

MAPAS ESPECTRALES DE RUIDO APLICADOS AL ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN SONORA EN LA CIUDAD DE CORDOBA

PEREZ VILLALOBO, JORGE A.^{1,2}; CONTRERA, HORACIO H.¹; BODOIRA, RAUL A.¹; CACERES, ELIAS A.¹ Y HINALAF, MARIA A.^{1,3}

1: Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), Unidad Asociada del CONICET
Facultad Regional Córdoba - Universidad Tecnológica Nacional
5016ZAA
e-mail: jorgeperezvillalobo@gmail.com, <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/cintra/>

2: Departamento de Ingeniería Civil
Facultad Regional Córdoba - Universidad Tecnológica Nacional
5016ZAA
<http://www.institucional.frc.utn.edu.ar/civil/>

3: Escuela de Fonoaudiología
Facultad de Ciencias Médicas - Universidad Nacional de Córdoba
5016ZAA
<http://www.fono.fcm.unc.edu.ar/>

Resumen. *La contaminación sonora puede definirse como el incremento significativo de los niveles sonoros de un lugar, lo que provoca un deterioro en la calidad del medio ambiente. La elaboración de mapas de ruido permite una evaluación gráfica de la distribución de los niveles sonoros presente en una zona. En este estudio, se desarrollan mapas de ruido de un sector residencial-comercial de la ciudad de Córdoba (Argentina), tanto de niveles sonoros globales como también mapas espectrales por bandas normalizadas de octavas. Todos estos se realizaron a partir de los valores relevados in situ en la zona de estudio y con la ayuda de un software de modelado acústico.*

Palabras clave: Mapas de ruido, mapas espectrales, contaminación sonora, ruido de tránsito.

1. INTRODUCCIÓN

Los mapas de ruido constituyen una herramienta fundamental para la elaboración de estrategias enfocadas en el control y reducción de la polución acústica [1]. Estos se elaboran a partir de niveles sonoros globales continuo equivalentes con ponderación A (LA_{eq}), dado que la sensación de molestia del ruido percibida por el individuo se correlaciona con este descriptor [2]. Sin embargo suele ser discutido el uso de este descriptor, dado que ello supone una importante pérdida de información en las bajas frecuencias. Ante esto, el trazado de mapas de ruido espectrales por bandas normalizadas de octavas resulta de utilidad, especialmente cuando se desea analizar fenómenos de reflexión y apantallamiento con los obstáculos existentes en el medio de propagación. Asimismo diferentes estudios demuestran que el ruido de baja frecuencia generado por el tráfico rodado es un gran contribuyente a la molestia subjetiva del oyente [3] [4], por lo que los mapas espectrales serían un buen complemento a los tradicionales mapas de ruido

de niveles globales con ponderación A.

La principal fuente de ruido urbano resulta ser el tráfico vehicular. La infraestructura edilicia del lugar condiciona la distribución de niveles sonoros de una zona determinada, y en general el mapa de ruido responderá al trazado urbanístico y comportamiento normal del tránsito. Si bien los vehículos pueden considerarse fuentes de ruido individuales, el flujo sostenido en el tiempo, permite considerar el tránsito vehicular como una fuente lineal.

El empleo de software de simulación y predicción acústica es fundamental para la elaboración de un modelo acústico simplificado de la zona bajo estudio, lo cual permite la obtención del mapa de ruido a partir del análisis de un número reducido de puntos de medición.

La contaminación sonora es uno de los principales contaminantes ambientales en áreas urbanizadas. Autores como Basner [5] y Babisch [6] [7], afirman que la exposición a elevados niveles de ruido por largos períodos de tiempo contribuyen –además de un deterioro de la capacidad auditiva– al desarrollo de diversas afecciones no auditivas, como el incremento del riesgo de ataques cardíacos, aumento del nivel de estrés, entre muchos otros problemas.

Ante esta problemática la comunidad europea, fijó la Directiva 2002/49/CE[1], la cual obliga a los municipios y comunas, cuya población supere los 100.000 habitantes, a la elaboración de mapas estratégicos de ruido y el desarrollo de planes de acción tendientes a mitigar este contaminante.

