

## Estimación de la contaminación sonora del tránsito en Ciudad de La Habana, 2006

### Estimation of road traffic noise pollution in Havana City, 2006

Raisa Guzmán Piñeiro<sup>1</sup>; Carlos Barceló Pérez<sup>11</sup>

<sup>1</sup>Especialista de I Grado en Medicina General Integral, Especialista de II Grado en Higiene y Epidemiología, Maestra en Ciencias en Salud Ambiental, Investigadora Agregada, Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología, La Habana, Cuba.

<sup>11</sup>Doctor en Ciencias Naturales y en Ciencias Físicas, Profesor Titular, Investigador Titular, Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología, La Habana, Cuba.

---

#### RESUMEN

**OBJETIVO:** realizar la modelación y estimación del nivel sonoro del tráfico en Ciudad de La Habana y reflejar el nivel de contaminación sonora que se ha alcanzado como fuente en el tránsito vehicular en las principales arterias de la urbe.

**MÉTODOS:** se realizó un estudio de diseño combinado (analítico y descriptivo) incluyendo como universo la red de arterias principales de la capital con circulación vial superior a 250 vehículos por hora, para las cuales se estableció una zonificación sanitaria. La herramienta de diagnóstico fue un modelo de estimación del nivel sonoro, establecido con técnicas estadísticas desde una muestra opinática de 37 combinaciones diferentes de perfiles ingeniero-viales y del flujo del transporte, cuya variable dependiente fue el nivel equivalente continuo del ruido fluctuante-Leq una hora en dB(A,F) con parámetro de equivalencia  $q = 3$ .

**RESULTADOS:** fueron propuestas relaciones funcionales del Leq con los niveles extremos de igual período y con parámetros del flujo de transporte y del perfil ingeniero-vial. El mejor modelo mostró una incertidumbre de 2 dB(A,F) Leq. La aplicación del modelo a datos provenientes de fotos satelitales, permitió elaborar un mapa de ruido donde se destaca una generalizada contaminación acústica en las principales arterias viales de la capital, con relación a los valores límites propuestos por el estándar NC 26-04 del NC-CTN 98/SC 1.

**CONCLUSIONES:** se genera un modelo basado en el flujo estandarizado por ancho

de vía y la velocidad de vehículos pesados, para la estimación del nivel equivalente continuo del ruido fluctuante. El mapa de ruido para la Ciudad de La Habana refleja altos niveles de contaminación sonora predominantes.

**Palabras clave:** Ruido, zonificación sanitaria, perfiles ingeniero-viales, flujo del transporte, mapa de ruido.

---

## **ABSTRACT**

**AIM:** to perform the modeling and estimation of the noise level of traffic in Havana City, and to show the level of noise pollution attained as a source in motor vehicle traffic in the main urban arteries.

**METHODS:** a combined design study (analytical and descriptive) was performed including as a model the network of main arteries of the capital with a road circulation higher than 250 vehicles per hour, for which a health zoning was established. The diagnostic tool was an estimation of the sound level established by using statistical techniques, from an opinion sample of 37 different combinations of engineered road profiles and of transport flow, whose dependent variable was the continuous equivalent level of fluctuating noise-Leq 1 hour in dB(A,F) with an equivalence parameter of  $q = 3$ .

**RESULTS:** Leq functional relationships with an extreme level of a similar period and with parameters of traffic flow, and engineered routes profile were proposed. The best model showed an uncertainty rate of 2 dB (AF) Leq. The application of the model to satellite photos allowed to make a noise map where a generalized acoustic pollution stands out in the main arteries of the capital compared with the limit values proposed by the standard NC 26-04 of NC-CTN 98/SC 1.

**CONCLUSIONS:** a model based on the standardized flow by road width and the speed of heavy vehicles is generated to calculate the continuous equivalent level of the fluctuating noise. The noise map for Havana City shows high predominant levels of noise pollution.

