

# SIMULACIÓN DE RUIDO DE TRÁNSITO AUTOMOTOR COMO HERRAMIENTA PARA EL REDISEÑO DE RUTAS DE TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN

Carlos Alberto Echeverri\*  
Diego Mauricio Murillo\*\*  
Germán Mauricio Valencia\*\*\*

Recibido: 02/11/2010  
Aceptado: 03/05/2011

## RESUMEN

Este artículo presenta parte de los resultados del estudio “Metodología de rediseño de rutas de transporte público colectivo complementarias al sistema integrado de transporte en el Valle de Aburrá”, realizado y financiado por las universidades de Medellín y San Buenaventura. Se enfoca en la simulación del ruido de tránsito automotor como una herramienta de análisis para la toma de decisiones en la conversión de algunas rutas radiales de transporte colectivo público a rutas diametrales o de flujo de cuenca a cuenca en la ciudad de Medellín. Se elaboró un mapa de ruido de las vías en un sector seleccionado del centro de la ciudad, y se aplicó software de predicción de ruido ambiental para obtener los niveles de contaminación acústica existente y pronosticado con la implementación del rediseño de rutas de transporte público.

**Palabras clave:** predicción de ruido automotor, sistemas de información geográfica, mapa de ruido, rediseño de rutas de transporte público colectivo.

---

\* Ingeniero químico, M. Sc. Ingeniería Ambiental. Jefe del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Medellín. Investigador del Grupo de Investigaciones y Mediciones Ambientales. Dirección: carrera 87 N° 30-65 bloque 4 oficina 104. Teléfono: 340 52 34. Correo electrónico: cecheverri@udem.edu.co. Fax: (574) 340 52 16

\*\* Ingeniero de sonido. Director del programa de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura (Medellín). Dirección: carrera 56 C N° 51-90. Teléfono: 514 56 00 extensión 4169. Correo electrónico: diego.murillo@usbmed.edu.co. Fax: 513 82 94

\*\*\* Ingeniero ambiental, especialista en Sistemas de Información Geográfica. Director del programa de Ingeniería Ambiental y Coordinador de la Especialización en Sistemas de Información Geográfica de la Universidad de San Buenaventura (Medellín). Dirección: carrera 56 C N° 51-90 oficina 400E. Teléfono: 514 56 00 extensión 4172. Correo electrónico: ambiental@usbmed.edu.co. Fax: 513 82 94

# **SIMULATION OF ROAD TRAFFIC NOISE AS A TOOL FOR REDESIGNING PUBLIC TRANSPORT ROUTES IN THE MUNICIPALITY OF MEDELLIN**

## **ABSTRACT**

This article presents part of the study results “methodology to redesign public transport complementary routes to integrated transport system in the Aburrá Valley” held and funded by the Universities of Medellin and San Buenaventura. It focuses on the simulation of road traffic noise as a tool of analysis for decision making in the conversion of some radial routes of public bus transportation to transverse routes or migration to other basins in the city of Medellin. Noise maps for streets downtown have been made by application of software for prediction of environmental noise for evaluating existing noise levels and for predicted ones in case of the implementation of the study for redesign public transport routes.

**Key words:** Prediction of noise automotive, geographic information systems, Noise map, redesign of public transportation.

## INTRODUCCIÓN

El aumento en los niveles de ruido dentro de las áreas urbanas ha sido uno de los tópicos de mayor estudio y preocupación por parte de los encargados de la planificación urbana en las últimas décadas. Esto ha obligado a los entes gubernamentales a adoptar mecanismos de control que generen herramientas para la evaluación y mitigación del ruido ambiental. Desde los años 80, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha estado desarrollando guías para el control de ruido ambiental. En el 2000, la Comunidad Europea presentó una propuesta para estandarizar los indicadores de ruido y las mediciones de ruido ambiental dentro de los países miembros de la Unión Europea [1]. En Suramérica, también han sido importantes los avances en esta temática, donde cada país tiene su propia legislación referente al control de ruido: Argentina cuenta con la serie de normas IRAM; en Chile se regula el ruido ambiental mediante la norma NCh 2502; y en Colombia, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial promulgó la resolución 0627 de 2006 para reglamentarlo concerniente a ruido ambiental [2]. En la resolución 0627 de 2006 se estipulan los procedimientos para la determinación de los niveles de ruido y la elaboración de mapas de ruido, y además, se establecen los niveles máximos permisibles de acuerdo con sectores específicos (industrial, comercial, servicios, residencial, entre otros).

