

Mejora de los datos de entrada en la realización de un mapa y sus efectos en la incertidumbre



*Miguel Ausejo, Manuel Recuero,
César Asensio, Ignacio Pavón
Centro de Acústica Aplicada
y Evaluación no Destructiva - CAEND (UPM-CSIC)
E-mail: mausejo@i2a2.upm.es*

PACS: 43.10.Lj; 43.50.Rq

Resumen

Debido a la existencia de recomendaciones europeas que establecen valores por defecto ante la ausencia de datos en el proceso de realización de un mapa de ruido [1], se ha evaluado la influencia de aplicar dichos valores en un caso concreto como es el mapa estratégico de ruido de Palma de Mallorca. Se compararon los resultados de la simulación tras aplicar dichos valores por defecto con niveles de ruido obtenidos mediante medidas experimentales y se analizaron las desviaciones para determinar la calidad del modelo. Después de obtener un primer resultado de calidad inaceptable, se ha cuantificado la mejora de los resultados tras la utilización de datos de entrada de mayor calidad al modelo acústico. Este análisis demuestra que el uso de datos por defecto, en ausencia de datos de entrada de mayor calidad, genera unos resultados con desviaciones superiores a los 9 dB. Consecuentemente, se obtuvieron nuevos datos de entrada al modelo con mayor calidad, analizando su efecto en la reducción de la incertidumbre del resultado final del mapa de ruido. El proceso de obtención de dichos datos consistió en el desarrollo de una actualización de los datos de tráfico con mayor número de datos de flujo; la implementación de una nueva categorización viaria; y la utilización de técnicas novedosas para la adquisición de composición y velocidad de tráfico.

Abstract

The influence of applying European default values to the making of a noise map was evaluated in a typical environment like Palma de Mallorca. These default values were compared with measured noise levels and the model was validated or rejected according to the deviations. After an

unacceptable initial result, quantification of improvements to the process has been performed. This analysis demonstrates that the use of noise source default data in the absence of specific data can generate deviations in excess of more than 9 dB. Consequently, additional data gathered were of higher quality and were collected using different techniques. Different methodologies were also examined for collecting model input data that would be of the highest possible quality, by analysing the improvement generated in the reduction in the uncertainty of the final result of the noise map. Improvements to the process consisted of a developing a new traffic network with current data, obtaining more experimental data with a greater geographical sampling of traffic, implementing a new road categorization system and using alternative techniques to obtain the composition and speed of traffic.

1. Introducción

Realizar un mapa de ruido mediante técnicas de simulación y validarlo con medidas experimentales implica muchos parámetros que afectan a la incertidumbre final del resultado. Las mayores fuentes de incertidumbre en un mapa de ruido se podrían clasificar en los siguientes grupos [1]:

- Medidas experimentales.
- Método Modelo de cálculo.
- Motor de cálculo (programa de predicción).
- Creación del modelo acústico.

En este artículo se cuantifica el proceso de mejora de la calidad de los datos relacionados con el modelo acústico; en concreto, los datos relacionados con el modelo de tráfico.

Tras realizar un primer análisis, se propuso y acordó con la Agenda 21 del Área de medio ambiente del Ayuntamiento de Palma de Mallorca el ámbito de estudio, centrándolo en las zonas habitadas, y excluyendo aquellas zonas que, perteneciendo al término municipal, no presentan densidades de población importantes, o las que debido a los usos del suelo asentados, no resultan especialmente sensibles al ruido. En la zona bajo estudio se incluirán como fuentes de ruido el tráfico rodado y el tráfico ferroviario, al no existir industrias de consideración en dicho ámbito.

