sonoro medio relevado en cada uno de los puntos de medición, y $D_{s,1}$ la corrección (en dB) por distancia antes mencionada. Puede visualizarse en la Ecuación (4) que la única variable involucrada es S_1 , definida como la distancia (en metros) entre el centro de la arteria y el punto de medición.

En la Figura 3 se muestra el mapa de ruido elaborado a partir de los niveles sonoros relevados in situ (LA_{eq}), el cual se usará como referencia o patrón en la contrastación con los restantes.

5.2 Mapas de ruido a partir del aforo vehicular

Para el desarrollo de los mapas de ruido a partir del aforo vehicular la norma RLS-90 requiere especificar –como datos de entrada– el número de vehículos por hora, el porcentaje de vehículos pesados, y la velocidad máxima de cada arteria. De esta manera, se elaboraron los dos mapas con los diferentes grados de simplificación o categorización.

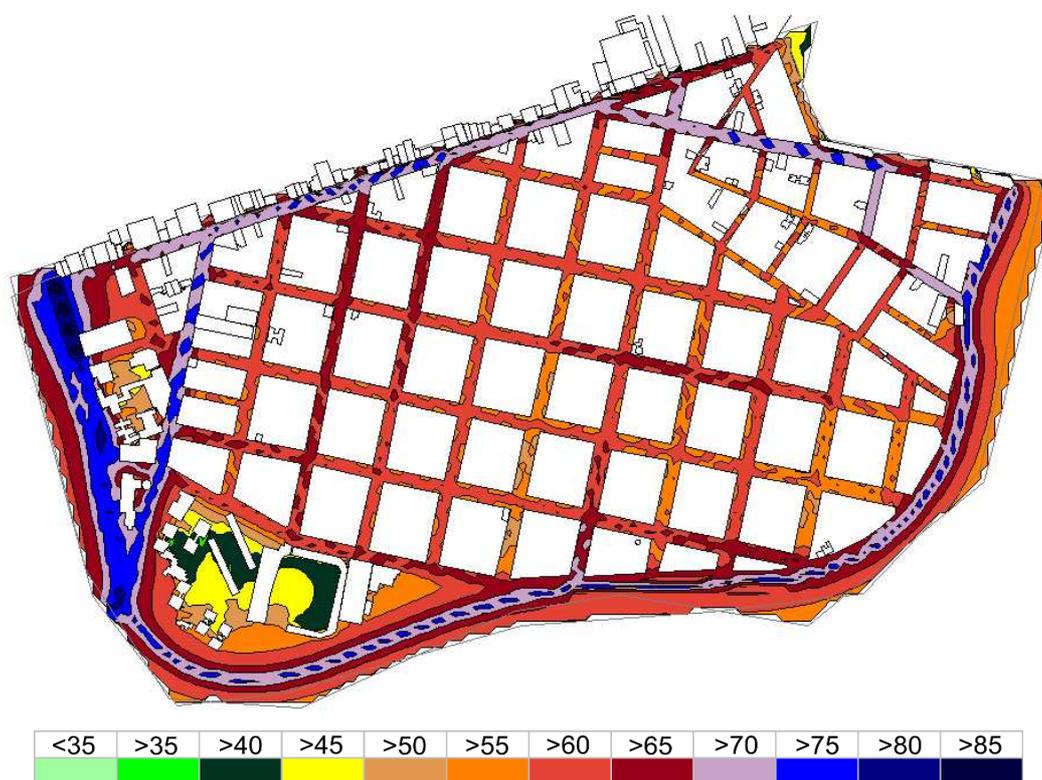


Figura 3: Mapa de ruido a partir de niveles sonoros relevados in situ (en dBA).

5.2.1 Mapa según categorización 1

Como ya se mencionó, para el desarrollo de este mapa (ver Figura 4) la simplificación surgió de categorizar dos tipos de arterias con velocidades máximas establecidas por el municipio de la ciudad, pero con valores de flujo vehicular y porcentaje de pesados de acuerdo a los datos relevados in situ en cada vía. En aquellas cuadras que no se realizaron relevamientos, se le asignó valores de flujo vehicular y porcentaje de pesados obtenidos a través de interpolación de las cuadras contiguas que si poseían mediciones.