Dentro de los casos más citados se encuentra el de la ciudad de Budapest (Hungria), en donde el Ministerio de Medio Ambiente y Administración de Agua publicó una licitación en el año 2005 para desarrollar las pautas relacionadas con los mapas de ruido y las acciones de planificación conforme a la directiva 2002/49 EC, para lo cual, en su primera fase, se hizo una caracterización zonificada con presencia de fuentes de ruido móviles y fijas [3].

En el año 2006, en Badajoz (España) se tomaron registros del campo sonoro en las calles de la ciudad teniendo como única fuente de ruido al

tráfico vehicular. En este proyecto se elaboraron mapas de ruido a través de programas informáticos en los que se incluyeron todos los elementos acústicamente relevantes en la ciudad y los factores que influyen en la propagación del sonido en espacios abiertos basados en la norma ISO 9613-2 [4].

Pinto y Moreno elaboraron en el 2008 un mapa de ruido en Copacabana (Río de Janeiro) con el objetivo de evaluar los niveles de ruido a que está expuesta la población. Para esto, hicieron simulaciones por computador, y mediciones experimentales, con el fin de comparar los resultados obtenidos. Ellos utilizaron las directrices de control de ruido en carreteras (RLS-90) del Ministerio Federal Alemán de Transporte debido a que en Brasil no se han establecido métodos de cálculo para la predicción de ruido ambiental. Durante el proceso de predicción, se consideró el volumen de tráfico diario, la velocidad media, el ancho de las calles, el tipo de asfalto y la altura de los edificios, con el fin de comparar los valores simulados con las mediciones experimentales[5].

Otras ciudades como Livorno, Manchester y Merseyside, Las Palmas de Gran Canaria, Gijón/Xixón y Marbella, entre otras, también han elaborado mapas de predicción de ruido, y como conclusión, en cada uno de estos estudios, se determinó que el tráfico vehicular en las vías es la principal fuente de ruido dentro de las ciudades [6-10].

Ejemplos de otras ciudades en las que se han empleado los mapas de ruido como instrumentos de planeación son Birmingham, Dublín, Lyon, Londres, Viena y Vitoria-Gasteiz. En dichos mapas se tuvo como principal elemento de análisis el parque automotor, dada su importancia y necesidad de mitigación [11].

El Departamento de Obras Públicas y Transportes de Álava (España), realizó un estudio de ruido en el 2008 en las vías con un tráfico medio diario mayor a 16.000 vehículos. Para la predicción de ruido se utilizó el método de tráfico rodado (NMPB Routes-96), teniendo en cuenta parámetros acústicos como la reflexión, el foco, el

trazado, el tamaño de la retícula, la meteorología y el terreno [12].

En la comunidad de Canarias (Isla de Lanzarote) se elaboró un mapa estratégico de ruido automotor en el 2007 de acuerdo con la Directiva Europea 2002/49/CE y por el R.D. 513/2005 que desarrolla la ley 37/2003 de ruido. El mapa de ruido fue elaborado a través del método NMPBRoutes-96. Como resultado se obtuvieron dos tipos de mapas: uno con los niveles de ruido ambiental generados a una altura de 4 m sobre el terreno, y otro, el que representa los niveles de inmisión en las fachadas de los edificios objeto de análisis [8].

El referente suramericano más importante donde se emplearon los mapas para la gestión del ruido es Chile. En el 2005 desarrollaron una metodología para la caracterización y modelación de las emisiones de ruido proveniente del transporte urbano para evaluar la variación de los niveles de ruido, considerando simulaciones matemáticas con y sin plan de transporte de público [13].

En Medellín, y en Colombia, no existen antecedentes en los cuales la simulación de ruido y los mapas de ruido hayan sido considerados en los procesos de planeación urbana, especialmente en lo concerniente al rediseño de rutas de transporte.

Medellín es considerada la segunda ciudad más grande de Colombia, y es responsable de gran parte del ingreso económico del país. En esta ciudad viven cerca de 3 millones de habitantes según los indicadores de población de la Alcaldía de Medellín para el año 2011. Por su conformación geográfica y espacial, presenta condiciones especiales que limitan su proceso de expansión y crecimiento. La ciudad cuenta con una trama vial construida y heredada de los procesos de urbanización definidos desde el plan piloto de los años 50, con adaptaciones funcionales que están llegando a su límite potencial. La densidad vehicular se ha incrementado en los últimos cinco años alrededor del 45%, y evidencia una relación desigual entre el ritmo de crecimiento del parque automotor y el incremento de la capacidad de la malla vial, lo que

incide negativamente en la calidad acústica de la ciudad [14].