2. METODOLOGIA

Para el desarrollo de los mapas de ruido, en primera instancia se delimitó el área a analizar, la cual está conformada por los barrios General Paz, Bajo General Paz y Patria, de la ciudad de Córdoba. Luego se determinó estratégicamente una grilla de puntos de medición a relevar que cubriera en forma lo más representativamente posible el sector.

Posteriormente con ayuda del software de simulación acústica CadnaA se realizó el modelado edilicio y arquitectónico de toda el área, para finalizar introduciendo en este modelo los niveles sonoros relevados in situ en cada punto, de manera de obtener mapas basados en niveles relevados.

2.1. Área de estudio

La población del área es de aproximadamente unas 7.526 personas, según los datos relevados en el censo nacional del año 2010. La superficie total correspondiente es de 1,5 km², quedando delimitada por las siguientes arterias: Av. Rosario de Santa Fe, Av. Patria, Libertad y Av. Costanera (Intendente Mestre), ver Figura 1.

La zona históricamente se caracterizó por tratarse de un área residencial, sin embargo, más concretamente en Barrio General Paz (sector Central y Oeste del plano), y específicamente sobre arterias de gran circulación vehicular, como son: Av. Rosario de Santa Fe, 25 de Mayo, Esquiú, Roma, Av. Sarmiento y Av. 24 de Septiembre puede encontrarse actualmente una destacada actividad comercial. Asimismo, en los últimos

años, en esta zona se ha producido un cambio importante en la arquitectura del lugar, encontrándose una gran cantidad de edificios de departamentos de hasta 10 plantas, los cuales conviven con viviendas tradicionales de una y dos plantas. Por otro lado, en los barrios Bajo General Paz y Patria (ubicados en el sector Este del plano, a partir de la calle Güemes, ver Figura 1), se presenta predominio de viviendas unifamiliares de una o dos plantas. En estos dos últimos barrios la mayor circulación vehicular y actividad comercial se encuentra sobre la Av. Patria que también cuenta con algunas edificaciones residenciales en altura.

En toda la zona de estudio es de mencionar la presencia de numerosos centros salud de gran envergadura, como así también centros educativos, aportando una fuente adicional de concurrencia al sector. Por último, podría entonces decirse que se trata de un área residencial con importante presencia de actividad comercial, hospitalaria y educativa.



Figura 1: Distribución de los puntos de medición sobre el área de interés.

Un análisis de la composición del tráfico vehicular relevado en el sector demuestra que, las arterias con mayor flujo de tránsito son las que presentan más actividad comercial y a la vez coinciden con el trazado del recorrido del transporte público de pasajeros, haciendo que exista en ellas un gran porcentaje de vehículos pesados (en promedio del 10% del flujo total). En aquellos sectores netamente residenciales el tránsito vehicular se

caracterizó por estar compuesto de vehículos livianos utilizados mayormente por los residentes de la zona para acceso/egreso de sus viviendas.

2.2. Relevamiento

Las mediciones de nivel de ruido fueron realizadas empleando un medidor de nivel sonoro clase 1 (Brüel & Kjaer 2270), a partir del cual se obtuvo el registro del nivel sonoro continuo equivalente global con ponderación A (L_{Aeq}), como así también los niveles espectrales por bandas de octavas sin ponderación (L_{Zeq}).

Se efectuaron mediciones en 48 puntos distribuidos sobre el área, de modo tal que los datos relevados sean representativos del comportamiento general del ruido generado por el tránsito vehicular en la zona, ver Figura 1. Se evitó medir el aporte de otros tipos de ruidos que resultan transitorios, como obras en construcción, entre otros.

Debido a que el flujo vehicular por cada arteria era relativamente constante y uniforme en todo su trayecto se determinaron puntos de medición distanciados alrededor de tres cuadras entre sí. Asimismo cada punto se ubicó a mitad de cuadra evitando así las intersecciones de arterias o cruces semaforizados. También se tuvo en cuenta, en aquellas vías de escaso tránsito vehicular, que los puntos de medición estuviesen alejados al menos 100 m de las arterias con alto tránsito. Este procedimiento es similar al aplicado en relevamientos sonoros de otras áreas de la ciudad para obtener sus mapas de ruido[8][9][10].