**Key words:** Noise, health zoning, engineered routes profiles, traffic flow, noise map.

---

## **INTRODUCCIÓN**

El ruido del tránsito, a diferencia del ruido industrial mayormente continuo y de armónicos definidos, posee una amplia variabilidad de presiones y composición espectral, lo que constituye un sonido de banda ancha. El espectro de sonido del tráfico se relaciona al tipo de vehículo circulante y su velocidad (condiciones de flujo), así como a las características de los viales (condiciones de escenario: el pavimento, la pendiente, el ancho de vía, el cierre lateral) y las condiciones meteorológicas. La fuente principal de ruido en los vehículos es el motor, caracterizado por componentes de tono bajo en audiofrecuencia, seguido de la vibración de la carrocería, aportando componentes medios y altos, y por el rodamiento.

Dadas las diferencias locales en los trazados y estados de los viales, así como el tipo de vehículo y la circulación, se hace necesario proponer modelos de cálculo físico-estadísticos *in situ* del nivel sonoro, en concordancia con los requerimientos de la salud ambiental para estimar su impacto en salud y bienestar de la población. De esta forma, se establecen y usan modelos de predicción del nivel sonoro, como es el caso del antiguo *Federal Highway Administration-FHWA* postulado para Estados Unidos. Los primeros modelos desarrollados describían el nivel sonoro de vehículos aislados, luego abordaron niveles estadísticos de flujo de tráfico continuo y finalmente, variable en términos reflejos de audibilidad-ponderación de frecuencia A, también consideraron el campo difuso de los cierres laterales, la influencia de grandes edificios, pero se halló que la distancia a la calle era el principal factor de atenuación. Los modelos se extendieron a Europa en la década de los ochenta y luego al Asia a partir de los noventa, adaptándose en casos para zonas urbanas emergentes. Se estudió las fuentes de variabilidad de los parámetros y se consideró el caso de embotellamientos en el tránsito. Modernamente algunos modelos han adoptado la expresión de sistemas de información geográfica (GIS).<sup>1-11</sup>

Entre los modelos ajustados a datos empíricos se cuenta el de Cuba, Suiza y Tailandia. Enfoques de lógica difusa han sido modernamente propuestos y la caída exponencial del nivel sonoro con el alejamiento de la vía se ha incluido en condiciones de campo libre, en tanto la densidad de tráfico y la absorción de las fachadas dificultan el cálculo del apantallamiento. Se han comparado modelos de aceleración y de posición-velocidad y se avanza con los pronósticos de la dinámica de área. Se ha valorado el ruido de fondo y considerado la probabilidad de Poisson en la distribución de los vehículos en la vía para un modelo físico-analítico. Con estos modelos se evalúan condiciones de salubridad ambiental y se ponen en práctica medidas de control y prevención. En Norteamérica, la reducción del nivel sonoro descansa en 3 enfoques: planeación y control del uso del suelo, control en las fuentes y mitigación del ruido en proyectos de carreteras.<sup>12-22</sup>

Se plantea la modelación y estimación del nivel sonoro del tráfico en la capital, reparametrizando un modelo del decenio de los noventa en función del flujo actual del transporte y el perfil ingeniero-vial y finalmente, reflejar el nivel de contaminación sonora que se ha alcanzado como fuente en el tránsito vehicular de las principales arterias de la urbe, elaborando el mapa de ruido de la ciudad, instrumento de indiscutible valor para hacer valer las leyes, normativas y regulaciones con las que se cuenta en función de la salud ambiental, para la protección de la comunidad de las molestias y efectos adversos a la salud, originados por el ruido.

## MÉTODOS

### Nivel sonoro del tráfico

Se realizó un estudio de diseño combinado, analítico en la inducción del modelo y descriptivo en la elaboración del mapa de ruido de la ciudad. El universo al que aplica el modelo está conformado por 45 posibles soluciones lógicas de perfiles ingeniero-viales y del flujo del transporte. El universo del nivel sonoro del tránsito se corresponde con el del conjunto de principales arterias de tránsito de la red vial de la capital con circulación mayor de 250 vehículos por hora en período de vigilia. Las arterias fueron estudiadas según 37 tramos de connotada circulación en movimiento rectilíneo uniforme a partir de una visión momentánea.