2. Modelo inicial (Fase 1)

Se realizó una primera simulación con los datos disponibles que, tras la creación del mapa, resultaron ser deficientes. Los tramos viarios se incluyeron en el modelo acústico como una carretera con un único carril. Los datos de tráfico se obtuvieron mediante técnicas de macro-simulación [2] a partir de datos reales del año 2005 obtenidos mediante 32 espiras. Las espiras de tráfico se dispusieron en 17 cruces distribuidos por la ciudad. El único dato disponible fue el de Intensidad Media Diaria (IMD), lo que implica que se tuvieron que realizar estimaciones para introducir los datos necesarios en el modelo acústico [1].

Ante la ausencia de una gran cantidad de datos detallados para la creación correcta del modelo acústico, se aplicaron una serie de valores por defecto y recomendaciones europeas.

La asignación de categorías viales se realizó en base a los datos de IMD y a diferentes recomendaciones [1,3, 4], ajustándose a los siguientes tipos:

- “A”: Autopistas.
- “B”: Vías principales.
- “C”: Vías urbanas.

El modelo de tráfico suministrado, sólo contemplaba las calles más importantes. El resto de calles, aunque estaban digitalizadas, carecían de datos, por lo que se introdujeron valores por defecto [1]. De esta manera, se aplicaron valores por defecto a la inmensa mayoría de tramos viarios categorizados como “C” (vías urbanas).

Con respecto a la distribución horaria, basándose en los datos detallados de las espiras, se realizaron cálculos de la distribución día/tarde/noche y se obtuvieron datos promedio que fueron aplicados a la totalidad de la ciudad. Al coincidir de forma aproximada con los valores por defecto recomendados [1], se utilizaron estos últimos.

Dado que no se disponía de datos de velocidad de vehículos en absoluto, se realizaron estimaciones de velocidad efectiva en función del tipo de la vía utilizando los límites de velocidad [1].

La distribución de los vehículos ligeros y pesados se realizó basándose en el tipo de vía, ajustándose a los criterios recomendados internacionalmente [1]. Cada tipo de vía tiene asociado un porcentaje diferente para cada período de estudio y cada tipo de vehículo. Al no disponer de ningún dato al respecto, se emplearon los valores por defecto más conservadores, partiendo de la hipótesis de que dichos valores encajarán con el tipo de vía establecida.

3. Campaña de medidas (Fase 1)

Se realizó una campaña de medidas durante los meses de Julio y Agosto de 2006 en 4 puntos representativos de las categorías viales [4]. Esos puntos de control (Fig. 1) se eligieron teniendo en cuenta los datos reales de cada categoría de tráfico previamente establecida [3]. Las mediciones se llevaron a cabo durante 30 días de manera ininterrumpida, lo que aseguraba una muestra representativa [5]. Todas las medidas se llevaron a cabo bajo condiciones ambientales controladas, descartando cualquier dato obtenido en condiciones adversas debido a velocidad de viento elevada o lluvia [6].



Figura 1. Punto de control en el que se realizaron medidas de larga duración.

4. Validación del modelo de tráfico rodado (Fase 1)

Al comparar los valores simulados con los medidos se encontraron diferencias elevadas, con una diferencia máxima de 9,1 dB; una diferencia media de 7,0 dB y una diferencia mínima de 4,0 dB por encima de los valores medidos. El análisis de dicha comparación, reflejaba una incertidumbre de

$\pm 8,7$ dB con un factor de cobertura $k=2$ y un intervalo de confianza de 95.45% [7].

Al observar la recta de regresión de los pares de datos simulación-medida, se barajó la opción de calibrar el modelo, restando 7,0 dB a todas las fuentes lineales de ruido; sin embargo, dicha opción fue descartada dado que las desviaciones tan elevadas revelaban errores y carencias en el modelo de simulación. Por lo tanto, tras hacer un análisis complejo de todo el modelo acústico, se decidió realizar un proceso de mejora de los datos más sensibles y menos precisos: los de la fuente de ruido [8, 9]. Por lo tanto, se mejoraron los datos relacionados con el modelo de tráfico, dado que los referentes a los obstáculos acústicos y la propagación eran de la calidad requerida.