Las mediciones fueron realizadas contemplando la franja horaria propuesta por la Norma IRAM 4062:2016[11] como horario diurno. De este modo se efectuaron mediciones de 15 minutos de duración por cada punto, en todos los casos dentro del horario de 10:00 a 18:00 hs, dado que durante dicho período el flujo del tránsito vehicular se mantenía sin variaciones importantes. El medidor de nivel sonoro se dispuso a 20 cm del cordón de la vereda, a una altura de 1,5 m del nivel del suelo, orientándose hacia el centro de la calzada y con protección antiviento.

En forma simultánea a las mediciones sonoras, se registró el flujo vehicular sobre cada punto de medición, realizándose una clasificación en vehículos livianos (automóviles, motocicletas) y vehículos pesados (autobuses y camiones).

3. MODELADO

La elaboración del modelo computacional del área, fue efectuada utilizando el software de simulación acústica CadnaA. Esto permitió la modelización de la fuente de ruido, en este caso el tráfico rodado, el medio de propagación y la estructura edilicia del lugar.

3.1. Configuración general del software

El software de simulación incluye varios estándares internacionales para el modelado del tráfico rodado (fuente de ruido) y el modo en que el ruido se dispersa sobre el área (propagación del sonido), para lo cual debe llevarse a cabo la elección de los mismos en virtud de las características locales del tránsito. Estudios existentes en ciudades de Latinoamérica [12] [13], indican que el modelo que más se aproxima al comportamiento

del tránsito en estas ciudades, es el propuesto en la norma alemana RLS-90 [14].

Este modelo emplea como dato de entrada de la fuente de ruido (carretera), el nivel de emisión sonora medido a 25 m, pero como en este caso las mediciones se realizaron a una distancia menor, se aplicó un corrector del nivel por distancia declarado por la misma norma, para lograr que los niveles simulados por el software coincidan con los relevados in situ. En cuanto al modelo para el modo de propagación del sonido, se utilizó el propuesto por la norma ISO 9613-2:1996 [15].

Para la elaboración del mapa de ruido debe determinarse la resolución espacial a utilizar en los cálculos de niveles sonoros. En ese caso se utilizó una resolución de 10x10 m, de acuerdo a lo recomendado por el Grupo de Trabajo en la Evaluación de Exposición al Ruido de la Agencia Medioambiental Europea [16]. Asimismo, se optó por una representación del mapa en áreas de ruido, fijando intervalos de 5 dB [1][16] y empleando la escala de colores propuesta por la norma ISO 1996-2(1987). La malla de cálculo se fijó a una altura de 1,5 m, es decir, a la altura que se realizaron las mediciones.

3.2. Relevamiento de parámetros para el modelado

Inicialmente fueron relevadas in situ características edilicias de la zona, además se complementó con datos obtenidos de las aplicaciones Google Earth Pro y Google Street View en aquellos lugares donde no se pudo realizar el relevamiento. Toda esta información se transfirió a una base de datos elaborada en hojas de cálculo la cual contenía parámetros como:

Parámetros relacionados a los elementos emisores: longitud y ancho de calzada, niveles de presión sonora (nivel sonoro continuo equivalente: global ponderado A, o por banda de octava sin ponderación).