El modelo de estimación del nivel sonoro del tránsito se establece con el muestreo opinático de 45 condiciones reales localizadas, que representan las tipologías urbanísticas y del transporte común que la ciudad posee. De cada condición se seleccionó un punto bajo criterios de factibilidad y no interferencia a la medición, al cual se acudió 2 veces para medir el nivel sonoro entre las 8 y las 16 horas en días hábiles. A los fines de la microlocalización sanitaria, se usó un modelo que alcanzó estimaciones del Leq en 37 tramos de vía.

## **Variables**

*Modelo inferencial.* Perfiles ingeniero-viales según cierre lateral, pendiente, pavimentación, ancho de la vía y número de carriles. Añade otras variables de contexto. Clima según temperatura seca, humedad relativa y velocidad del viento. Flujo del tránsito vehicular pesado, ligero y de motos, velocidad de los vehículos pesados, ligeros y motos, nivel sonoro continuo equivalente según energía (con parámetro de equivalencia q: 3) para una hora y niveles máximo y mínimo de igual período medidos instrumentalmente a 1,2 m de altura y 1 m de separación del contén de la acera. Se utilizó un sonómetro BK 2230, calibrado por pistófono, incertidumbre menor a un dB (SPL) con un micrófono de campo libre operando a 10° sobre la horizontal.

*Zonificación.* Perfiles ingeniero-viales y del flujo del transporte definidos por la combinación de las siguientes características: conteo de vehículos por tramos, largo y ancho de la vía según fotos cenitales (aproximación a unos 250 m de altura en la gama visible por fotos del satélite MDA Earth SAT 2006), velocidad de los vehículos pesados en el tramo (según mediciones del INHEM, 1992) y nivel Leq estimado.

*Parámetros.* Principales arterias de tránsito definidas previamente desde la circulación vehicular.

Operacionalización de las variables. Perfiles ingeniero-viales definidos por la combinación de las siguientes características: laterales (nominal: variantes de cierre), pendiente (ordinal: = 15°, = 16-30°, = 30°), número de carriles de 2 a 6 (ordinal), pavimentación (binaria), ancho de vía (distancia contén a contén, m  $\pm$  0,10), acera (distancia borde a borde, m  $\pm$  0,10), jardín (distancia borde a borde, m  $\pm$  0,10), portal (distancia borde a borde, m  $\pm$  0,10), parqueo (binaria), separadores (binaria), hierba, arbustos y árboles (binarias), uso de edificaciones (categóricas binarizadas: comercio, taller, industria, vivienda, otros). □

*Clima.* Temperatura seca ( $^{\circ}\text{C} \pm 0,1$ ), humedad relativa ( $\% \pm 2$ ), velocidad del viento (m/seg  $\pm 0,2$ ).

*Flujo de tránsito vehicular.* Definido por detección de vehículos, medición satelital de viales por longitud y ancho según el *MDA Earth SAT* y la velocidad media.

*Velocidad transporte pesado, ligero y motos.* Obtenida según cálculos para distancia de paso a 30 m.

*Nivel sonoro.* Expresado según magnitudes Leq, Lmax y Lmin de una hora (nivel equivalente continuo del ruido fluctuante, máximo maximorum y mínimo minimorum) en unidades dB(A,F) con referencia a la norma sanitaria cubana NC 26-04.<sup>23</sup> Las mediciones se realizaron en puntos equidistantes a las esquinas según el perfil ingeniero-vial del que se tratare y a no menos de 50 metros de las intersecciones, lo que permitía reflejar el tránsito fluido.

## **Procedimiento para la modelación**

Los modelos matemáticos se obtuvieron por técnica de regresión múltiple según mínimos cuadrados. La variable dependiente fue el nivel equivalente continuo de ruido fluctuante de una hora en dB(A,F). Como variables independientes fueron identificadas las correspondientes al perfil ingeniero-vial, al flujo del transporte total, ligero, pesado y de motos, y climatológicas. Se probaron aproximaciones lineal y logarítmica. Se utilizaron dispersogramas y cálculo de correlaciones para explorar los enlaces bivariados de variables independientes y dependientes. Ello permitió elegir las variables independientes de interés para la obtención del modelo final.