En este contexto, el establecimiento de rutas para nuevos sistemas de transporte o el rediseño de rutas ya existentes implica un análisis interdisciplinar que involucra aspectos económicos, técnicos, ambientales y sociales con el fin de plantear soluciones prácticas y adecuadas a la problemática de la movilidad. Dado que el parque automotor es la principal fuente de ruido ambiental, la construcción de una nueva vía o la implementación de una nueva ruta de transporte requieren de estudios que evalúen el impacto acústico que se generaría, con el fin de determinar la viabilidad ambiental de la intervención. Este análisis es posible utilizando software de predicción de ruido. Es por esto que el objetivo principal de este estudio se enfocó en un análisis comparativo de la calidad acústica en la ciudad de Medellín con las condiciones actuales y con las que resultarían de la reconfiguración propuesta para las rutas de transporte público colectivo.

## 1 METODOLOGÍA

### 1.1 Selección de la zona de estudio

En la selección de la zona de estudio se analizaron las rutas candidatas a articular, el sector que permitiría una eventual unificación y el nivel de contaminación acústica que en él se produce debido al tráfico automotor. Con el comportamiento radial que posee el actual sistema de transporte público en la ciudad de Medellín, se evidencia una convergencia hacia el sector del centro, en donde el transporte se traslada desde la periferia hasta el mismo y retorna hacia su sitio de origen. La acumulación de tráfico automotor en este sector tiene grandes incidencias en los niveles de ruido que se generan; el mapa de ruido del año 2007 demostró que el centro es un sitio problemático en cuanto a calidad acústica [15]. Adicionalmente, en este sector se desarrolla un importante porcentaje

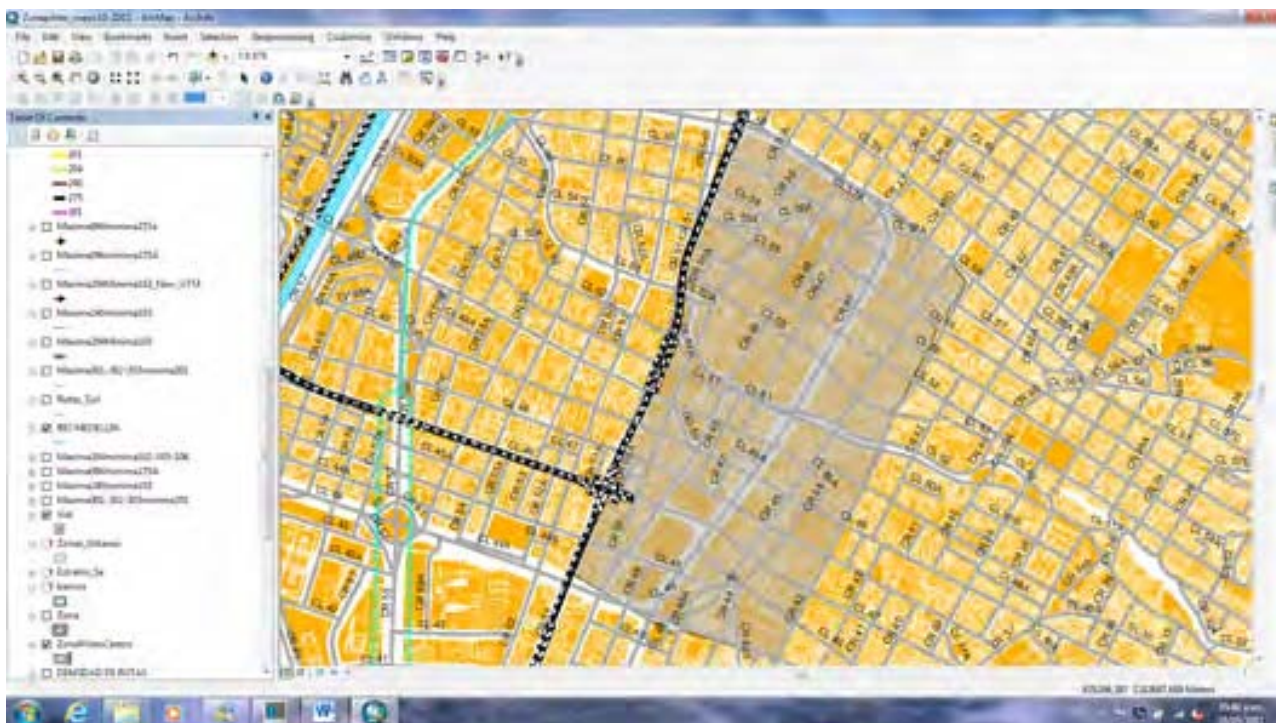


Figura 1. Zona de estudio

Fuente: elaboración propia.

de actividades laborales, comerciales e industriales que tienen influencia directa en el número de personas que a él se trasladan. Con base en los criterios anteriormente expuestos se escogió parte del centro de la ciudad como zona de estudio, en el el sector comprendido entre la carrera 50 y la carrera 43 con calle 44 y calle 58 (ver figura 1).