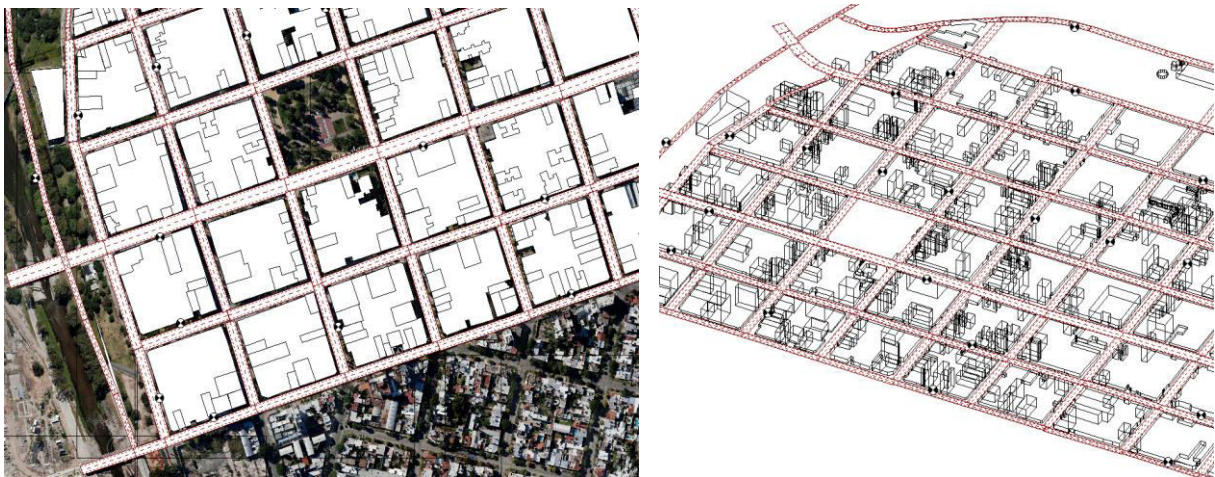


Figura 2: Modelado de la distribución edilicia.

Parámetros relacionados a los obstáculos: los denominados elementos obstáculos en la simulación, son la infraestructura edilicia existente en el área, como así también la

disposición de los espacios verdes y la información topográfica del terreno (curvas de nivel). Cada una de las manzanas del sector, se modeló como una única unidad edilicia con una altura promedio de las viviendas residenciales de la manzana. Sin embargo aquellas edificaciones de más de tres plantas fueron modeladas individualmente, ver Figura 2. En este caso se empleó la base de datos para la identificación unívoca de cada unidad edilicia y su correspondiente altura ya que fueron modelados a través de formas paralelepípedas (modelo simplificado).

Parámetros relacionados a los puntos de inmisión o receptores: altura respecto al suelo y coordenadas de ubicación de los puntos receptores. Los mismos se ubicaron de forma tal que se correspondan con los puntos de medición in situ, esto ayudó a validar los niveles sonoros simulados respecto de los niveles medidos en los mismos.