Dada la posibilidad de colinealidad entre las variables del perfil ingeniero-vial se redujo la dimensionalidad a través de un análisis de componentes principales para datos categóricos. Fueron proyectadas las variables originales en 2 autovectores, los que se tomaron como variables independientes del modelo regresivo. El flujo de transporte fue estandarizado como número de vehículos por hora multiplicado por velocidad dividida por ancho de vía ( $\text{Km/m.h}^2; \text{t}^{-2}$ ).

Los modelos fueron parametrizados para distintas combinaciones de variables independientes utilizando técnicas paso a paso retroactivas con F de entrada 0,05 y salida 0,10. El procesamiento incluyó medidas resúmenes de información y estadígrafos de regresión (parámetros y bondad de ajuste). Los niveles  $L_{\max}$  y  $L_{\min}$  fueron estimados como una función lineal del  $L_{\text{eq}}$ .

### **Procedimiento para la zonificación sanitaria**

Se creó el mapa de ruido de la Ciudad de La Habana a partir de un modelo seleccionado. Los resultados obtenidos se compararon con la norma sanitaria para el ruido del tránsito en horario del día.<sup>23</sup>

## **RESULTADOS**

### **Correlación**

El nivel sonoro medido en los puntos característicos del perfil ingeniero-vial de este estudio, sigue 2 patrones frecuentes de comportamiento. Un patrón que indica moderada contaminación acústica y otro que muestra un nivel más alto de audibilidad. Las relaciones analíticas bivariadas del nivel sonoro equivalente  $L_{\text{eq}}$  con las variables del flujo del transporte están marcadas por una fuerte dispersión, pero sugieren proporcionalidad directa en el caso del enlace bivariado del  $L_{\text{eq}}$  con el flujo estandarizado del transporte pesado por ancho de vía y velocidad según la correlación del momento producto al nivel 0,05. El ancho de la vía contén a contén y el ancho de la acera guardan una relación inversamente proporcional con el  $L_{\text{eq}}$ . El ancho del jardín y los portales no guardan una correlación significativa con el nivel sonoro.

Según la correlación de *Spearman*, el número de carriles, la existencia de separadores y la presencia de árboles guardan una relación significativa inversamente proporcional a 0,05 con el  $L_{\text{eq}}$ . Comercios, talleres, industrias, viviendas u otros objetos de obra en la vecindad de los tramos de las vías estudiadas, la cubierta de asfalto, la existencia de aceras, jardines y de cierres laterales, tampoco guardan una correlación significativa con los niveles sonoros. La altura de las edificaciones aledañas a las vías del tránsito vehicular muestra una

correlación inversamente proporcional acentuando el papel de la absorción sobre la reflexión del sonido en el medio construido.

El incremento de la temperatura, la humedad y la velocidad del viento en su conjunto parecen redundar en una disminución del nivel sonoro (significativo a 0,05 por el momento producto de las 2 primeras variables), lo que puede asociarse a efectos de absorción y dispersión del ruido por las condiciones meteorológicas.

## **Modelación**

### *Modelos primarios*

La regresión múltiple del  $L_{eq}$  en función de los descriptores flujo total del transporte estandarizado por ancho de vía y velocidad, el perfil ingeniero-vial y las variables meteorológicas, presentan un error estándar de estimación de 6,55 dB(A). El logaritmo del flujo del transporte estandarizado, las variables del perfil ingeniero-vial y las meteorológicas resultan significativos predictores del nivel sonoro, pero índices de colinealidad elevado a partir del quinto autovalor alertan esta limitante. Cuando se excluyen elementos meteorológicos y se conservan los descriptores del flujo del tránsito como el flujo estandarizado total y el perfil ingeniero-vial, el error es 8,3 sin colinealidad. Con el logaritmo del flujo de vehículos pesados el error se reduce a 8,0. Una regresión solo en el logaritmo del flujo pesado lleva el error a 9,5 ([tabla 1](#)).

Para reducir la colinealidad, las variables independientes relacionadas al perfil ingeniero-vial fueron reducidas mediante análisis factorial a 2 autovectores; los autovalores explican 84 % del campo de variación. Al proyectar las variables originales en los nuevos ejes se observan que todas ellas se orientan en el sentido positivo del primer eje y alternan en el segundo, lo que se verifica en la [figura 1](#).

