

CLASIFICACIÓN DE ÁREAS URBANAS A PARTIR DE LOS NIVELES DE RUIDO DEBIDOS AL TRÁFICO UTILIZANDO UN MODELO NO LINEAL MIXTO

PACS: 43.50.Rq

L. Ambrosio¹, V. Pascual², L. Iglesias², C. Díaz² y A. Pedrero²
Universidad Politécnica de Madrid

¹ Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Avda. Complutense s/n, 28040 Madrid, Teléfono 91 336 58 42.

² Grupo de Acústica Arquitectónica, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid Avda. Juan de Herrera 4, 28040 Madrid, Teléfono 91 336 42 49, Fax 91 336 65 54

ABSTRACT

Environmental management and public health policies related with noise require the quantification and classification of noise levels in urban areas of agglomerations. In order to quantify the noise levels in urban areas a statistical model is proposed. The proposed model is nonlinear and mixed, with two components: (i) a fixed component due to road traffic (source effect) and (ii) a random component due to the area (propagation effects). The model has been carried out to identify the different basic indicators of noise levels established in European legislation in each of the areas concerned using sample data distributed over different areas. A ranking of urban noise has been obtained from L_{den} indicator. The proposed approach has been applied to Leganés, medium-sized city in Spain

RESUMEN

Las políticas de gestión ambiental y salud pública relacionadas con los niveles de ruido requieren de la cuantificación y tipificación de los niveles en las zonas urbanas en que se puede dividir una aglomeración. Con el fin de cuantificar los niveles de ruido en áreas urbanas se propone un modelo estadístico. El modelo propuesto es no lineal y mixto, compuesto por dos componentes: (i) una componente fija debida al tráfico rodado (efecto debido a la fuente) y (ii) una componente aleatoria debida a la zona (efecto debido a la propagación). A partir de los datos de una muestra distribuida en las distintas zonas consideradas y utilizando el modelo propuesto se ha procedido a determinar los distintos indicadores básicos de niveles de ruidos establecidos en la normativa europea en cada una de las zonas consideradas. A partir del indicador L_{den} , se ha elaborado un ranking de ruido de las zonas urbanas. El enfoque propuesto se aplica a la ciudad de Leganés (España).

INTRODUCCIÓN

La polución acústica está contemplada como uno de los principales problemas de salud pública por la Organización Mundial de la Salud. (Guarinoni, Ganzleben, Murphy and Jurkiewicz, 2012). No es de extrañar que en la legislación Europea (Murphy et al., 2010), como la Directiva 2002/49/EC (END, 2002) y la Ley 37/2003 del Ruido (LEY, 2003), impongan la elaboración de Mapas Estratégicos de Ruido, como herramientas del planeamiento urbano.

Este trabajo se enmarca dentro de la acústica ambiental y la gestión y control del ruido. Creemos que serviría como una herramienta para evaluar y comparar los niveles de ruido en diferentes zonas urbanas de una ciudad, aportando la precisión resultante y permitiendo comparar la incidencia del ruido de unas zonas con otras. El estudio se basa en el uso de un modelo estocástico no lineal y mixto, partiendo de un modelo determinista. La dificultad para conseguir calcular los parámetros de precisión o confianza se encuentra en determinar la estructura de variabilidad, y por tanto, los cálculos de la matriz de varianzas y covarianzas. Esta dificultad se afronta contando con la metodología de pequeñas áreas (Ambrosio *et. al.*, 2000) la cual considera la existencia de autocorrelación espacial entre las zonas escogidas para evaluar.

En el modelo la variable medida es la presión sonora que se supone dependiente de la potencia sonora de la fuente y la propagación del sonido producido por esta. Por tanto, en el modelo la presión sonora será la suma de una parte fija, el modelo determinista donde se calcula la potencia sonora producida por la fuente, y una parte variable aleatoria suma de dos variables aleatorias. La parte fija se supone que no depende de la estructura y forma urbana de la zona; sin embargo la parte variable está causada por otras fuentes, no tenidas en cuenta en la parte fija, por las reflexiones y por las dispersiones de las ondas sonoras, todo ello, de alguna forma, debe estar relacionado con la forma de la zona urbana, de tal manera que la componente aleatoria será más parecida en dos puntos que pertenecen a la misma zona urbana que en diferentes zonas urbanas; con lo que se dice que existe autocorrelación espacial.