## 1.2 Simulación de los niveles de ruido

En la simulación de los niveles de ruido se utilizó el software de predicción SoundPlan versión 7.0 desarrollado por la empresa Braunstein + Berndt GmbH [16]. En primera instancia se creó una base de datos georreferenciada para describir y definir las propiedades de la zona de estudio. En ella se especificaron algunas características como la elevación del terreno, edificaciones, vías y demás objetos que poseen relevancia para el mismo. La información recolectada para el desarrollo de este proyecto se unificó con base en lo dictaminado por

la *European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN)* [17].

El nivel de emisión de ruido se estimó, a partir del flujo vehicular en las vías, el porcentaje de tráfico pesado y la velocidad de los diferentes tipos de vehículos que circulan en la vía. Para obtener la información relacionada con el flujo vehicular se registraron, mediante una cámara de vídeo, las intersecciones de la zona de estudio para su posterior conteo; adicionalmente, por medio de la Secretaría de Tránsito de Medellín se obtuvo información referente a aforos vehiculares en las principales vías de la ciudad en tres periodos de tiempo diferentes. La velocidad en las vías se determinó a través de registros hechos con GPS; los datos meteorológicos requeridos para el cálculo de la propagación del sonido fueron tomados de la estación meteorológica ubicada en el aeropuerto Olaya Herrera de la ciudad de Medellín.

El Departamento de Catastro, adscrito a la Secretaría de Hacienda del municipio de Medellín,

suministró información cartográfica en formato digital de vías, construcciones, manzanas, curvas de nivel, y edificaciones.

La estimación de los niveles de ruido se hizo empleando los métodos de cálculo RLS 90 y NMPB. Sin embargo, al encontrarse una mayor correlación entre los valores simulados y medidos con el método RLS 90, se seleccionó este para elaborar los mapas de ruido.

El mapa de ruido se elaboró con un tamaño de cuadrícula de  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ , con receptores puntuales situados a 1.5 m sobre el nivel del suelo, un orden de reflexión de 2, una profundidad de reflexión de 1 y un radio de búsqueda del receptor de 500 m.

Una vez obtenidos los niveles de ruido, estos se compararon con la resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial a través del SoundPLAN. La figura 2 presenta el mapa de ruido que define las condiciones actuales (sin rediseño de rutas) del parque automotor.

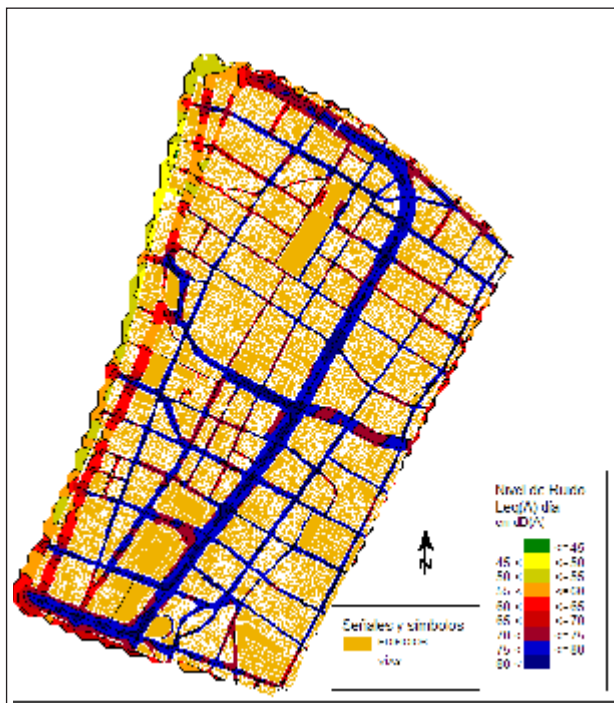


Figura 2. Mapa de ruido para las condiciones actuales.

Fuente: elaboración propia

### 1.3 Validación

Para validar el mapa de ruido se emplearon las mediciones realizadas en algunos sitios específicos con el propósito de compararlas con los valores simulados y determinar así la diferencia entre el nivel simulado en ese punto y el registrado. La diferencia máxima permitida entre los niveles simulados y medidos se estableció en 3 dB [4, 18-20].