### *Modelos secundarios*

Los modelos secundarios excluyen el uso de las variables meteorológicas y asumen los perfiles ingeniero-viales como las proyecciones ortogonalizadas del análisis de componentes principales para datos categóricos.

Se propone un modelo de nivel sonoro en función del flujo estandarizado por ancho de vía y velocidad del transporte pesado, añadidos a los 2 autovectores planteados del perfil. Las correlaciones entre las variables independientes y dependientes sugieren la existencia de una correlación significativa del  $L_{eq}$  directamente proporcional con el logaritmo del flujo del transporte estandarizado por ancho de vía y velocidad, e inversamente proporcional con los autovectores del perfil ingeniero-vial mencionado.

En este caso el modelo resultó estadísticamente significativo ([tabla 2](#)) y se obtiene un error estándar de estimación de 8,28. Además, se puede apreciar que el índice de colinealidad resultó reducido en el cuarto autovalor a 16. Cuando se parametriza un modelo solo en las variables ortogonalizadas del perfil ingeniero-vial, el error estándar aumenta a 8,7 con significación estadística mayor que 0,01.

El  $L_{max}$  se predice con error estándar de estimación de 5,6 a partir del  $L_{eq}$  por medio de una regresión lineal y el  $L_{min}$  se predice con error estándar de 4,1; ambas funciones significativas a 0,01 ([tabla 3](#)).

La normalidad del Leq se consigue ajustando la bimodalidad por una variable binaria, que refleja la ausencia o presencia de rastras y vehículos de 8 ruedas. Al colocar la variable ajuste, se obtuvo un modelo lineal significativo a 0,01 por la prueba F con un error típico de 3,3 dB(AF) en Leq [1 hora]. La tipología del transporte pesado y su flujo estandarizado son determinantes del nivel sonoro de mayor valor que el perfil ingeniero-vial. Un modelo paso a paso selecciona precisamente estas 2 variables como las más explicativas ([tabla 4](#)) y por ende, resulta el modelo de mejor significación estadística del estudio.

#### *Zonificación por ruido de tránsito*

La medición de anchos de vías, largos de tramos y el conteo por teledetección satelital de vehículos pesados se transformó en flujo, considerando las velocidades calculadas en las arterias viales. Se obtuvo una visión momentánea del nivel sonoro del tráfico en Ciudad de La Habana utilizando una estimación del Leq en función del flujo estandarizado por ancho de vía y velocidad de los vehículos pesados en 37 tramos de gran circulación vehicular ([figura 2](#)). Se aprecia una situación desfavorable en la totalidad de los municipios estudiados; valores muy por encima de los 68 dB(A, F) se obtuvieron en el universo de los tramos, lo que contrasta significativamente con el criterio de inmisión sanitariamente inaceptable para ruido del tránsito en horario diurno en zonas urbanas estables de acuerdo a la norma sanitaria vigente NC 26-04.

## **DISCUSIÓN**

En el año 2001 en San Francisco, Estados Unidos, por un estudio puntual del nivel sonoro procedente del tránsito vehicular se alcanzaron valores de 100 dB(A). En el 2005 en París, Francia, se obtuvieron valores superiores a los 71 dB(A)<sup>24</sup> y en España en ese propio año se publica, que resultaba el país que después de Japón tiene mayor población expuesta al ruido ambiental con niveles medios superiores a los 65 dB(A).<sup>25</sup> Ante la situación presentada en estos países, cuantiosos recursos han sido destinados para tornar favorables estos niveles de contaminación sonora por el tránsito, que incluyen medidas de impacto que van desde el control de la emisión de ruido por los vehículos y el reordenamiento de la circulación vial, hasta el apantallamiento de las estructuras arquitectónicas sociales y habitacionales.

