

ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE RUIDO AMBIENTAL PARA ENTORNOS URBANOS

Antonio J. Torija¹, Diego P. Ruiz¹, Ángel Ramos-Ridao²

¹ Dpto. Física Aplicada Facultad de Ciencias

² Dpto. Ingeniería Civil E.T.S. de I.C.C.P.

Campus Fuentenueva s/n

Universidad de Granada

18071 Granada

Tel: 958 240 771

Fax: 958 243 214

E-mail: ajtorija@ugr.es; druiz@ugr.es; ramosr@ugr.es

Resumen

La gran heterogeneidad de variables acústicamente relevantes en los entornos urbanos, obliga a llevar a cabo una exhaustiva investigación para conseguir seleccionar de una forma adecuada las variables de entrada para un modelo de predicción de ruido ambiental. Varios autores establecen la necesidad de conseguir introducir variables relacionadas con las diferentes tipologías urbanas para conseguir una modelización del ruido ambiental que permita simular la energía sonora en las diferentes ubicaciones presentes en los entornos urbanos. Además, la consideración de la componente temporal de la energía sonora aparece como muy aconsejable para conseguir reproducir los niveles de inmisión a lo largo del tiempo para una determinada localización, puesto que factores como el tiempo de estabilización, la variabilidad del nivel de energía sonora incidente y la aparición de eventos sonoros anómalos son considerados como indispensables para conseguir caracterizar el paisaje sonoro urbano. Por lo tanto, en este trabajo vamos a llevar a cabo el análisis de las variables acústicamente relevantes para la modelización de la energía sonora, así como la construcción de un modelo de predicción de ruido ambiental considerando las variables previamente analizadas.

Palabras-clave: Modelo, predicción, ruido urbano

Abstract

The great heterogeneity of the main acoustics variables in the urban environments implies carrying out an exhaustive research to manage to select a suitable way the set of inputs for an environmental noise prediction model. Several authors establish the need to introduce variables related to the different urban typologies to obtain a modeling of the environmental noise that allows simulating the incident sound energy in the different locations appearing in the urban environments. In addition, the consideration of temporary component of the sound energy turns out to be very advisable to manage to reproduce the inmission levels throughout the time for a certain location, since factors like the stabilization time, the variability of the level of incident sound energy, the appearance of anomalous sound events are considered to be indispensable to manage characterizing the urban soundscapes. Therefore, in this work we are going to carry out the analysis of the acoustic relevant variables for the modeling of the sound energy, as well as the development of a model of environmental noise prediction considering the before analyzed variables.

Keywords: Model, prediction, urban noise

1 Introducción

Una de las características más importantes de las aglomeraciones urbanas es la gran heterogeneidad de situaciones acústicamente relevantes que aparecen en ellas. Desde el punto de vista de la modelización ambiental, esta gran heterogeneidad representa un serio problema, ya que es necesario conseguir introducir la gran diversidad de situaciones que definen el entorno urbano dentro de los modelos ambientales propuestos. Para el caso de la caracterización de los ambientes sonoros, ocurre algo similar, ya que el número de variables que influyen tanto en la emisión como en la propagación sonora es muy elevado [1,2].

Por otro lado, otra gran dificultad que se nos presenta para la descripción de un área desde un punto de vista acústico es la variabilidad del nivel sonoro a lo largo del tiempo y, su carácter aparentemente aleatorio. Es, por supuesto, bien conocido que el nivel de ruido generado por el tráfico rodado varía de forma muy pronunciada tanto a lo largo del tiempo como del espacio [3,4]. Desde hace varias décadas, muchos autores han establecido la necesidad de que la variabilidad del nivel de ruido sea tenida en cuenta en las investigaciones sobre ruido ambiental [5]. Hoy en día, autores como Botteldooren [6], establecen la necesidad de considerar la estructura temporal del nivel de ruido ambiental para caracterizar correctamente los paisajes sonoros urbanos, ya que el aspecto temporal juega un rol muy importante en la percepción de los paisajes sonoros y, es un factor esencial en el diseño del entorno sonoro urbano. Por lo tanto, obviamente, hay una gran necesidad de predecir y evaluar las características temporales de los paisajes sonoros de una manera más detallada [7].