Para calibrar las simulaciones de ruido se utilizó la metodología propuesta en la norma DIN 18005 [21], en la que se eligieron 20 puntos para efectuar mediciones de ruido ambiental con el fin de verificar la congruencia de la simulación. La ubicación de éstos se hizo con base en las rutas que se pensaba podrían ser integradas en la zona de estudio.

Para la medición de los niveles de presión sonora se emplearon dos sonómetros clase 1. Los niveles se registraron a 1.5 m del nivel del suelo en dos periodos de tiempo, cada uno de 1 hora en forma continua, el primero en una franja de alto tráfico vehicular y la segunda en un escenario valle. Los datos resultantes fueron promediados energéticamente con el propósito de tener un valor representativo del período diurno durante la semana.

En cada punto de medición se registró el nivel continuo equivalente y su composición espectral en bandas de tercios de octava; se trabajó con filtros de ponderación frecuencial A y C, y con respuesta temporal lenta. Los equipos contaban con el certificado de calibración vigente y su sensibilidad fue ajustada antes y después de cada medición. La determinación del nivel de presión sonora en el receptor puntual se calculó con un orden de reflexión de 2, un radio máximo de búsqueda de 500 m y filtro de ponderación frecuencial A.

La diferencia inicial de más de 3 dB entre los niveles simulados y medidos fue del 26.3%. Se analizaron los niveles de ruido simulados que diferían en más de 3 dB con respecto a los niveles medidos y se ajustaron aumentando el flujo vehicular en dichos receptores. Una vez se hicieron estos ajustes,

se calculó nuevamente el nivel de presión sonora en los receptores y se encontró que todos los valores simulados se ajustaron al umbral establecido (precisión de  $\pm 3$  dB).

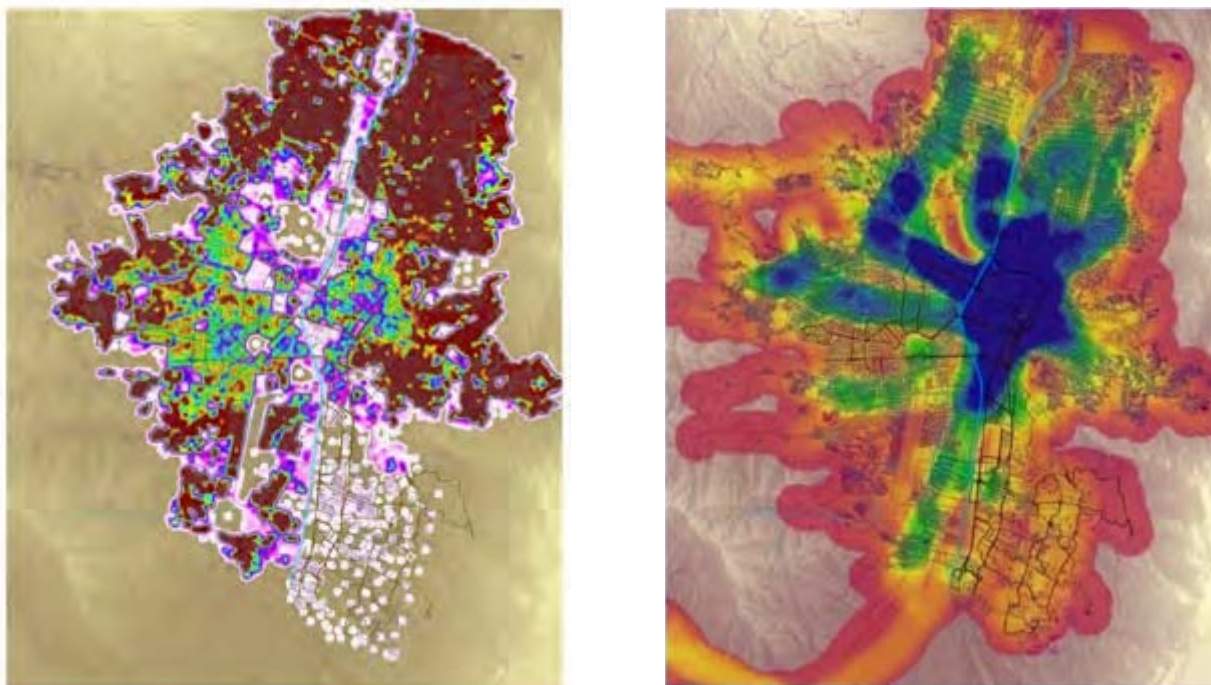
#### 1.4 Rediseño de rutas de transporte

El rediseño de las rutas de transporte público parte de la caracterización del estado actual del sistema y la definición de las variables que en éste intervienen. Resultado de este proceso, se desarrollaron los mapas de densidad poblacional y densidad de las rutas de transporte público actuales en la zona de estudio (ver figura 3).