METODOLOGÍA

El modelo estadístico usado cuenta con una parte fija, donde la presión sonora medida y_{ijt} depende del flujo de vehículos (número de vehículos / hora), x_{1ijt} y del porcentaje del flujo de vehículos pesados incluidos en el flujo total, x_{2ijt} a través de una relación no lineal dependiente de los parámetros a estimar β_1 , β_2 y β_3 ; donde i identifica el área urbana, j identifica la calle y t es el periodo temporal (día, tarde o noche). La parte variable, está formada por la suma de dos efectos, u_i es el efecto aleatoria que hace que presión sonora medida y_{ijt} no sea predicha por la parte fija a causa de que cambia aleatoriamente debido a las características del barrio donde se encuentra, es decir, incluye todas aquellas variables desconocidas que no pueden ser tenidas en cuenta a causa de la naturaleza compleja del área urbana donde se mide, u_i es una variable aleatoria de media 0 y varianza σ_u^2 . Otra componente variable o aleatoria es e_{ijt} la cual representa la perturbación aleatoria de media cero y varianza σ_{e2} que tiene en cuenta la aleatoriedad debida a otros factores desconocidos además de las características de la zona urbana. El modelo se presenta en la Ecuación 1.

$$y_{ijt} = \beta_1 + \beta_2 \log_{10} [x_{1ijt} (1 + \beta_3 x_{2ijt})] + u_i + e_{ijt} \quad [1]$$

Como se ve en la ecuación [1], $\beta_1 + \beta_2 \log_{10} [x_{1ijt} (1 + \beta_3 x_{2ijt})]$ es el efecto emisor del tráfico al que se añade los efectos aleatorios que imprime en el modelo su carácter mixto. El modelo es

un modelo no lineal mixto (NLMM, *Non Linear Mixed Model*). Los parámetros del modelo a estimar son β_1 , β_2 , β_3 , σ_u^2 y σ_e^2 .

Dado que el modelo es no lineal, al método de estimación en pequeñas hay que añadir la linealización de la ecuación [1] previamente a la estimación, lo que implica que es necesario utilizar en el ajuste un método iterativo.

CASO DE ESTUDIO

La metodología propuesta ha sido aplicada a una amplia muestra de datos recogidos en varios barrios de Leganés (España). Este municipio se encuentra situado al suroeste de Madrid, y se ha desarrollado en torno a un núcleo urbano central desde mediados de la década de 1950. Durante las décadas siguientes se han ido desarrollando distintos barrios conforme a las tendencias urbanísticas vigentes en cada época, de tal manera que la forma urbana varía entre barrios. Los datos utilizados se refieren únicamente a las zonas urbanas, no considerándose las zonas industriales.

Dentro de cada barrio se han seleccionado un cierto número de puntos de muestreo. El procedimiento utilizado para realizar la selección de los puntos se basa en la clasificación de ruido urbano de acuerdo con el uso de la zona, la densidad de población y la importancia de las calles dentro de cada zona, tal como Brown et al. Propusieron en 1987.

En cada uno de los emplazamientos seleccionados, se midió el nivel sonoro continuo equivalente en dB(A), en los períodos descritos en la Ley del Ruido española [día (7:00 a 19:00), tarde (19:00 a 23:00) y noche (23:00 a 7:00)]

Las mediciones se realizaron de acuerdo a la norma ISO 1996-2 (AENOR 2009), utilizando sonómetros (Bruel-Kjaer, modelo 2250 light). El equipamiento utilizado cumplía con las normas IEC 61672 (AENOR 2005), IEC 60651 (AENOR 2003) y 60804 clase 1 (AENOR 2002). Cada medición duró 15 minutos, lo que implica que la duración de las mediciones fue 5 minutos superior al mínimo establecido en la norma UNE ISO 1996-2:2009 (AENOR 2009). Simultáneamente a las mediciones se recogieron los datos de tráfico, en particular el número de vehículos, distinguiendo entre vehículos ligeros y pesados. El número total de puntos sobre los que se realizaron mediciones fue de 144.

Tabla 1. Resumen de los datos de las zonas urbanas.