5.2.2 Mapa según categorización 2

Para la elaboración de este mapa (ver Figura 5) se le asignó a cada arteria el valor de flujo vehicular, porcentaje de pesados y velocidad máxima que corresponde a cada una de las categorías planteadas en el punto 4.1.1-categorización 2.

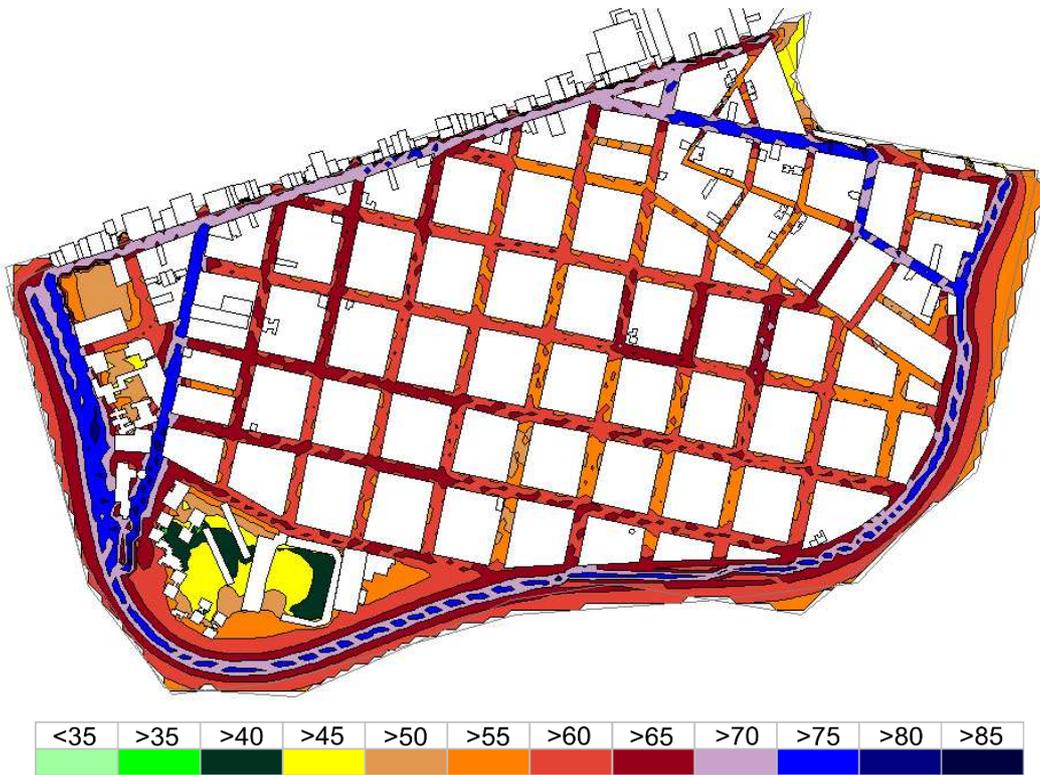


Figura 4: Mapa de ruido mediante categorización 1 (en dBA).