Para resolver la gran complejidad de las situaciones mencionadas anteriormente, en este trabajo se propone la estructura para un modelo de predicción de ruido ambiental generado en los entornos urbanos, de manera que, en primer lugar se realiza un análisis detallado de las variables de entrada necesarias para la obtención de un elevado grado de precisión. Para la obtención de una precisa predicción y modelización del ruido urbano, un aspecto crítico es una adecuada selección de las variables de entrada, la cual nos permita la implementación de un modelo integrado con la complejidad urbana.

2 Material y métodos

2.1 Obtención de datos

Para la medición del nivel de ruido ambiental a que está expuesta la ciudad de Granada, ha sido usado un sonómetro tipo 1 (el analizador modelo 2260 Observer con un módulo básico de análisis sonoro BZ7219). Debido a que la principal fuente de ruido ambiental en las aglomeraciones urbanas es el tráfico rodado, también ha sido necesario la realización de una serie de aforos de caudal de tráfico en cada una de las localizaciones seleccionadas y, para cada uno de los intervalos de tiempo considerados, de manera que pudiéramos obtener información para ser capaces de enfrentar los datos de tráfico recogidos con los niveles de ruido ambiental medidos. Por lo que respecta al intervalo de tiempo de medición, para cada una de las medidas se ha elegido una duración de 70 minutos, de manera que el tiempo de estabilización de cada una de ellas (previamente estudiado) fuera inferior.

2.2 Estructura del modelo propuesto

Los actuales modelos de predicción de ruido ambiental poseen un gran potencial de cálculo, pero no consiguen incluir la gran variabilidad temporal y espacial característica de los entornos urbanos, la