Barrio	Área (ha)	Longitud relativa de los viales (m/ha)	Nº puntos muestreados	Valores medios	
				Nº de vehículos hora	Porcentaje de pesados
Ampliación S. Nicasio	57.5	135.7	1	188.0	2.4
Arroyo Culebro	168.0	201.8	8	244.0	6.8
Batallas	22.8	210.5	4	342.0	2.0
Campo de Tiro	54.6	170.3	6	290.0	3.1
Carrascal Norte	46.2	108.2	4	358.0	3.6
Carrascal Sur	44.8	107.1	6	759.0	4.0
Centro	31.0	193.5	9	214.0	1.9
Derechos Humanos	21.3	117.4	5	466.0	3.7
Descubridores	13.2	128.8	2	128.0	2.0
Escritores	12.1	247.9	4	418.0	2.9
Flores	35.1	179.5	7	514.0	3.1
La Fortuna	213.9	139.8	12	571.0	5.5
Leganés Norte	103.7	144.6	9	345.0	4.0
Los Frailes	81.2	120.7	7	480.0	6.1
Los Santos	22.5	248.9	7	284.0	3.4
Quinto Centenario	79.2	113.6	6	291.0	1.8
San Nicasio	52.8	217.8	8	235.0	2.0
Valdepeelayo	38.1	252.0	3	294.0	5.1
Vereda de Estudiantes	38.9	236.5	8	263.0	6.3

Virgenes	16.2	253.1	4	236.0	1.0
Zarzaquemada Norte	71.0	147.9	14	541.0	3.4
Zarzaquemada Sur	68.3	156.7	10	516.0	3.5
TOTAL	1292.7	162.5	144	363.0	3.5

Los datos de tráfico para las vías situadas dentro de las áreas urbanas consideradas se obtuvieron a partir de la base de datos del sistema de información geográfica desarrollado para elaborar el mapa estratégico de ruido de Leganés. Los valores promedio se obtuvieron utilizando la media ponderada de la variable vehículos utilizando como criterio de ponderación la longitud de las vías de la zona. En la tabla 1 se presentan los valores.

La tabla 2 muestra las estimaciones de β , de los errores estándar de los estimadores (entre paréntesis), la raíz cuadrada de los valores del estadístico de Wald [entre corchetes] y los p-valores {entre llaves}. Como puede observarse tanto el número de vehículos como el porcentaje de pesados son estadísticamente significativos. Esto implica que la forma de los barrios tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la emisión de ruido de tráfico, en la medida que tiene un efecto sobre el flujo de tráfico. La estimación de los parámetros se realizó asumiendo la igualdad entre las zonas urbanas y períodos de tiempo, y teniendo en cuenta que los tres períodos estudiados (día, tarde y noche) eran independientes.

En la tabla 2 se muestran las estimaciones de los componentes de la varianza. Estas componentes de la varianza son necesarias para calcular los indicadores de ruido debidos al tráfico y en particular para determinar la anchura del intervalo de confianza. La componente de la varianza debida al efecto propagación es estadísticamente significativa, por lo que la variabilidad de efecto de propagación entre las zonas urbanas es estadísticamente significativa. Por consiguiente, la relación entre la exposición a la contaminación acústica y el flujo de tráfico puede ser explotado de manera más eficiente si se toma en cuenta la autocorrelación dentro de pequeñas áreas urbanas.

Tabla 2. Coeficientes estimados y componentes de la varianza.

β_1	β_2	β_3	σ_v^2	σ_e^2
42.0071	8.5210	0.1221	1.9960	7.7888
(0.6635)	(0.2633)	(0.0212)	(0.8325)	(0.5447)
[63.3126]	[32.3650]	[5.7556]	[2.3975]	[14.3003]
{p-val.<0.0001}	{p-val.<0.0001}	{p-val.<0.0001}	{p-val.<0.0165}	{p-val.<0.0001}

La tabla 3 muestra las estimaciones obtenidas en cada área urbana considerada tras aplicar el modelo propuesto. En la figura 1 se presenta el proceso seguido para obtener los indicadores L_{den} de cada zona.