4. RESULTADOS

4.1. Mapa de ruido en niveles globales

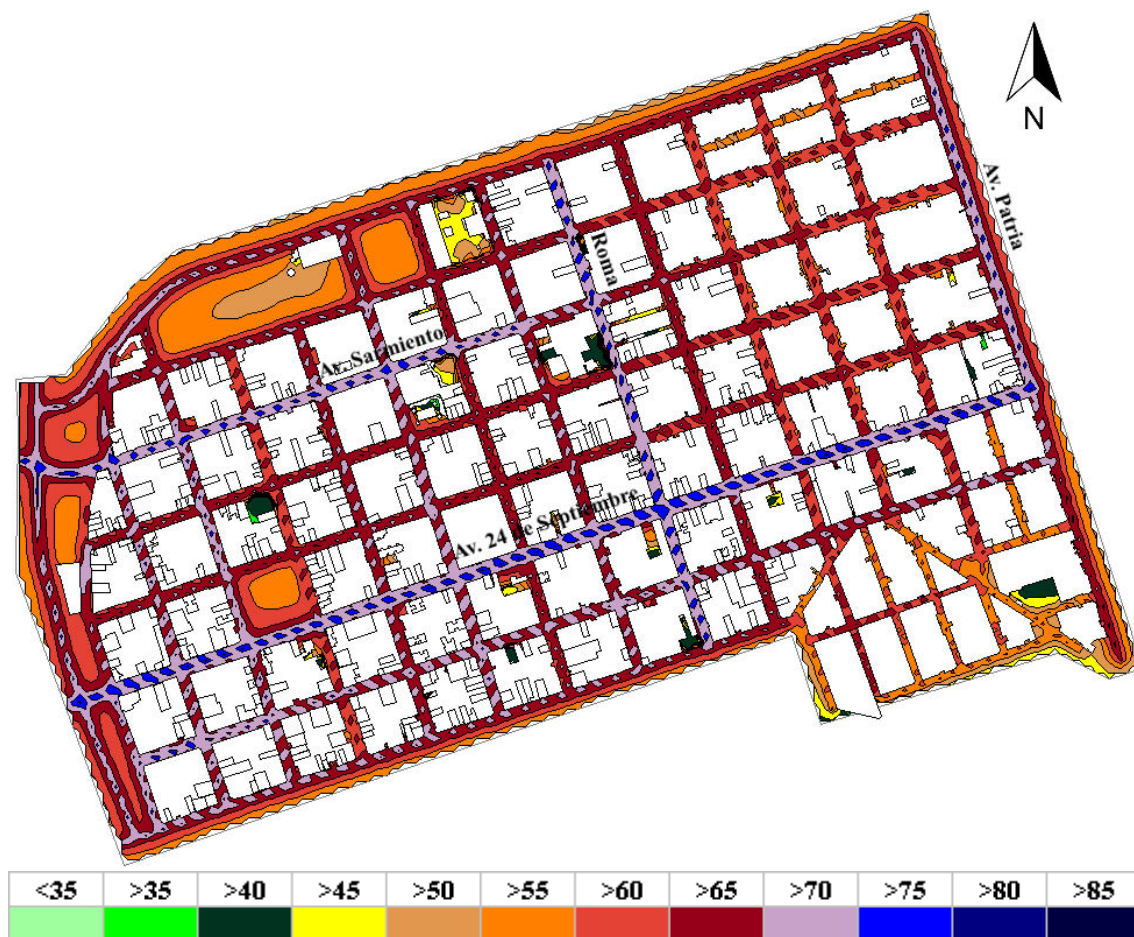


Figura 3: Mapa de ruido de niveles globales (dBA).

De la Figura 3 se observa que calles como Av. 24 de Septiembre, Av. Patria, Domingo Faustino Sarmiento, Av. Costanera y Roma presentan niveles sonoros en el orden de 70 a 75 dBA, pudiendo considerarse como arterias troncales de la zona. Asimismo Rosario de Santa Fe, 25 de Mayo, Esquíú y Libertad están en el orden de los 65 a 70 dBA, formando parte de arterias que si bien no son troncales poseen flujos vehiculares elevados debido al uso como accesos/egresos secundarios a la zona.

El resto de las arterias de barrio General Paz (sector Central y Oeste del mapa) si bien presentan niveles inferiores a los anteriores, todos están en el orden de los 60 a 65 dBA. Por otro lado, se puede observar que las arterias de los barrios Bajo General Paz y Patria (sector Este del mapa) presentan niveles inferiores al resto de la zona (entre 55 y 60 dBA), esto se debe a que ambos son netamente residencial.