5. Mejora de los datos de entrada para el modelo de tráfico (Fase 2)

El Departamento de Movilidad proporcionó un nuevo modelo de tráfico con datos actualizados de 2007 y coherentes con las medidas puntuales de las espiras repartidas por la ciudad. Se limpiaron tramos duplicados y errores existentes en el anterior modelo de tráfico. Adicionalmente, se desdoblaron los ejes centrales en las Avenidas principales para cada sentido de circulación.

Para complementar los datos de tráfico de mejor calidad, se realizó una nueva categorización de los ejes viarios, basándose en la siguiente información:

- Rutas de autobuses.
- Mapas principales.
- Fotografías aéreas.
- Intensidad Media Diaria del nuevo modelo de tráfico.

Para evitar saltos y discontinuidades en los niveles de ruido debidos a errores en la categorización, se comprobó detalladamente la continuidad de categorías viales.

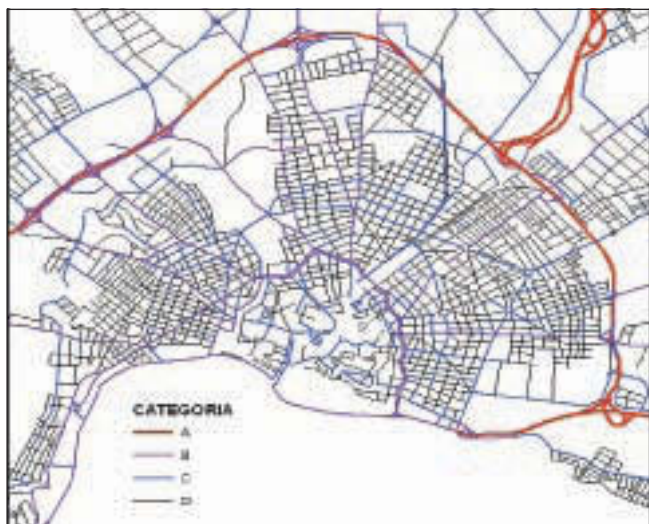


Figura 2. Nueva categorización de ejes viales.

La nueva categorización de ejes viales (Fig. 2) se estableció de la siguiente manera:

- Vía de Cintura y Autopistas.
- Paseo marítimo y rutas de la EMT.
- Vías principales.
- Vías pequeñas.

Para realizar la distribución horaria de los vehículos se contó con datos actualizados de 2007 de más de 100 espiras repartidas por toda la ciudad. Sin embargo, dichos datos no diferenciaban entre vehículos ligeros y pesados.

Para determinar los datos necesarios con respecto a la distribución del tráfico, se barajaron varios métodos. Uno de los más precisos es el llamado Weigh-In-Motion (WIM) [10] que consiste en utilizar placas con elementos piezoeléctricos que determinan el peso del vehículo. Sin embargo, debido al coste económico que presentan todos los sistemas de determinación de peso de vehículos, ante la ausencia de datos necesarios para realizar el mapa de ruido y siendo uno de los datos más sensibles [1, 9], se realizó un conteo manual. Para optimizar tiempo, dinero y precisión, se optó por realizar visionados de las cámaras del Departamento de Movilidad en los viales representativos de las categorías anteriormente establecidas (Figura 3).

Se establecieron 6 tramos horarios que caracterizarían los periodos horarios bajo estudio (día, tarde y noche). Se obtuvieron unos datos con una tendencia convergente y, por lo tanto, muy representativa para todos los puntos y todos los tramos horarios, por lo que se comprobó que el tiempo de muestreo era adecuado. Además de estos datos, se contó con los datos oficiales del número de autobuses que circulaban por las rutas de la ciudad, pudiendo así, determinar un porcentaje de vehículos ligeros y pesados muy preciso para todas las categorías viales (Tabla 1).



Figura 3. Localización de los puntos de control del Departamento de Movilidad.