Tabla 3. Nivel sonoro equivalente descompuesto en la parte debida al tráfico y debido a otras causas no observadas

Zona urbana	Nivel debida a la fuente (dBA)			Nivel debido a la propagación (dBA)	Efecto debido a los factores no observados (dBA)			Nivel continuo equivalente (dBA)		
	Día	Tarde	Noche		Día	Tarde	Noche	Día	Tarde	Noche
Ampliación de S Nicasio	62.1	61.9	55.5	-1.8	0.7	-0.7	-3.1	61.0	59.4	50.6
Arroyo Culebro	56.3	56.6	49.2	-0.3	4.7	4.2	7.8	60.7	60.4	56.7
Batallas	61.5	59.3	54.3	1.4	6.2	5.3	9.1	69.1	66.0	64.9
Campo de Tiro	60.4	59.2	51.8	2.3	0.6	2.2	5.4	63.2	63.8	59.4
Carrascal Norte	65.0	63.8	57.5	-0.7	1.7	2.4	1.2	66.1	65.6	58.0
Carrascal Sur	67.2	64.0	60.4	-1.4	0.2	3.3	2.8	66.0	65.9	61.9
Centro	59.7	58.1	53.9	1.8	6.6	7.0	8.8	68.1	66.9	64.6
Derechos Humanos	62.2	62.0	57.7	0.4	0.5	0.2	1.3	63.1	62.6	59.4
Descubridores	58.6	56.3	53.3	-1.4	-0.2	3.3	1.2	57.1	58.2	53.1

Escritores	60.6	58.2	54.2	-0.6	2.3	4.5	5.4	62.4	62.0	59.0
Flores	60.7	57.8	52.7	1.6	5.4	8.0	9.2	67.7	67.4	63.5
La Fortuna	60.4	59.3	54.2	1.1	2.2	3.7	3.4	63.8	64.1	58.7
Leganés Norte	63.8	62.7	57.2	-1.2	0.0	0.5	-0.1	62.6	62.0	55.9
Los Frailes	60.9	59.2	54.4	-0.2	-2.1	0.3	1.0	58.6	59.3	55.2
Los Santos	58.9	57.4	53.2	0.7	8.4	9.5	9.0	67.9	67.5	62.8
Quinto Centenario	62.8	61.3	55.0	2.3	1.9	2.9	5.3	67.0	66.5	62.6
San Nicasio	60.0	59.1	53.3	0.8	5.4	6.1	9.1	66.3	66.0	63.2
Valdepelayo	57.2	56.4	52.1	-1.7	2.5	2.1	6.1	58.0	56.8	56.5
Vereda de Estudiantes	59.0	57.6	51.4	-0.4	0.7	1.1	2.9	59.3	58.3	53.9
Virgenes	58.9	57.3	52.9	-0.1	5.8	5.0	6.6	64.6	62.1	59.4
Zarzaquemada Norte	63.7	62.3	56.9	-0.7	2.1	2.3	4.6	65.2	63.9	60.8
Zarzaquemada Sur	61.8	60.7	54.5	-1.5	3.2	3.4	6.3	63.5	62.6	59.2

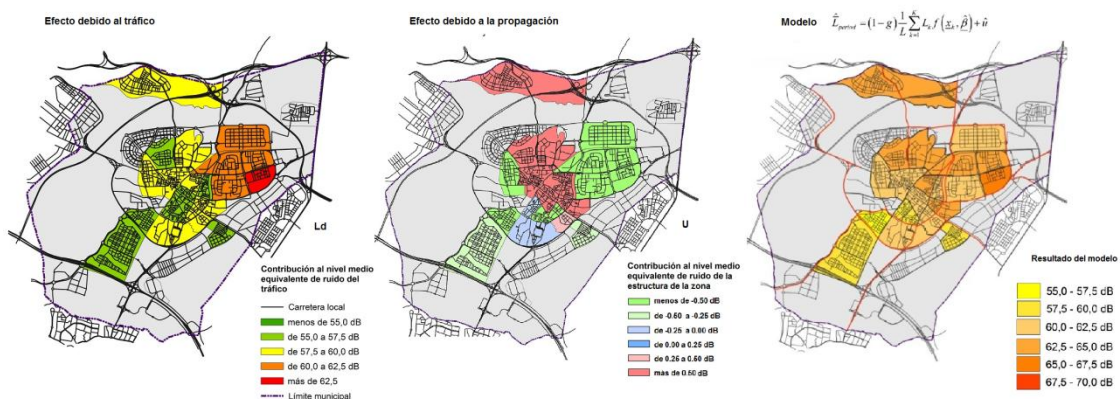


Figura 1. Aplicación del modelo a los datos obtenidos de la elaboración del MER de .Leganés.