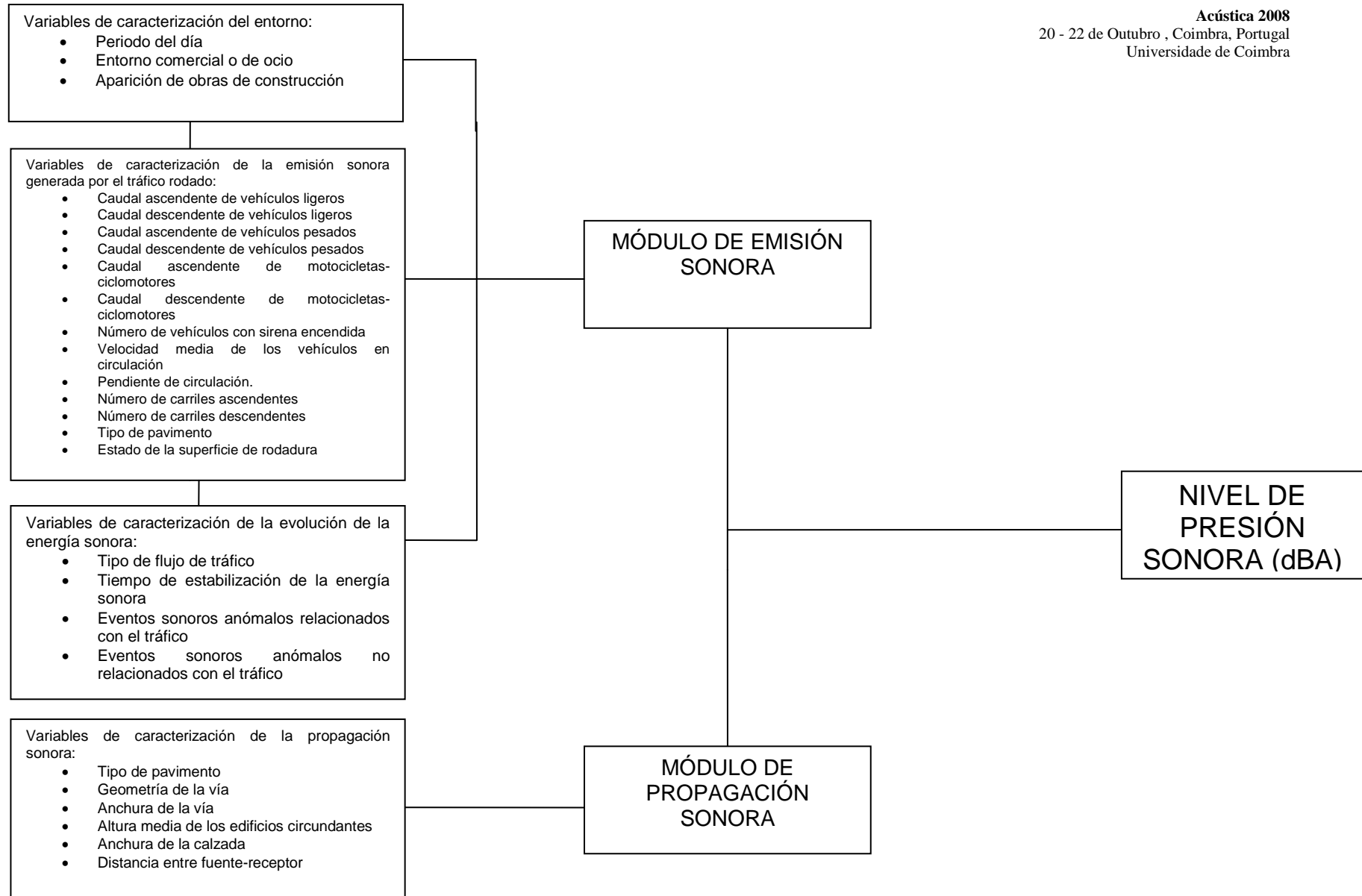


Figura 1 - Estructura del modelo de predicción de ruido ambiental propuesto

cual ocasiona la aparición de muy diversos valores de precisión dependiendo de la localización y el periodo en el cual la predicción es realizada. Este tipo de modelos son creados para una serie de condiciones ideales, fuera de las cuales su comportamiento no es demasiado bueno [8,9].

En estudios anteriores ha sido estudiada la influencia de diversas variables tanto en la predicción del nivel de ruido ambiental como en la descripción de la evolución temporal del nivel de energía sonora [10-12]. Debido a esto, pensamos que la realización de un análisis en profundidad de la gran cantidad de variables acústicamente relevantes para la caracterización del ambiente sonoro, así como de la gran diversidad de valores que presenta cada variable, resulta indispensable a la hora de desarrollar un modelo de predicción de ruido ambiental.

Por ello, en este trabajo se propone la estructura de un modelo de ruido ambiental, el cual está dividido en dos módulos, un módulo de emisión sonora y un módulo de propagación sonora, tal y como podemos observar en la figura 1.

Dentro de la estructura propuesta, en el módulo de emisión sonora, se propone una gran cantidad de variables no relacionadas con el tráfico rodado, las cuales, en nuestra opinión, tienen una gran influencia en la generación de ruido ambiental. Además, consideramos indispensable la caracterización de la fisonomía de la localización para la obtención de una adecuada descripción de la propagación sonora. Las variables introducidas en este trabajo como innovación, dentro del modelo de predicción, son las pertenecientes a la caracterización del entorno urbano, así como las relacionadas con la descripción de la evolución de la energía sonora. Además, variables como por ejemplo, estado de la superficie de rodadura, número de carriles ascendentes y descendentes y vehículos con sirena encendida no son incluidos directamente en los actuales modelos.