Tabla 1. Nuevo porcentaje de los vehículos pesados para cada categoría vial y cada período de estudio

Categoría	Veh. pesados Día (07 – 19 h)	Veh. pesados Tarde (19 – 23 h)	Veh. pesados Noche (23 – 07 h)
“A”	15%	10%	5%
“B”	10%	6%	3%
“C”	5%	2%	1%
“D”	2%	1%	0%

A pesar de la existencia de recomendaciones internacionales [10] que determinan una precisión del 5% en la distribución de los vehículos pesados, al establecer porcentajes más precisos, se disminuirá la incertidumbre asociada de 2 dB a dicho dato de entrada.

Dado que ha quedado patente en varios estudios [1, 9, 13] que el dato de la velocidad de los vehículos es el más influyente en la calidad de los resultados del mapa de ruido, se consideró imprescindible mejorar la calidad de los datos disponibles para mejorar el modelo acústico final. Además, teniendo en cuenta que para bajas velocidades y altas aceleraciones, generalmente desarrolladas en cascos urbanos, se necesitan valores de mayor precisión, se barajaron varias soluciones propuestas internacionalmente [10].

Finalmente, el método escogido para obtener los datos de velocidad se basó en la técnica GPS llamada vehículo flotante, por razones de coste, tiempo y calidad de los datos [10, 11, 13].

La precisión de esta técnica depende de varios factores [11]:

- El número visible de satélites en la zona bajo estudio.
- Los errores generados durante la transmisión del satélite.
- El tipo y precisión del dispositivo GPS utilizado.
- La precisión de la transformación de coordenadas.

El dispositivo utilizado dispuso de una cobertura mínima en todos los puntos de 3 satélites y una resolución mínima de 5 metros. El registro de datos de la unidad GPS se puede realizar en tiempo (cada x segundos) o en distancia (cada x metros). Se eligió un almacenamiento de puntos según la distancia recorrida por varias razones:

- Cada punto deberá tener la misma importancia, ya que corresponden a tramos de la misma longitud.
- Cada tramo de eje viario cuya longitud sea superior a la distancia entre puntos deberá asociarse con, al menos, un punto.
- Ajustando la distancia entre puntos adecuadamente, cada tramo vial se puede asociar con varios puntos.

Se realizaron medidas durante 6 días durante los tres períodos horarios (día, tarde y noche) a lo largo de varias vías de todas las categorías acústicas definidas con anterioridad. Para realizar la conducción, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Diferentes conductores deben realizar las mismas rutas.
- Las rutas deben realizarse varias veces por cada tramo horario y por cada conductor.
- Deben evitarse condiciones de tráfico en hora punta.

Los puntos almacenados por el dispositivo GPS se volcaron a un sistema SIG y se integraron dentro del modelo (Fig. 4).

Tras analizar los datos obtenidos, se realizó una ampliación a la categorización vial para establecer la velocidad, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Nuevos datos de velocidad en función de las categorías viales

Período	Velocidad (km/h)
Autopistas	100
Vía de Cintura	90
Paseo Marítimo	70
“B”	50
“C y D”	40