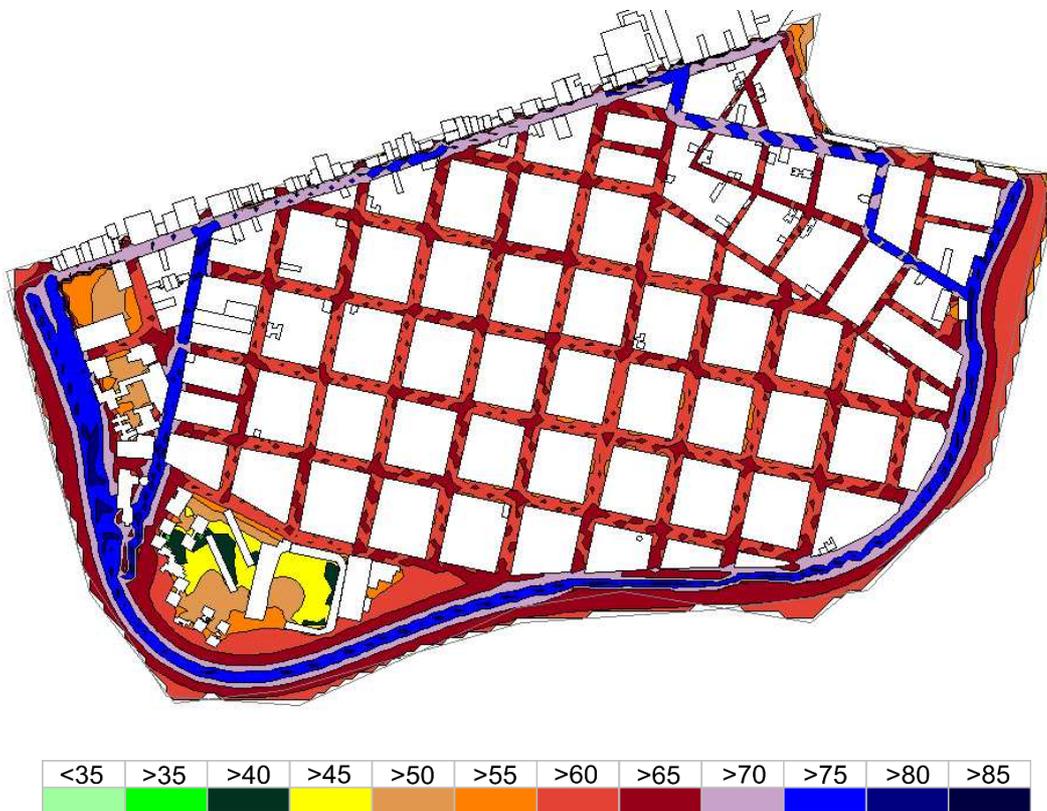


Figura 5: Mapa de ruido mediante categorización 2 (en dBA).

6 CONTRASTACION DE NIVELES SONOROS

A partir de los niveles sonoros obtenidos en los distintos mapas de ruido, se realizó una comparativa para establecer la magnitud del error que introducen las simplificaciones realizadas en cada categorización con respecto a los valores reales relevados in situ. Para esto se colocaron puntos receptores dentro del plano de simulación, ubicados a una altura y coordenadas espaciales de manera que se correspondan con los puntos de medición in situ. Así se obtuvo la diferencia entre los niveles sonoros simulados (en ambas categorizaciones) y lo realmente medido.

A efectos de caracterizar la distribución de los errores, se grafican los mismos (ver [Figura 6](#)) obteniéndose en ambos casos distribuciones normales. El desplazamiento de las curvas hacia la derecha (error positivo), muestra que los niveles sonoros simulados en las categorizaciones, tienen una clara tendencia a sobreestimar los niveles de ruidos. Esto también se infiere de la comparativa visual de los mapas ([Figura 3](#), [Figura 4](#) y [Figura 5](#)), lo cual se hace más notorio en la zona central de los mismos.