3 Resultados

El conjunto de localizaciones seleccionadas consigue englobar un amplio rango de valores para cada una de las distintas variables con relevancia acústica tratadas en este trabajo. Cada una de las localizaciones posee características muy diferentes a las demás, de manera que a la hora de analizar los resultados obtenidos pudiéramos disponer de un amplio rango de situaciones y, no solamente una serie de situaciones ideales bajo las cuales el modelo funcione bien. La selección de localizaciones pretende chequear la estructura de modelo propuesto a cada una de las diversas situaciones espaciales y temporales características de los entornos urbanos.

En la figura 2 se presenta el resultado de un análisis cluster jerárquico basado en el método Ward para el grupo de localizaciones seleccionadas. El dendrograma muestra dos grandes grupos diferenciados. El primero formado por las localizaciones 2, 8, 1, 3 y 10, las cuales corresponden a vías del centro de la ciudad con grandes caudales de vehículos pesados y motocicletas con una geometría tipo “U” y con un flujo de circulación pulsado (acelerado-decelerado). El otro grupo está formado a su vez por dos subconjuntos, el primero formado por las localizaciones 6, 12 y 4, las cuales corresponden a vías de zonas exteriores de la ciudad, con fisonomía cercana a campo libre, con menor fluctuación en cuanto al nivel de ruido de inmisión, etc. y, el segundo formado por las localizaciones 7, 11, 9 y 5, correspondientes a vías cercanas al centro de la ciudad con flujos de circulación intermitentes, con bajos caudales de vehículos, superficies de rodadura en mal estado, etc.

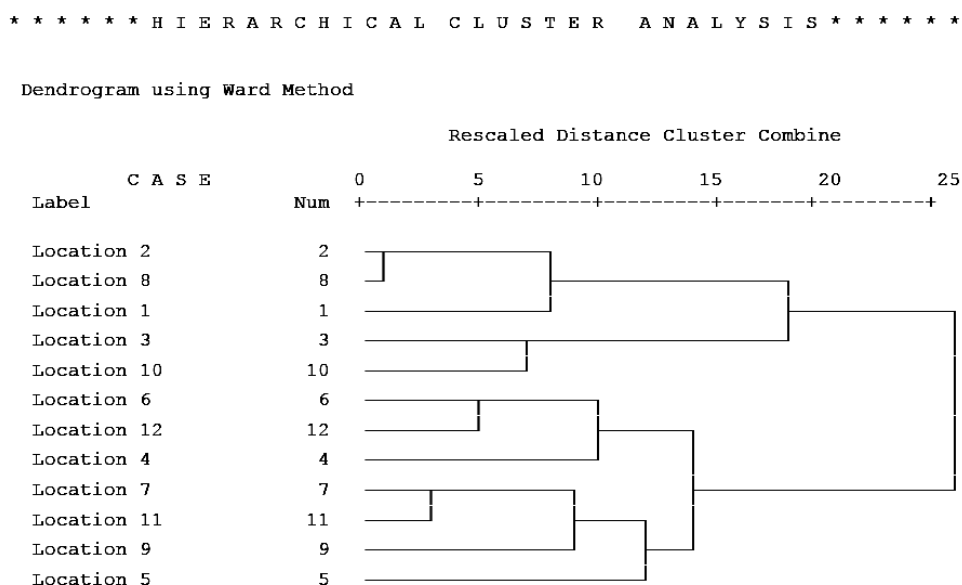


Figura 2 - Dendrograma mostrando el resultado del análisis cluster jerárquico basado en el método Ward para el grupo de localizaciones seleccionadas

3.1 Análisis de las variables seleccionadas para predecir el nivel de presión sonora (dBA)

Como hemos mencionado anteriormente, gran parte de los modelos de predicción de ruido ambiental utilizados están basados en situaciones ideales, lo cual tiene un serio problema de precisión, especialmente en entornos urbanos, debido a la gran heterogeneidad de situaciones acústicamente relevantes, generando malos resultados cuando aplicamos el modelo a situaciones diferentes a las condiciones para las que ha sido diseñado [13].