A partir de los indicadores L_{den} calculados para cada zona y de sus correspondientes incertidumbres se ha establecido una clasificación los barrios estudiados. El indicador L_{den} varía entre los 59,6 dB y los 67,3 dB. Los barrios se han agrupado a partir de los valores obtenidos y teniendo en cuenta los intervalos de confianza que no se superponen con los demás. La clasificación consta de cuatro niveles:

- Nivel de ruido inferior. Este nivel de clasificación comprende a los barrios que se han desarrollado en los últimos años y donde la planificación urbana se ha implementado teniendo en cuenta criterios acústicos. En estas zonas (Valdepelayo, Arroyo Culebro, Descubridores y Vereda de Estudiantes) el número de vehículos es inferior a la media (300 vehículos por hora en números redondos), pero la proporción de vehículos pesados está por encima de la media (3%), excepto en el barrio de Descubridores. En estas zonas de nueva construcción, el efecto de la propagación es inferior a la media (cero). El promedio del indicador L_{den} es 60,3 dBA.
- Nivel de ruido medio. La mayoría de las áreas desarrolladas durante la expansión del municipio en la mitad del siglo pasado se encuentran en el nivel de ruido intermedio del ranking. Estas áreas se caracterizan por un rápido y desordenado crecimiento En algunos de estos barrios (Virgenes, Ampliación de San Nicasio, Campo de Tiro, Centro y San Nicasio) el flujo de tráfico es inferior a la media, mientras que en otros (Leganés Norte, Los Frailes y Zarzaquemada Sur), es superior. El efecto propagación del ruido del tráfico es inferior a la media en las áreas de reciente construcción (Ampliación de San Nicasio, Leganés Zarzaquemada Norte y Sur), mientras que es superior a la media en las áreas más antiguas (Centro, Los Santos, San Nicasio y Campo de Tiro). En Virgenes y Los Frailes es prácticamente cero. El promedio del indicador L_{den} es 63,3 dBA.

- Nivel de ruido superior. El rango superior, contiene las áreas más antiguas (Centro, Las Flores, Batallas, La Fortuna y San Nicasio), y algunos barrios recientes (Derechos Humanos, Zarzaquemada Norte y Carrascal Norte). Quinto Centenario es una zona de transición que también se incluye en este grupo. El flujo de tráfico en estas zonas es superior a la media, excepto en Quinto Centenario, donde el número de vehículos es inferior a la media, y Batallas, donde la proporción de vehículos pesados es inferior a la media. El efecto de la propagación del ruido de tráfico es superior a la media en las áreas mayores, como Quinto Centenario, y debajo de la media en los suburbios modernos tales como Zarzaquemada Norte y Carrascal Norte (en Derechos Humanos es prácticamente cero). El promedio del indicador L_{den} es 65,3 dBA.
- Nivel más alto de ruido. Hay una zona (Carrascal Sur), con niveles muy altos de ruido, que claramente se distingue de los restantes barrios. Esta zona se encuentra rodeada por una importante vía de comunicación de acceso a los nuevos barrios residenciales, la principal zona industrial y un gran centro comercial. Dentro de esta zona se encuentra un cruce donde el flujo de tráfico es significativamente superior a la media. Esta es una zona de nueva construcción, donde el efecto de propagación del ruido del tráfico es inferior a la media. El promedio del indicador L_{den} es 67,3 dBA.

La diferencia de los niveles de ruido entre estos cuatro grupos es lo suficientemente alta como para ser percibido por el oído humano. En la figura 2 muestran la clasificación de los distintos barrios según el criterio expuesto, junto con su distribución espacial.