4.2. Mapas de ruido espectrales en bandas de octavas

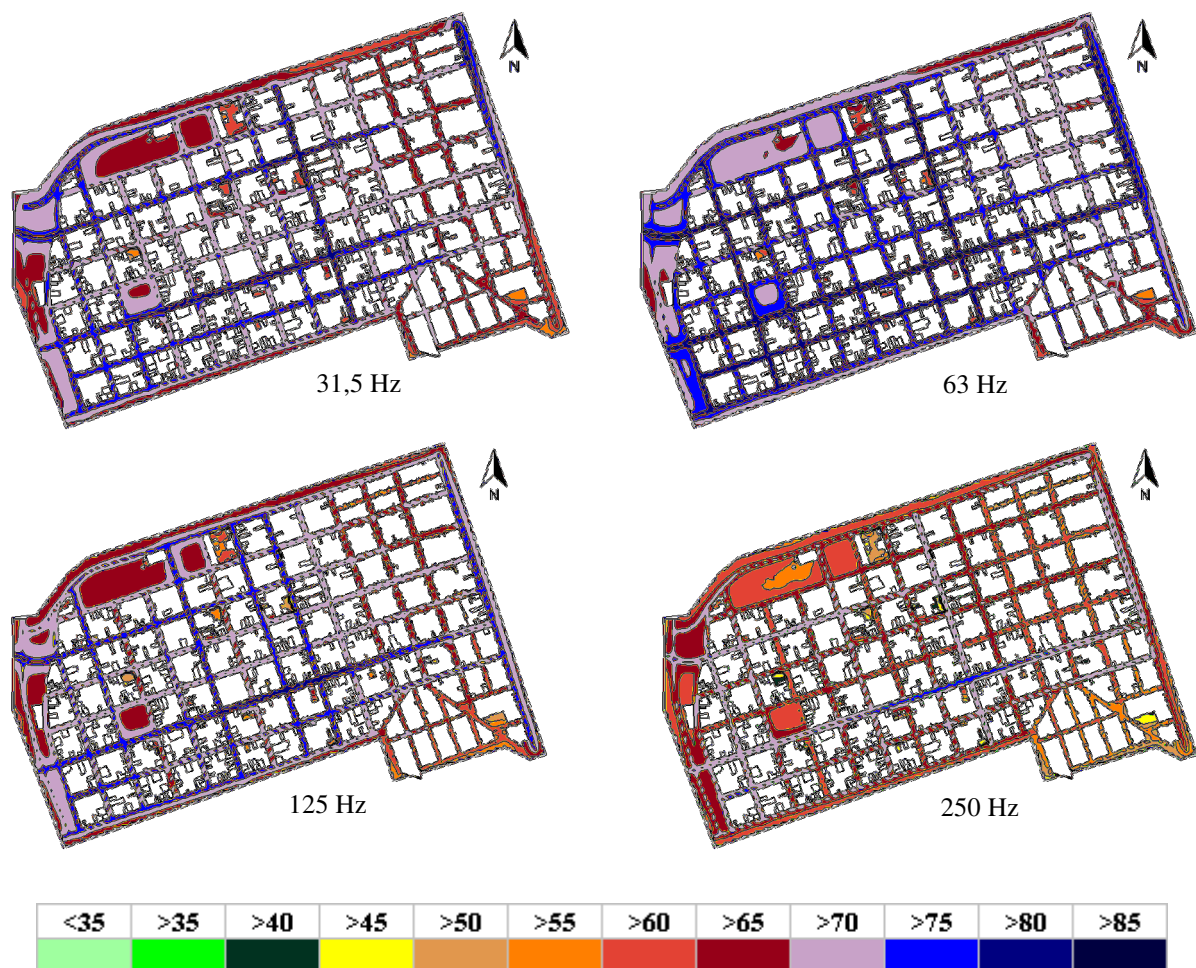


Figura 4: Mapas espectrales en bandas de octavas (dB).