Uno de los aspectos críticos para obtener un cierto grado de precisión en la predicción y modelización de ruido ambiental es una adecuada selección de variables. En este trabajo hemos realizado un análisis del potencial impacto que cada una de las variables seleccionadas tiene sobre la predicción del parámetro L_{Aeq} . Por ello, hemos desarrollado un análisis paso a paso de regresión múltiple. De manera que hemos desarrollado 6 modelos, partiendo de un modelo con variables relacionadas con el tráfico como únicos inputs, al cual se han ido añadiendo el resto de grupos de variables seleccionadas, hasta obtener un modelo final, el cual posee la estructura indicada en la figura 1. En la tabla 1 aparecen los resultados obtenidos.

En el primer modelo es solamente incluido el grupo de variables relacionadas con el tráfico rodado, es decir, el \log_{10} del caudal de los distintos tipos de vehículos en circulación, número de vehículos con sirena encendida y velocidad media de circulación; este modelo explica el 63.4 % de la varianza en el cálculo del L_{Aeq} y su error típico de la estimación es de 2.32. En el segundo modelo, además de incluir las anteriores variables, se incluyen las variables pendiente de circulación y número de carriles ascendentes/descendentes; este modelo incrementa la variable explicada a 73.1 % (F-change = 68.38 ; $p < 0.01$). En el modelo 3 (emisión sonora generado por el tráfico rodado), las variables tipo de pavimento y estado de la superficie de rodadura son añadidas; en este caso, este modelo incrementa la varianza explicada a 75 % (F-change = 63.34; $p < 0.05$). Además, cuando añadimos al modelo de predicción variables relacionadas con la pendiente de circulación y el tipo de superficie de circulación se obtiene un considerable incremento en el ajuste del modelo (r^2). El modelo 4, incluye el grupo de variables que describen la evolución de la energía sonora y, en este caso aparece un gran incremento

en la varianza explicada, 86 % (F-change = 97.72; $p < 0.01$) y, un importante descenso en el valor del error típico de la estimación, 1.46. Por lo tanto, la introducción de la evolución de la energía sonora en la metodología de cálculo produce un considerable incremento en la precisión del cálculo del parámetro L_{Aeq} , debido a que con este factor conseguimos incluir en la modelización la variabilidad temporal que sufre el nivel de presión sonora. En el modelo 5 (módulo de emisión sonora), se introducen las variables de caracterización del entorno urbano; este modelo incrementa el valor de la varianza explicada a 89.3 % (F-change = 111.71; $p < 0.01$) y reduce el error típico de la estimación, 1.28. Con este modelo conseguimos aumentar el valor de r^2 , lo cual indica la importancia de las variables relacionadas con la caracterización del entorno urbano para la realización de la caracterización sonora de la localización seleccionada. Finalmente, en el modelo 6, se incluye el módulo de propagación sonora; este modelo incrementa el ajuste del modelo (r^2), 0.901 (F-change = 110.09; $p < 0.05$). Además, la inclusión de este módulo genera que la varianza explicada por el total de variables seleccionadas es 90.10% y, es error típico de la estimación es 1.24.

Tabla 1 – Análisis de regresión múltiple de las variables de entrada para la obtención del L_{Aeq}

Modelo	Módulo	Grupo de variables	Variables independientes introducidas	Ajuste del Modelo (r^2)	Incremento de ajuste del modelo (r^2 -cambio)	F-change	Error típico de la estimación
1	Emisión sonora	Emisión sonora generada por el tráfico rodado	(log ₁₀) AFLV (log ₁₀) DFLV (log ₁₀) AFHV (log ₁₀) DFHV (log ₁₀) AFMM (log ₁₀) DFMM NVS AS	0.634	0.634	60.74	2.32
2			Variables anteriores + TS NAL NDL	0.731	0.097	68.38	2.00
3			Variables anteriores + TP CS	0.750	0.019	63.34	1.94
4		Evolución de la energía sonora	Variables anteriores + ST TTF ASET ASEnT	0.860	0.11	97.72	1.46
5		Caracterización del entorno sonoro	Variables anteriores + DP TE CW	0.893	0.033	111.71	1.28
6	Propagación sonora	Caracterización de la propagación sonora	Variables anteriores + SG SW SH WRW DSR	0.901	0.008	110.09	1.24