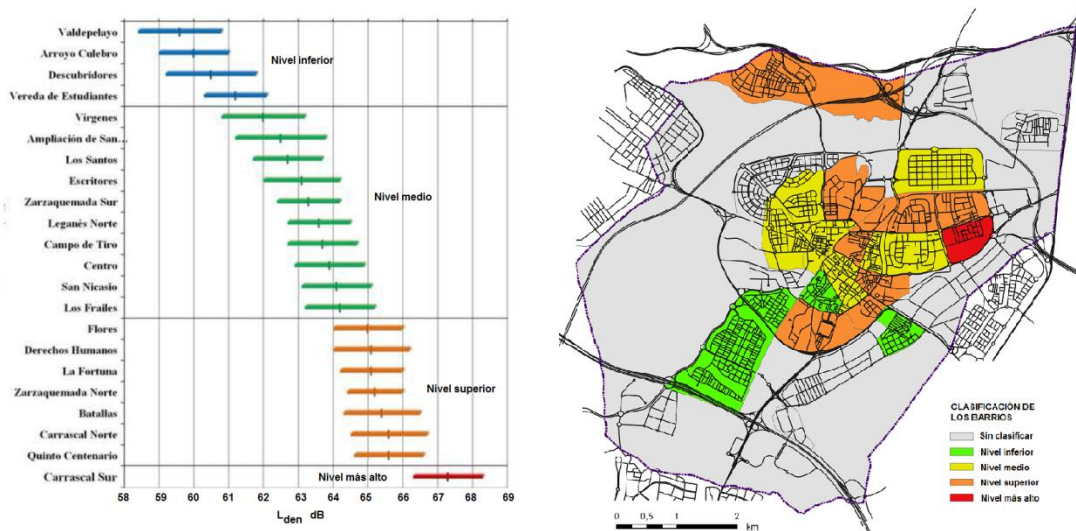


Figura 2. Clasificación de los barrios aplicando el modelo y los criterios expuestos.

En la tabla 4 se presentan los niveles de presión sonora continuos equivalentes para los periodos día, tarde y noche, así como el L_{den} y sus correspondientes errores cuadráticos medios.

Tabla 4. Indicadores de ruido debido al tráfico y su incertidumbre.

Zona Urbana	Indicadores básicos (dBA)			Error Cuadrático Medio (dBA ²)			Indicador compuesto	
							(dB A)	(dBA ²)
	L_d	L_e	L_n	ECM(L_d)	ECM(L_e)	ECM(L_n)	L_{den}	ECM(L_{den})
Amp. de S. Nicasio	60.1	60.0	53.5	1.16	1.17	1.20	62.5	0.41
Arroyo Culebro	57.6	57.6	51.1	0.65	0.65	0.72	60.0	0.24
Batallas	63.8	61.7	56.6	0.87	0.89	0.92	65.4	0.32

Campo de Tiro	62.6	61.5	53.3	0.73	0.74	0.78	63.7	0.25
Carrascal Norte	64.1	62.7	56.2	0.87	0.87	0.88	65.6	0.30
Carrascal Sur	65.5	63.2	58.8	0.73	0.73	0.73	67.3	0.27
Centro	61.4	59.8	55.9	0.61	0.62	0.65	63.9	0.25
Derechos Humanos	61.7	61.5	57.2	0.79	0.79	0.80	65.1	0.32
Descubridores	58.0	55.9	52.6	1.06	1.07	1.09	60.5	0.43
Escritores	61.2	59.0	54.7	0.87	0.88	0.90	63.1	0.33
Flores	63.7	61.5	55.9	0.69	0.71	0.74	65.0	0.25
La Fortuna	62.8	61.1	56.9	0.50	0.51	0.52	65.1	0.20
Leganés Norte	61.7	60.6	54.6	0.59	0.59	0.59	63.6	0.20
Los Frailes	62.3	60.6	55.6	0.67	0.68	0.68	64.2	0.25
Los Santos	60.4	58.8	54.4	0.70	0.72	0.75	62.7	0.28
Quinto Centenario	64.0	62.7	56.2	0.73	0.74	0.76	65.6	0.25
San Nicasio	62.0	61.0	55.2	0.65	0.65	0.70	64.1	0.24
Valdepeyayo	56.9	55.7	51.6	0.97	0.97	1.02	59.6	0.39
Vereda de Estudiantes	59.7	58.1	51.7	0.63	0.63	0.67	61.2	0.22
Vírgenes	59.8	57.7	53.7	0.88	0.89	0.93	62.0	0.35
Zarzaquemada Norte	63.2	61.7	56.4	0.45	0.45	0.46	65.2	0.16
Zarzaquemada Sur	61.2	60.1	54.6	0.56	0.56	0.60	63.3	0.20

CONCLUSIONES

Los trabajos de planificación urbana deben considerar acciones preventivas y correctivas contra la contaminación acústica, según lo prescrito por la legislación de muchos países. El tráfico es la principal fuente de ruido en las zonas urbanas residenciales y, por consiguiente, es esencial conocer cómo influye el tráfico sobre el ruido.