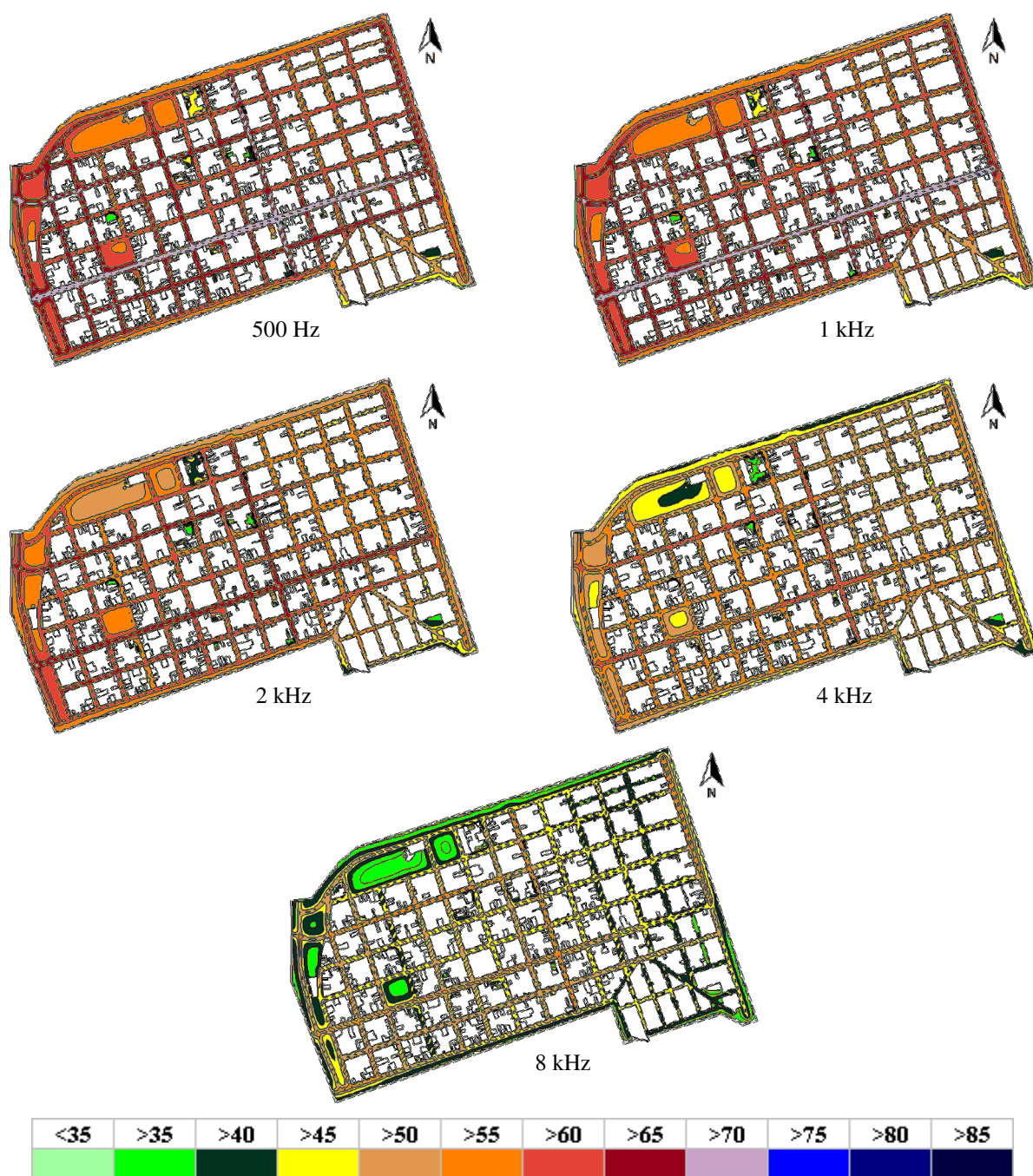


Figura 4 (continuación): Mapas espectrales en bandas de octavas (dB).

Del análisis de los distintos mapas espectrales de la Figura 4 se observa que a medida que los valores de frecuencia se incrementan desde los 250 Hz hacia la banda de octava de 8 kHz se produce una continua reducción de los niveles sonoros producto de la característica de emisión de la fuente (tráfico rodado). El mapa espectral que presenta los mayores niveles

energéticos es el de 63 Hz, seguido por los de 31,5 y 125 Hz. Además es importante destacar que las arterias con mayores niveles energéticos de ruido en el mapa espectral de 31,5 Hz, son aquellas por las cuales circula la mayoría de las líneas de transporte público que atraviesan la zona.

5. CONCLUSIONES

Del mapa de niveles sonoros globales se infiere que el sector Central y Oeste (barrio General Paz) presenta niveles más elevados con una distribución homogénea, esto se debe al tipo de sector y las actividades que se desarrollan en él (residencial, comercial, hospitalaria y educacional), lo que se traduce en una gran concurrencia de personas, ocasionando por consiguiente la presencia de 20 líneas del transporte público de pasajeros que atraviesan la zona. En cuanto al sector Este del mapa (barrios Bajo General Paz y Patria) se observan niveles más reducidos que los anteriores, a causa de ser un área predominantemente residencial y con escasas líneas de transporte público.

Como conclusión general y tomando como referencia los niveles sonoros guía publicados por la Organización Mundial de la Salud [17], en la cual se indica que niveles de 55 dBA en áreas exteriores son causantes de molestias acentuadas en la población durante horario diurno, puede inferirse de los mapas de niveles globales que la totalidad del área analizada supera este valor.