En vista de los resultados expuestos anteriormente, podemos verificar como una adecuada selección de variables puede generar la aparición de unos resultados bastante aceptables en la predicción del parámetro L_{Aeq} , consiguiendo explicar la varianza en un 90 %. Además, podemos observar que variables que caracterizan la evolución de la energía sonora tienen un gran impacto sobre el cálculo del descriptor L_{Aeq} , debido a que el nivel de presión sonora es sometido, dentro de los entornos urbanos, a grandes fluctuaciones, lo cual solamente puede ser explicado por la aparición de diferentes

tipo de flujos de circulación de vehículos y la aparición de eventos sonoros anómalos relacionados (y no relacionados) con el tráfico rodado (lo cual influyen en el valor del tiempo de estabilización).

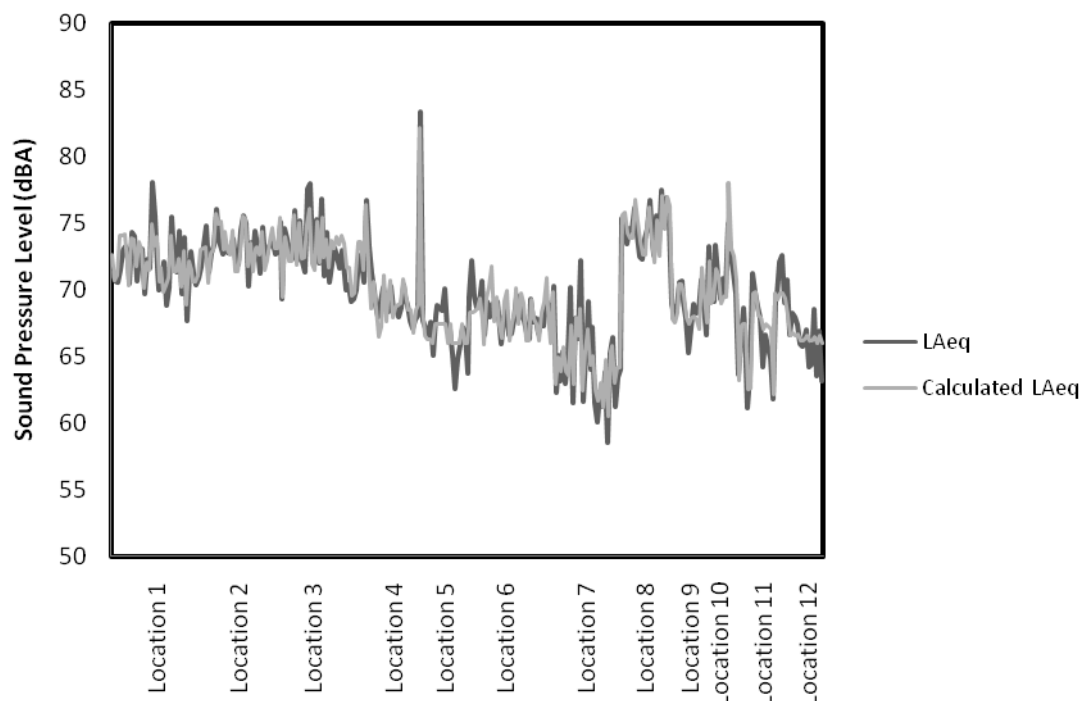


Figura 3 – Evolución del L_{Aeq} y del L_{Aeq} calculado para cada una de las localizaciones seleccionadas