Una de las mejores herramientas en la prevención de la contaminación acústica es la elaboración de los denominados mapas de ruido, se pueden entender como una fotografía del territorio o de la ciudad a estudiar, en la que mediante un código de colores se definen los niveles sonoros a los que está sometido ese espacio, para conocer las zonas con mayores niveles de presión sonora y cuáles son aquellas que hay que preservar para no deteriorar su estado. La Unión Europea recomienda de manera expresa la realización y actualización de mapas de ruido como base de partida para la realización de directivas encaminadas a fijar límites recomendados a los niveles sonoros ambientales.<sup>26-30</sup>

## **CONCLUSIONES**

Se genera un modelo basado en el flujo estandarizado por ancho de vía y la velocidad de vehículos pesados, para la estimación del nivel equivalente continuo del ruido fluctuante. La ortogonalización del perfil ingeniero-vial en este tipo de

modelo resulta eficiente; pero los modelos más apropiados dependen del flujo estandarizado de vehículos pesados por ancho de vía y velocidad, y por su tipología, cuyas incertidumbres son de unos 3 dB(A, F), Leq [1 h].

El mapa de ruido para la Ciudad de La Habana refleja altos niveles de contaminación sonora predominantes, transgrediendo el estándar sanitario vigente (NC-26, 04).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lang J. Assessment of noise impact on the urban environment: a study on noise prediction models. Regional Office for Europe, Copenhagen: World Health Organization; 1986.
2. Barry TM, Reagan JA. FHWA Highway Traffic Noise Prediction Model. Washington: Dept. of Transportation, Federal Highway Administration; 1979.
3. Steele C. Critical review of some traffic noise prediction models. *Applied Acoustics*. 2001;62:271-87.
4. Heutschi K. A simple method to evaluate the increase of traffic noise emission level due to buildings, for a long straight street. *Applied Acoustics*. 1995;44:259-74.
5. Ishiyama T, Tateishi K, Arai T. An analysis of traffic noise propagation around main roads in Tokyo. *Noise Control Eng J*. 1991;36:65-71.
6. Conde Santos L, Valado F, Santos C. Mapas de ruido no planeamento municipal-caso práctico. Portugal. [Sitio de Internet]. [Citado 12 de julio de 2005]. [Aprox. 6p]. Disponible en: <http://www.absorsor.pt.htm>
7. Bengang L, Shu T, Dawson RW. Evaluation and analysis of traffic noise from the main urban roads in Beijing. *Applied Acoustics*. 2002;63:1137-42.
8. Jacobs LJM, Nijs L, Van Willigenburg J. Computer model to predict traffic noise in urban situations under free flow and traffic light conditions. *J Sound and Vibrat*. 1980;72:523-37.
9. Hincu G. Computer assisted evaluation of traffic noise level. *Electronic Journal Technical Acoustics*. 2003; 18. [Citado 12 de julio de 2005]. Disponible en: <http://www.ejta.org>.
10. Cabaní F. Los efectos del ruido en la salud. *Revista de Enfermería*. 2005;28:26-31 (Barcelona, España). [Serie en Internet]. [Citado 10 mayo 2006]. Disponible en: <http://search.epnet.com/>
11. Bengang L, Shu T. A GIS based road traffic noise prediction model. *Applied Acoustics*. 2002;63:679-91.
12. Barceló C, Moreno U, Monterrey P. Memorias. XXIII Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Modelación matemática del ruido del tránsito y de su

respuesta subjetiva. Aplicación en el mapa de La Habana. La Habana, Cuba: AIDIS; 1992. p. 162-9.

13. Heutschi K. INTERNOISE 2001 Proceedings of the International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. New Swiss Source Model for Road Traffic Nois. Suiza, 2001.

14. Suksaard T, Sukasem P, Tabucanon SM, Aoi I, Shirai K, Tanaka H. Road traffic noise prediction model in Thailand. Applied Acoustics. 1999;58:123-30.

15. Cammarata G, Fichera A, Graziani S, Marletta L. Fuzzy logic for urban traffic noise prediction. J Acoustical Society of America, 1995.

16. Marcus AH. Some exact distributions in traffic noise theory. Advances in Applied Probabilit. 1975;7:593-606.

17. Thorsson PJ, Ogren M. Macroscopic modeling of urban traffic noise: influence of absorption and vehicle flow distribution. Applied acoustics. 2005;66:121-243.

18. Moura-de-Sousa C. Ruído urbano: níveis de pressão sonora na cidade de São Paulo. [Tesis de Maestría]. Brasil: Universidad de Sao Paulo, Facultad de Salud Pública; 2002. [Citado 10 mayo 2006]. Disponible en: <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/>

19. Goodman P. Prediction of road traffic noise from the SCOOT demand-responsive traffic control system. Traffic Eng Control. 1998;39:355-61.