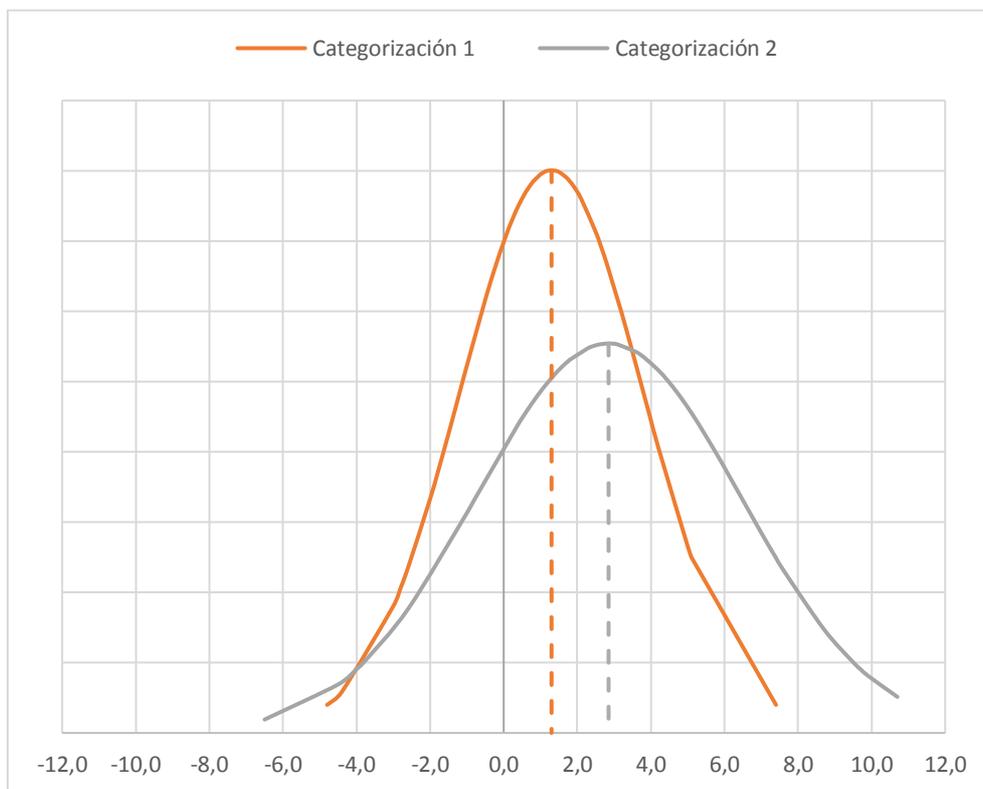


Figura 6: Distribución del error para ambas categorizaciones (dBA).

De la [Figura 6](#) puede deducirse el error medio de cada categorización, siendo de 1,3 dBA para el caso de la categorización 1 y de 2,9 dBA para la categorización 2. Asimismo la apertura que muestra cada curva es indicativo del grado de dispersión de los errores de cada categorización, algo que resulta más notorio en la segunda simplificación. Estas gráficas no brindan información útil en cuanto a la amplitud de las mismas (eje de ordenadas).

Otra manera de informar la contrastación de niveles sonoros simulados vs. niveles sonoros medidos in situ es a través de una clasificación porcentual de las diferencias de valores de acuerdo a la cantidad de puntos analizados (ver [Figura 7](#)).

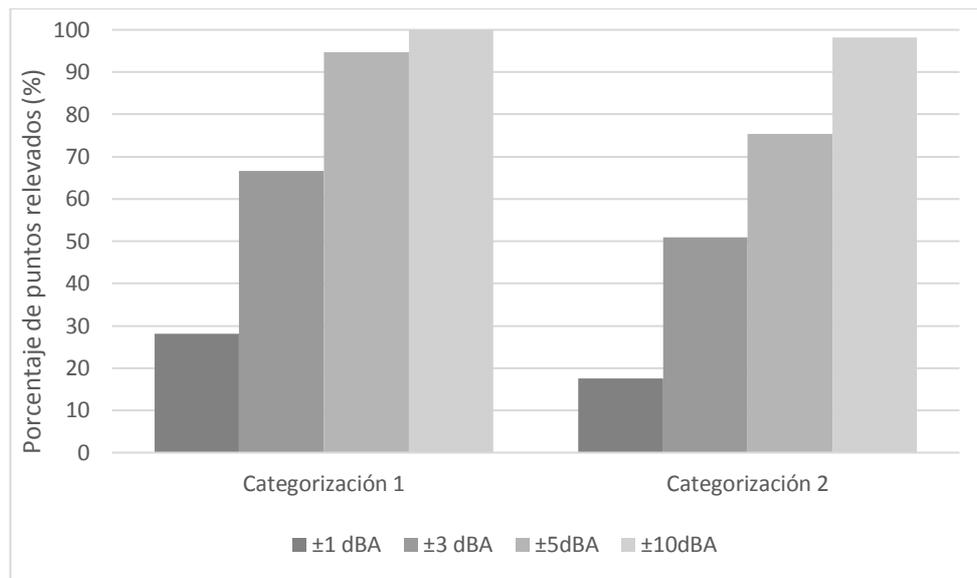


Figura 7: Distribución porcentual del error para cada categorización.

De la [Figura 7](#) se infiere que para la categorización 1 el porcentaje de puntos que presentan un error de ± 1 dBA con respecto a los valores relevados in situ es de un 28%, mientras que para la categorización 2 solo un 18 % de los puntos presentan este error. Para el caso de un error de ± 3 dBA se presenta un marcado incremento del porcentaje de puntos para la categorización 1 (67%), sucediendo algo similar con la categorización 2 donde el porcentaje es del 51%. Asimismo, contemplando un margen de error de ± 5 dBA, la categorización 1 concentra el 95% de los puntos, mientras que la categorización 2 el 75%.

Analizando detalladamente la ubicación de los puntos donde el error supera el margen de ± 5 dBA, es importante mencionar que los mismos podrían considerarse como casos particulares, ya que todos se encuentran en arterias con escaso tránsito vehicular pero cercanos (menos de 100 m) a avenidas o arterias de servicio que poseen niveles sonoros elevados (superiores a 70 dBA).