Una vez que analizamos el impacto de las diferentes variables seleccionadas en el cálculo del descriptor L_{Aeq} , aplicamos el modelo propuesto a cada una de las localizaciones seleccionadas, obteniendo los resultados mostrados en la figura 3, donde podemos observar la evolución de los niveles del parámetro L_{Aeq} y del L_{Aeq} calculado, de manera que podemos verificar, como venimos comentando, que la exactitud de los resultados es bastante buena en todas las localizaciones seleccionadas. Por lo tanto, a la vista de los resultados obtenidos, podemos concluir que con el modelo de predicción propuesto, con la incorporación de todas las variables estudiadas en los módulos de emisión y propagación sonora, conseguimos incluir la gran heterogeneidad de situaciones acústicamente relevantes típicas de los ambientes urbanos, es decir, la estructura espacial y temporal de los paisajes sonoros urbanos.

4 Conclusiones

Este estudio ha demostrado que una adecuada selección de variables puede originar la aparición de un muy buen grado de precisión en la estimación del nivel de ruido ambiental a que está expuesta la población en los entornos urbanos. Además, la gran heterogeneidad de variables acústicamente relevantes presente en las aglomeraciones urbanas supone una gran dificultad a la hora de modelizar el nivel de ruido ambiental, por lo que es necesario solventar este problema por medio de la inclusión de la estructura temporal y espacial de los paisajes sonoros urbanos en la metodología de predicción del nivel de inmisión de energía sonora. Por lo tanto, el modelo propuesto incluye la variabilidad

temporal y espacial en su metodología de cálculo, lo cual le permite la consecución de unos resultados con gran precisión independientemente de la localización y el periodo en el cual se utilice.

Referencias

- [1] Scholes W.E. and Sargent J.W., Designing against noise from road traffic. *Applied Acoustics*, **4**, 203-234 (1971).
- [2] Favre B., Noise emission of road vehicles: evaluation of some simple models. *Journal of Sound and Vibration*, **91**, 571-582 (1983).
- [3] Gaja E., Gimenez A. and Sancho S., Sampling techniques for the estimation of the annual equivalent noise level under urban traffic conditions. *Applied Acoustics*, **64**, 43-53 (2003).
- [4] Alberola J., Flindell I.H. and Bullmore A.J., Variability in road traffic noise levels. *Applied Acoustics*, **66**, 1180-1195 (2005).
- [5] Griffiths I.D. and Langdon F.J., Subjective response to road traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, **8**, 16 (1968).
- [6] Botteldooren D., De Coensel B. and De Muer T., The temporal structure of urban soundscapes. *Journal of Sound and Vibration*, **292**, 105-123 (2006).
- [7] De Coensel B., Introducing the temporal aspect in environmental soundscapes research. Doctoral Thesis. ISBN 978-90-8578-133-2, (2007).
- [8] Kragh J., Plovsing B., Storeheier S.A., Taraldsen G. and Jonasson H.G., Nordic environmental noise prediction methods, Nord2000. Summary report. General Nordic sound propagation model and applications in source-related prediction methods. Technical Report AV 1719/01, DELTA Acoustics & Vibration, Lyngby, (2001).
- [9] De Vos P., Beuving M. and Verheijen E., Harmonoise - Harmonised Accurate and reliable methods for the EU Directive on the assessment and management of environmental noise. Final technical report – Deliverable 4 of the Harmonoise project HAR7TR-041213-AEAT03, (2005).
- [10] Torija A.J., Ruiz D.P. and Ramos A., A method for prediction of the stabilization time in traffic noise measurements. 19th International Congress on Acoustics, Madrid, (2007).
- [11] Torija A.J., Ruiz D.P. and Ramos A., Characterization of the different types of vehicles flow in traffic. 19th International Congress on Acoustics, Madrid, (2007).
- [12] Torija A.J., Ruiz D.P. and Ramos A., Obtaining of a factor to describe the anomalous sound events in traffic noise measurements. 19th International Congress on Acoustics, Madrid, (2007).
- [13] Biasi L., Castellano L., Colombo A., Lattanzi S. and Zambrini M.E., A code for the prediction of noise pollution due to urban traffic. 18th International Congress for Noise Abatement, Italy, (1995).