Al analizar los dos mapas se interpreta que el comportamiento actual de las rutas no refleja la necesidad real de la población. Por lo tanto, se incluyó el método Saaty en la metodología con el fin de seleccionar objetivamente las rutas potenciales a ser integradas para posteriormente convertirlas en

una sola ruta transversal. Para la reconfiguración de las rutas se tuvo en cuenta la red del sistema integrado de transporte conformada por el sistema Metro, rutas integradas y Metroplús; y para efectos de validación se tuvieron en cuenta las siguientes variables: frecuencias, tiempos de desplazamiento y número de pasajeros transportados.

Las variables analizadas para el proceso de integración de las rutas fueron: longitud de cada una de las rutas en el centro, número diario de pasajeros movilizados en la ruta, representatividad del trayecto de la ruta en cada zona (residencial, industrial, comercial o de servicios), tipo de vehículo, capacidad ociosa del vehículo, tiempo de viaje, y cercanía del trayecto de la ruta al Sistema Integrado de transporte del Valle de Aburrá. En la tabla 1 se observan los valores del peso de cada una de las variables del método de las jerarquías analíticas (AHP).



**Figura 3.** Mapas de densidad poblacional de Medellín (A) y densidad de rutas de transporte público colectivo en Medellín (B).

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 1.** Valores de los pesos de las variables del método AHP

<i>Variable</i>	<i>Peso</i>
Longitud de la ruta en el centro (m)	0.33719434
Número de pasajeros transportados al día	0.18970321
Uso del suelo residencial (m)	0.14936515
Uso del suelo industrial (m)	0.06639480
Uso del suelo servicios (m)	0.05775241
Tipo vehículo	0.04217509
Capacidad	0.08890563
Tiempo de viaje	0.03047644
Cercanía al sistema SITVA	0.03803293

Fuente: elaboración propia

## 2 RESULTADOS

Al aplicar la metodología propuesta para el rediseño de las rutas de transporte público se encontró que de las 178 rutas consideradas, 32 rutas deberían ser eliminadas, 73 rutas deberían ser modificadas y sólo 73 (41 % del total considerado) pueden conservar sus actuales trayectos. Con el método AHP se identificó que las rutas a ser modificadas pueden ser integradas y, para ello, se buscó que las rutas que tienen los pesos más altos en el método se integran con las rutas que tienen los valores más

bajos. A partir de estos resultados, se desarrolló el rediseño de las rutas tomando como prueba piloto 12 rutas del total de ellas. Lo anterior dio como resultado una disminución de los trayectos en el centro de la ciudad en más del 50% con las rutas escogidas (ver figura 4).

Las condiciones para la simulación de los niveles de ruido con la implementación del rediseño de rutas fueron las mismas que las empleadas en la simulación previa (orden de reflexión, altura de receptor, método de cálculo, radio de búsqueda, tamaño de la rejilla, condiciones meteorológicas, etc.). Con esto se aseguró que los cambios encontrados en el nuevo mapa obedezcan solo a la variación en el flujo vehicular en las vías (ver figura 5).

En la tabla 2 y la figura 6 se muestra la reducción que se lograría en los niveles de ruido con la implementación del rediseño de rutas de transporte. Las elipses en la figura 6 resaltan las zonas con mayores cambios, que corresponden a la zona sur oriental de la zona de estudio y que representa una disminución de 5 dB(A).

De lo anterior se puede analizar que los receptores que presentaron una reducción en los niveles de ruido con la implementación del rediseño de rutas propuesto, excepto el receptor ubicado en la carrera 43 con calle 55, son los que se encuentran ubicados cerca al sector con mayor reducción de las rutas de transporte (rutas 106, 105 y 301).



(A) Modelo actual rutas



(B) Modelo con el rediseño rutas

**Figura 4.** Rutas de transporte público colectivo en el centro de la ciudad.

Fuente: elaboración propia.





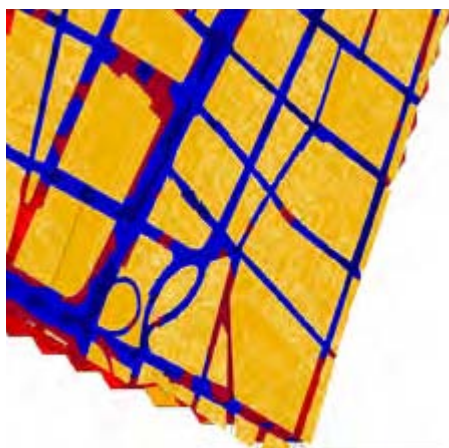
Figura 5. Mapa de ruido con el rediseño de rutas.