20. Bhaskar A, Chung E, Kuwahara M, Oshino Y. Integration of road traffic noise model (ASJ) and traffic simulation (AVENUE) for built-up area. Energy and Environment Research Division, Japan. Japan: Automobile Research Institute; 2004.

21. Donato SR, Morria B. Technical note: a statistical model for predicting road traffic noise based on poisson type traffic flow. Noise Control Eng J. 2001;49:137-43.

22. Federal Highway Administration. Highway traffic noise in the United States, problem and response. Washington: Federal Highway Administration, Department of Transportation; 2000.

23. Normativas sanitarias. Ruidos en zonas habitables. Requisitos higiénicos sanitarios. [Sitio de Internet]. [Citado 12 de julio de 2005]. [Aprox. 6p]. Disponible en: <http://www.inhem.sld.cu/ruido/normasanitaria.htm>

24. Flores-Domínguez GE, Sánchez González JM. Contaminación acústica. [Sitio de Internet]. [Citado 10 de julio de 2005]. [Aprox. 11p]. Disponible en: <http://contaminaciónacústica-monografias.com.html>

25. El ruido en la comunidad de Madrid. España, 2004. [Sitio de Internet]. [Citado 9 de julio de 2005]. [Aprox.8p]. Disponible en: <http://medioambiente.madrid.org/areastematicas/atmosfera/ruido /ruido.html>

26. Mapa de ruido de Las Palmas de Gran Canaria, Revista Medio Ambiente. 1999;15. [Sitio de Internet]. [Citado 10 de mayo de 2006]. [Aprox. 5p]. Disponible en: <http://www.gobcan.es/medioambiente/revista/1999/15/213/>

27. Ponferrada ya dispone de su "mapa del ruido", Diario del Bierzo.com, 19 de septiembre de 2003 [Sitio de Internet]. [Citado 10 de mayo de 2006]. [Aprox. 5p]. Disponible en: <http://www.acusttel.com/news/noticia.asp?CodNoticia=41>

28. Mapa del ruido, Ayuntamiento de Zaragoza, Medio Ambiente, Agenda 21 [Sitio de Internet]. [Citado 10 de mayo de 2006]. [Aprox. 1p]. Disponible en: <http://www.ayto-zaragoza.es/azar/ayto/medioam/maparuido/default.htm>

29. Aplicaciones al estudio del ruido, Curso 2003. [On line]. [Sitio de Internet]. [Citado 10 de mayo de 2006]. [Aprox. 3p]. Disponible en: <http://www.ehu.es/acustica/bachillerato/genes/genes.html>

30. La contaminación acústica en la Rioja. Información Ambiental del Gobierno de la Rioja. [Sitio de Internet]. [Citado 10 de mayo de 2006], [Aprox. 2p]. Disponible en: [http://www.larioja.org/ma/prevencion\\_ambiental/ruido/introduccion.htm](http://www.larioja.org/ma/prevencion_ambiental/ruido/introduccion.htm)

Recibido: 28 de marzo de 2007.

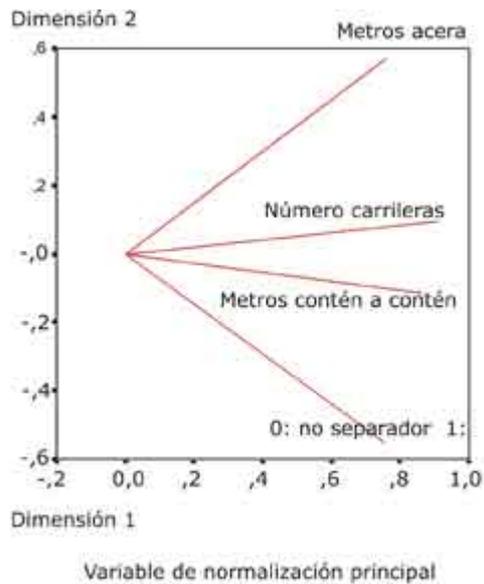
Aprobado: 30 de enero de 2008.