7 CONCLUSIONES

Como conclusión general puede señalarse que al desarrollar los mapas de ruido a partir de los datos del flujo vehicular en distintas arterias de un sector, no se presentaron diferencias importantes respecto a aquel mapa elaborado a partir de mediciones in situ en puntos fijos.

En relación a las categorizaciones realizadas cuando se trabaja con los datos del flujo vehicular, se observó que con la categorización 1 se obtuvo mayor exactitud que en la categorización 2. Sin embargo, la primera categorización tiene un requerimiento bastante elevado ya que está formada por los valores reales de aforo vehicular en cada punto relevado, mientras que en la segunda categorización debe analizarse la zona y establecerse el comportamiento de cada una de las arterias para luego asignarle valores de acuerdo a las categorías planteadas (avenidas, de servicios y locales). Logrando una reducción importante de los tiempos requeridos por el relevamiento y carga/procesado de datos.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido posible gracias al apoyo de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado (SCTyP) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), el CINTRA (UA del CONICET) de la UTN-Facultad Regional Córdoba y el Departamento de Ingeniería Civil de

la UTN-Facultad Regional Córdoba.

REFERENCIAS

- Bastián-Monarca, N.A., Suárez, E., Arenas, J.P., Assessment of methods for simplified traffic noise mapping of smallcities: Casework of the city of Valdivia, Chile. *Science of the Total Environmen*, 550:439–448, 2016.
- Bluhm, G., Nordling, E., Berglind, N., Road traffic noise and annoyance-an increasing environmental health problem. *Noise Health*, 6:43–49, 2004.
- Censo Argentina. Resultados definitivos. Disponible en: www.indec.gov.ar, 2010.
- Concejo Deliberante de la Ciudad de Córdoba, Ordenanza N° 9981 Código de Tránsito: Código sobre uso de da Vía Pública. *Boletín Municipal*, 2143: 2–41, 1998.
- Contrera, H., Perez Villalobo, J., Bodoira, R., Cáceres, E., Estudio de la contaminación sonora por ruido de tránsito en zona residencial de la ciudad de Córdoba. *XIII Congreso Argentino de Acústica*, 2015.
- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental. *Diario oficial de la UE L189/12-25*, 2002.
- European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), Good practice guide for strategic noise mapping and the production of associated data on noise exposure. *Position paper, Tech. Rep. 004*. 1-129, 2007.
- Garg, N., Maji, S., A critical review of principal traffic noise models: Strategies and implications. *Environmental Impact Assessment Review*, 46:68–81, 2014.
- IRAM 4062:2016. Ruidos molestos al vecindario. Método de medición y clasificación. Argentina, 2016.
- Murillo, D., Gil, J., Zapata, V., Téllez, J., Assessment of the RLS 90 calculation method for predicting road traffic noise in Colombian conditions. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 75:175–188, 2015.
- Perez Villalobo, J., Contrera, H., Bodoira, R., Cáceres, E., Hinalaf, M., Serra, M., Characterization of noise pollution in downtown of Cordoba city. *Proceedings XXII International Congress on Acoustics ICA 2016 – X Congreso Iberoamericano de Acústica FIA 2016*, 311, 2016.
- Quartieri, J., Mastorakis, N.E., Iannone, G., Guarnaccia, C., Ambrosio, S.D., Troisi, A., Lenza, T., A Review of Traffic Noise Predictive Models. *Recent Advances in Applied and Theoretical Mechanics –Proceedings of the 5th WSEAS International Conference on Applied and Theoretical Mechanics*, 72–80, 2009.
- RLS-90, Richtlinien für den Lärmschutz an StraBen. *Der Bundesminister Für Verkehr. Abteilung StraBenbau*, 1990.
- Romeu, J., Genescà, M., Pàmies, T., Jiménez S., Street categorization for the estimation of day levels using short-term measurements. *Applied Acoustics*, 72:569–577, 2011.
- Steele, C., A critical review of some traffic noise prediction models. *Applied Acoustics*, 62:271–287, 2001.
- Suárez, E., Barros, J.L., Traffic noise mapping of the city of Santiago de Chile. *Science of the Total Environment*, 466–467:539–546, 2014.