Fuente: elaboración propia

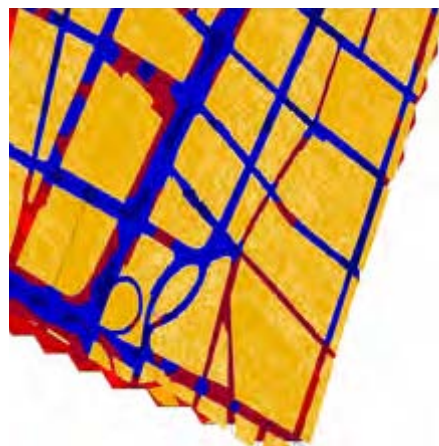
Tabla 2. Niveles de presión sonora en diferentes puntos (receptores puntuales).

Intersección	Leq,d (A)		
	Sin rediseño	Con rediseño	Reducción
Cra. 43 × Calle 46	77.3	74.9	2.4
Cra. 43 × Calle 55	77.0	75.3	1.7
Cra. 44 × Calle 48	72.2	70.5	1.7
Cra. 43 × Calle 48	76.1	75.0	1.1
Cra. 44 × Calle 46	77.4	76.5	0.9
Cra. 43 × Calle 49	77.2	76.5	0.7
Cra. 46 × Calle 45	73.7	73.3	0.4

Fuente: elaboración propia



Escenario actual



Escenario con rediseño

Figura 6. Comparación de escenarios

Fuente: elaboración propia.

### 3 CONCLUSIONES

Los métodos de cálculo RLS90 y NMPB son aplicables en el contexto colombiano para la simulación de los niveles de ruido proveniente del

parque automotor, ya que los resultados obtenidos cumplen con los requerimientos estipulados por la resolución 0627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Las vías que contienen alto flujo vehicular, tanto de tráfico ligero como pesado, requieren de una disminución de tráfico bastante considerable, dado que la supresión de pocas rutas de transporte público no tiene un efecto significativo en la emisión de ruido de la vía. Esto se evidencia en la carrera 46 (Avenida Oriental), en la que pese a que fueron eliminadas 5 rutas de transporte público, no hubo ningún efecto importante en la reducción de niveles de ruido. La reducción del tráfico vehicular puede ser cuantificada con base en los niveles de ruido que se proyectan para así determinar el número de rutas y tipo de vehículos a restringir.

La reducción de los niveles de ruido generada con la implementación del rediseño de las rutas de transporte no representa una mitigación acústica relevante en la zona de estudio. La mitigación acústica debe contemplar todas las rutas de transporte público del sector y debe considerar otras fuentes vehiculares como taxis, motos, automóviles y camiones.

Todos los receptores puntuales “medidos y simulados” se encuentran por encima del nivel máximo permisible estipulado en la resolución 0627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y teniendo en cuenta que la fuente predominante de ruido es el parque automotor, es importante implementar medidas que reduzcan la contaminación acústica en la zona de estudio debido a esta fuente de ruido. Al analizar los mapas de ruido se visualiza que un gran porcentaje de la zona de estudio presenta niveles de ruido entre 75 y 85 dB(A), lo cual es altamente perjudicial para la salud y bienestar de la comunidad.

La utilización de software de predicción para estimar los niveles de ruido en un sector determinado ofrece mayores ventajas que la sola realización de mediciones en campo. El poder generar diversos escenarios, en donde se modifican las diferentes variables de entrada del modelo (flujo vehicular,

tipo de asfalto, semaforización, etc.) facilita la determinación de las propuestas más viables, tanto técnica como económicamente, para reducir los niveles de ruido ambiental. Adicionalmente, el poder generar escenarios futuros permite predecir el impacto acústico que generaría la incorporación de una nueva fuente. Lo anterior permite que esta metodología sea una herramienta de planeación urbana.

## 4 RECOMENDACIONES

Según la Organización Mundial de la Salud, si el nivel de presión sonora obtenido con el filtro de ponderación C es mayor que el obtenido con el filtro de ponderación A en 10 dB o más, predomina el ruido de baja frecuencia y, por lo tanto, es recomendable hacer un estudio sobre las fuentes y analizar su distribución energética [22]. En este estudio, aunque la comparación de los niveles sonoros con los filtros de ponderación A y C no sobrepasa el valor estipulado por la OMS, se evidencia un gran contenido energético de baja frecuencia, por lo que estudios posteriores pueden enfocarse en el análisis del espectro de ruido y su influencia en las afecciones de la población que reside y labora en el centro de la ciudad.