*Raisa Guzmán Piñeiro.* Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología, Infanta 1158 e/ Clavel y Llinás, código postal 10 300, Centro Habana, La Habana, Cuba. E-mail: [raisa@inhem.sld.cu](mailto:raisa@inhem.sld.cu)

**Tabla 1.** Parametrización de una regresión del nivel sonoro en función del logaritmo del flujo estandarizado de vehículos pesados.

	Modelo	Coeficientes sin estandarizar		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	52,605	6,928	.	7,593	0,000
	Logaritmo del flujo del tránsito pesado estandarizado por ancho de vía y velocidad	9,805	3,301	0,302	2,970	0,004

Variable dependiente: Leq [dB (AF)].



**Fig. 1.** Proyecciones de variables del perfil ingeniero-vial en 2 dimensiones ortogonales en los puntos de estudio de 45 perfiles ingeniero-viales.

**Tabla 2.** Parámetros del modelo regresivo del nivel sonoro y bondad de ajuste en función del flujo del transporte pesado y el perfil ingeniero-vial.

Modelo		Coeficientes sin estandarizar		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	60,533	6,225	.	9,724	0,000
	Logaritmo del flujo del tránsito pesado estandarizado por ancho de vía y velocidad	9,606	2,914	0,296	3,296	0,001
	Autovector 1	-0,428	0,116	-0,337	-3,691	0,000
	Autovector 2	-2,344	0,754	-0,285	-3,108	0,003

Variable dependiente: Leq [dB (A, F)].

**Tabla 3.** Lmax y Lmin en función del Leq.

		Coeficientes sin estandarizar		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
Modelo Lmax		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	26,950	4,376	.	6,159	0,000
	Leq [dB(AF)]	0,914	0,059	0,854	15,383	0,000
Modelo Lmin						
2	(Constante)	-9,935	3,237	.	-3,069	0,003
	Leq [dB(AF)]	0,888	0,044	0,907	20,205	0,000

**Tabla 4.** Parámetros de los modelos regresivo-general y paso a paso del nivel sonoro y bondad de ajuste en función del flujo del transporte pesado ajustado, tipología y el perfil ingeniero-vial.

Modelo general		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error típico	Beta		
1	Constante	62,904	1,193		52,713	0,000
	Autovector 1	-0,076	0,049	-0,060	-1,564	0,122
	Autovector 2	-0,269	0,315	-0,033	-0,854	0,396
	Tipología	17,481	0,807	0,878	21,651	0,000
	Flujo estandarizado pesado por ancho vía y velocidad	0,011	0,003	0,127	3,491	0,001
Modelo paso a paso						
2	Constante	61,232	0,667		91,814	0,000
	Tipología	18,179	0,718	0,913	25,331	0,000
	Flujo estandarizado pesado por ancho vía y velocidad	0,011	0,003	0,121	3,349	0,001

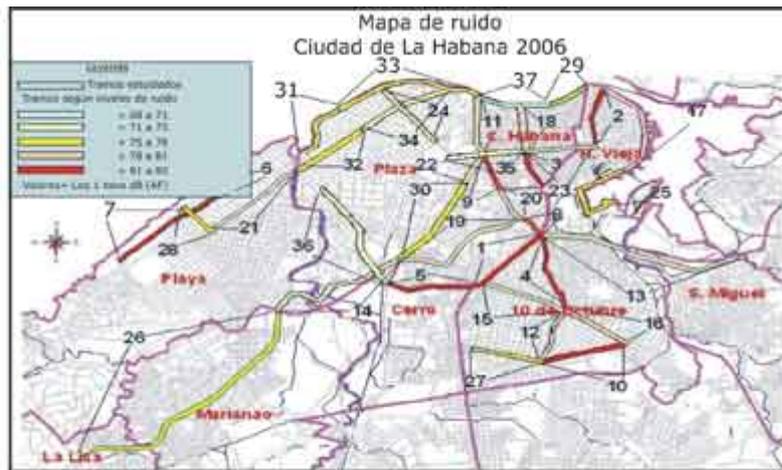


Fig. 2. Estimación del nivel sonoro de tránsito en Ciudad de La Habana (2006).