El modelo propuesto permite evaluar el efecto tanto de la forma urbana tanto sobre la emisión de ruido, como sobre propagación del ruido, y de forma separada. Esta característica del modelo puede ser especialmente útil para ayudar a la planificación urbana. Las acciones contra la contaminación acústica propuestas en los proyectos de planificación, pueden centrarse en la reducción del flujo de tráfico o de factores que afectan a la propagación (por ejemplo, mediante el uso de barreras, pantallas de vegetación o bermas de tierra). El modelo puede ser útil para tener conocimiento de las distintas acciones a tomar en el proceso de planificación. Por otra parte el modelo constituye una herramienta útil para clasificar las zonas urbanas de acuerdo a su nivel de ruido de tráfico. Esto puede ser de interés para determinar las áreas en las que deben centrarse las medidas de política de reducción del ruido.

El modelo propuesto permite establecer un valor global para cada zona considerada y una medida de la precisión de la estimación a partir de mediciones tomadas en lugares específicos. El ruido debido al tráfico rodado varía entre zonas urbanas ya que el tráfico varía de unas a otras, pero para un determinado flujo de tráfico, los niveles de ruido debidos al tráfico no varía entre zonas urbanas. Por el contrario, los cambios en la componente debida a la propagación del ruido dependen de la forma de la zona. En los barrios más antiguos, donde la estructura urbana es desordenada, con calles estrechas y edificios de distintas alturas, el efecto de propagación actúa aumentando el nivel sonoro continuo equivalente con respecto al ruido debido al tráfico. En cambio, en los barrios de nueva construcción con amplios viales, zonas verdes y edificios altos, el efecto de propagación es una especie de atenuación.

Sin embargo, este efecto de atenuación en las nuevas zonas urbanas no es suficiente para compensar el incremento del ruido debido al aumento del flujo de tráfico en algunas de estas

nuevas áreas urbanas y, como resultado, alcanzan altas posiciones en el ranking de nivel de ruido.

El procedimiento propuesto para la predicción de los indicadores el ruido de tráfico es preciso y eficiente, con un error de predicción estándar es de menos de 1 dB.

REFERENCIAS

AENOR (2002). CEI/IEC 60804: Sonómetros integradores-promediadores. AENOR

AENOR (2003). CEI/IEC 60651: Modificación 2: sonómetros. AENOR.

AENOR (2005). CEI/IEC 61672-1: Electroacústica, sonómetros (Electroacoustics, sound level meter). AENOR

UNE-ISO 1996-2:2009, Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental (Acoustics. Description, measurement and noise environmental evaluation. Part 2: Determining environmental noise level) . Retrieved December 1, 2012 from – http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0043828&PDF=Si#.UNwM09lo_KQ

Ambrosio L. and Iglesias L. (2000). Land cover estimation in small areas using ground survey and remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, 74, 240-248.

Brown A.L. and Lam K.C. (1987) Urban noise surveys, *Applied Acoustics*, 20:23–39.

END (2002). European Union Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise, *Official Journal of European Community*; 2002. No. L 189.

Guarinoni, M., Ganzleben, C., Murphy, E. and Jurkiewicz, K. (2012) Towards a comprehensive noise strategy. European Union, Brussels, 82 pages.

LEY 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. (2003) (Law of noise 37/2003, 17th November) . B.O.E. nº 276, from <http://www.boe.es/boe/dias/2003/11/18/pdfs/A40494-40505.pdf>.

Murphy E. and King E.A. (2010). Strategic environmental noise mapping: Methodological issues concerning the implementation of EU Environmental Noise Directive and their policy implications. *Environmental International*, 36: 290-298

Wu, D.D. (2011) Introduction to the special SERRA issue on “Risks, Uncertainties and the Environment”. *Stoch Environ Res Risk Assess* 25:301–304