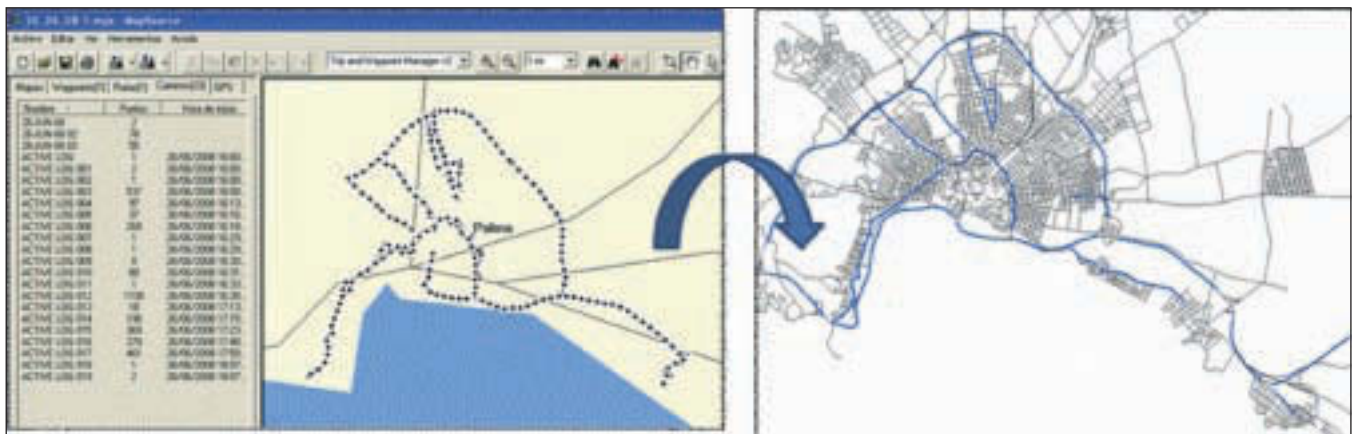


Figura 4. Localización e integración de los datos GPS en el modelo acústico (GIS).

Aries valora el silencio

Expertos en acústica y vibración

ARIES ofrece un amplio abanico de soluciones para vibración y acústica, incluidas formación, consultoría, equipos y soluciones llave en mano. Garantizadas por un equipo de profesionales altamente cualificados y con el respaldo de varios años de experiencia y conocimiento.

Más información sobre ARIES y las soluciones de acústica y vibración de la compañía en:



www.aries.com.es
acustica@aries.com.es

OFICINA CENTRAL

Pº Castellana, 130 28046 Madrid, ESPAÑA
Tel.: +(34) 915 70 27 37
Fax: +(34) 915 70 27 66

CENTRO DE INGENIERÍA

Avda. Vía Láctea, 1 28830
San Fernando de Henares, Madrid, ESPAÑA
Tel.: +(34) 916 78 20 90
Fax: +(34) 916 77 11 85

OFICINA ESTADOS UNIDOS

505 Montgomery Street, 10th floor,
San Francisco, CA 94111, USA
Tel.: +(1) 415 874 37 33
Fax: +(1) 415 874 37 34

OFICINA CHINA

Silver Centre 1388 Shaan Xi North Road
Shanghai, 200060, CHINA
Tel.: +(86) 216 149 83 35
Fax: +(86) 216 149 81 30

6. Validación del modelo de tráfico rodado (Fase 2)

Para realizar la campaña de validación del nuevo modelo de tráfico rodado mediante medidas experimentales, se instalaron 4 estaciones de medida durante dos semanas entre los meses de Junio y Julio de 2008. Adicionalmente, se realizaron medidas de control de corta duración en 11 puntos. Dichas mediciones de corta duración se ubicaron en puntos estratégicos pertenecientes a todas las nuevas categorías establecidas en las que se disponía de datos reales de tráfico obtenidos mediante espiras.

Con la creación del nuevo modelo de tráfico, se obtuvo una desviación entre los valores medidos y los simulados de $\pm 2,1$ dB, con una incertidumbre expandida [13] de 4,1 dB para un factor de cobertura $k=2$ y un intervalo de confianza de 95,45% [7], como se puede observar en la Figura 5.

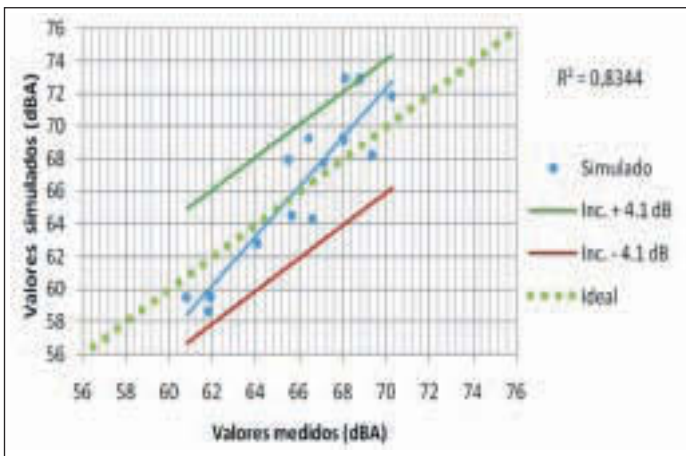


Figura 5. Validación del nuevo modelo de tráfico.