El aporte de los mapas espectrales en bandas normalizadas de octavas como un complemento de los mapas de niveles globales brindó información de la distribución energética del ruido. A partir de ello se puede, por ejemplo, estimar con precisión los niveles de ruido en el interior de viviendas de acuerdo al aislamiento sonoro en función de la frecuencia de los materiales que la constituyen.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro del PID UTN 3448: “Contaminación sonora en la ciudad de Córdoba y estrategia educativa para su concientización”, que cuenta con el financiamiento de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional, como así también del Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), Unidad Asociada del CONICET, de la Facultad Regional Córdoba-Universidad Tecnológica Nacional.

REFERENCIAS

- [1] Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. “Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental”. Diario oficial de la UE L189/12-25, del 25 de Junio de 2002.
- [2] Ishiyama T. y Hashimoto T., *A contribution of sound quality on annoyance caused by road traffic noise*, Proceedings of 29th International Congress and exhibition on Noise Control Engineering, Internoise 2000. Nice, France.
- [3] Jakovljevic B., Paunovic K., Belojevic, G., “Road-traffic noise and factors influencing noise annoyance in an urban population”, *Environmental International*. Vol. 35, pp. 552-556, (2009).

- [4] Leventhall H., “Low frequency noise and annoyance”, *Noise and Health*. Vol. 6, pp. 59-72, (2004).
- [5] Basner M., Babisch W., Davis A., Brink M., Clark C., Janssen S., Stansfeld S., “Auditory and nonauditory effects of noise on health”, *The Lancet*. Vol. 383, pp. 1325-1332, (2014).
- [6] Babisch W., Wölke G., Heinrich J., Straff W., “Road traffic noise and hypertension – Accounting for the location of rooms”, *Environmental Research*. Vol. 133, pp. 380-387, (2014).
- [7] Babisch W., Beule B., Schust M., Stark H., “Traffic noise and myocardial infarction results from the NAROMI study (Noise and risk of myocardial infarction)”, *Epidemiology*. Vol. 16, pp. 33-40, (2005).
- [8] Pérez Villalobo J., Contrera H., Bodoira R., Cáceres E., Hinalaf M., Serra M., *Characterization of noise pollution in downtown of Cordoba city*, Proceedings de X Congreso Iberoamericano de Acústica, FIA 2016. Buenos Aires, Argentina.
- [9] Pérez Villalobo J., Contrera H., Bodoira R., Cáceres E., Hinalaf M., Kogan P., “Contrastación de mapas de ruido mediante software de predicción acústica a partir de niveles sonoros relevados in situ vs. datos del flujo vehicular”, *Mecánica Computacional*. Vol. 34, pp. 427-438, (2016).
- [10] Contrera H., Pérez Villalobo J., Bodoira R., Cáceres E., *Estudio de la contaminación sonora por ruido de tránsito en zona residencial de la ciudad de Córdoba*, Proceedings de XIII Congreso Argentino de Acústica y VII Jornadas de Acústica, Electroacústica y Áreas Vinculadas. Buenos Aires, Argentina, 2015.
- [11] IRAM 4062:2016, “Ruidos molestos al vecindario. Método de medición y clasificación”. Argentina, (2016).
- [12] Suárez E. y Barros J., “Traffic noise mapping of the city of Santiago de Chile”, *Science of the Total Environment*. Vol. 466–467, pp. 539–546, (2014).
- [13] 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*. Vol. 75, pp. 175-188, (2015).
- [14] RLS-90, “Richtlinien für den Lärmschutz an StraBen”. Der Bundesminister Für Verkehr. Abteilung StraBenbau. Ausgabe (1990).
- [15] ISO 9613-2, “Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation”, (1996).
- [16] 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”, *Tech. Rep.* 004. Brussels, Belgium. 1-129, (2007).
- [17] Berglund B., Lindvall T., Schwela D., “Guidelines for community noise”, *World Health Organization*, WHO. (1999).