En la ciudad, las acciones de desarrollo sustentable en materia de movilidad y en especial del transporte masivo serán la base para construir en el futuro inmediato una ciudad sustentable que evite la tendencia desfavorable de seguir degradando nuestro entorno. Las acciones propuestas en este artículo buscan revertir las tendencias de contaminación, escasa movilidad, precaria calidad en el servicio de transporte y desarticulación entre los sistemas. Esta metodología debe ser tenida en cuenta para evaluar el impacto ambiental sobre la calidad acústica en los proyectos de rediseño de rutas de transporte público colectivo en las principales ciudades del mundo.

## REFERENCIAS

- [1] *Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*, 2002.
- [2] *Resolución 0627 del 7 de abril de 2006 sobre ruido ambiental*, 2006.
- [3] P. Bite *et al.*, "The Budapest noise mapping project, noise map of the city center of Budapest," presentado a Forum Acusticum 2005, Budapest, 2005.
- [4] J. M. Barrigón Morillas *et al.*, "Mapa de ruido de la ciudad de Badajoz mediante la aplicación de métodos matemáticos predictivos," en *Tecniacústica2006*, Gandía (Valencia), 2006.
- [5] F. Pinto, y M. Moreno, "Mapa de ruido de barrios densamente poblados, ejemplo de Copacabana," en VI Congreso Iberoamericano de Acústica, Río de Janeiro, Brasil, 2008.
- [6] M. Morretta *et al.*, "The port of Livorno noise mapping experience," en *Acoustics08*, Paris, 2008.
- [7] P. Hepworth, "Manchester and Merseyside noise mapping with Lima," *Brüel & Kjør Magazine*, no. 1, pp. 18-19, 2007.
- [8] G. d. Canarias. "Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial. Mapas estratégicos de ruido de las carreteras de la comunidad autónoma de Canarias (Isla de Lanzarote)," [En línea], 14 de diciembre, 2010; Disponible: <http://www.gobiernodecanarias.org/2007>.
- [9] A. d. Gijón/Xixón. "Mapa estratégico de ruido de Gijón/Xixón," [En línea], 14 de diciembre, 2010; Disponible: <https://sedeelectronica.gijon.es/2009>.
- [10] A. d. Marbella. "Delegación de Medio Ambiente. Mapa de ruido de Marbella," [En línea], 14 de diciembre, 2010; Disponible: <http://www.marbella.es/ayuntamiento/>, 2005.
- [11] EEA. "European Environment Agency. State of the art of noise mapping in Europe," [En línea], 14 de diciembre, 2010; Disponible: <http://www.cedex.es/> 2005.
- [12] D. d. O. P. y. T. d. Álava. "Departamento de Obras Públicas y Transportes de Álava. Mapas estratégicos de ruido de la red foral de carreteras de Álava," [En línea], 14 de diciembre, 2010; Disponible: <http://www.derecho.com/l/bop-alava/>, 2008.
- [13] A. Pérez, y C. Büchi, "Metodología de estudio de ruido de tránsito en el área urbana de Santiago; ejercicio aplicado a plan de transporte público de Santiago," presentado a VI Congreso Iberoamericano de Acústica, Buenos Aires, 2008.
- [14] A. d. Medellín. "Plan de Desarrollo 2008-2011," [En línea], 20 de enero, 2010; Disponible: <http://www.medellin.gov.co>, 2010.
- [15] O. Ríos Valencia *et al.*, *Elaboración de los mapas acústicos y de concentraciones de monóxido de carbono para los municipios de la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá*, Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, 2006, 119 p.
- [16] "User's Manual for SoundPlan ver 7.0," Braunstein + Berndt GmbH, 2008.
- [17] 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. Final Draft," [En línea], 4 de noviembre, 2010; Disponible: [http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/wg\\_aen.pdf](http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/wg_aen.pdf), 2006.
- [18] A. G. Vidal Sanchez *et al.*, "Estudio comparativo de diferentes metodologías para la confección de mapas acústicos," presentado a Acústica 2008, Coímbra, 2008.
- [19] G. Guiloff B, y R. Klepel, *Plan de mediciones de ruido COSAC*, Reporte, PROTRANSPORTE, Lima, 2009.
- [20] P. Vukadin, "Urban noise mapping, an approach to the establishment of standard making procedure," presentado a EuroNoise, Paris, 2008.
- [21] *DIN 18005-1: 2002-07 Schallschutz im Städtebau Teil 1: Grundlagen und Hinweise für die Planung*, 2002.
- [22] *Organización Mundial de la Salud. Guías para el ruido urbano*, 1999.