Aunque los valores de incertidumbre expandida obtenidos para el nuevo modelo de tráfico fueron más que aceptables [14], se halló un error sistemático entre los valores medidos y los simulados para los diferentes períodos

de evaluación (día/tarde/noche). Por esta razón, se calibró el modelo, corrigiendo los errores en cada periodo [8], lo que mejoró considerablemente la calidad del resultado final, obteniendo un valor de incertidumbre expandida de $\pm 1,7$ dB.

7. Conclusiones

La mejora del proceso de creación del mapa de ruido se debe única y exclusivamente a la utilización de una fuente de ruido de tráfico de mejor calidad, mientras que se ha mantenido la calidad y el procesado del resto de datos relacionados con las barreras acústicas, edificios y cartografía. Es de especial importancia la obtención de los datos de velocidad efectiva de los vehículos mediante las técnicas empleadas, al igual que la contribución de los vehículos en función del peso, dado que estos datos de entrada son los más influyentes [1].

En la Tabla 3 se muestran los resultados de los dos modelos calculados. En ella se muestra la incertidumbre estimada por la GPG para cada dato de entrada [1, 14] y la incertidumbre expandida calculada.

Referencias

- [1] 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, Version 2; August 2007.
- [2] Development of strategies for the use of traffic models for noise mapping and action planning. IMAGINE Report IMA02TR-060131-UGent10, 31 January 2006.
- [3] Romeu, J.; Jiménez, S.; Genescà, M.; Capdevila, R. Spatial sampling for night levels estimation in urban environments. Journal of the Acoustical Society of America, 120 (2006), 791-800, 2006.

Tabla 3. Comparación entre los dos modelos y la incertidumbre estimada por la GPG para cada dato de entrada				
Dato de entrada	Modelo Inicial		Modelo final	
	Calidad de los datos	Incertidumbre por la GPG	Calidad de los datos	Incertidumbre por la GPG
Datos de tráfico	Datos iniciales (2005)	--	Datos finales (2007)	--
Categorización de ejes viarios	3 categorías	--	4/5 categorías	--
Distribución horaria	Valores por defecto	1 dB	Valores de las espiras	< 0,5 dB
Tramos sin datos de tráfico	Valores por defecto	4 dB (local)	Aproximación por semejanza de categoría	2 dB (local)
Ligeros/pesados	Valores por defecto	2 dB	Grabaciones de cámaras	< 0,5 dB
Digitalización ejes viarios	1 eje central	3 – 5 dB	2 ejes en Avenidas Principales	1 – 3 dB (local)
Velocidad	Límite de velocidad	2 dB	Datos vehículo flotante	< 0,5 dB
U_{total} determinada	8,7 dB		4,1 dB (antes de calibrar) 1,7 dB (después de calibrar)	

- [4] Barrigón, J. M.; Gómez, V.; Méndez, J. A.; Vílchez-Gómez, R.; Vaquero, J. M.; Trujillo, J. A categorization method applied to the study of urban road traffic noise. *Journal of the Acoustical Society of America* 117 (5), May 2005.
- [5] Kuehner, D. Long-term Leq errors expected and how long to measure (Uncertainty and noise monitoring). *Forum Acusticum*. Budapest, Hungary. 2005.
- [6] ISO 1996-2, International Organization For Standardization. Acoustics - Description and measurement of environmental noise. Part 2: Acquisition of data pertinent to land use. ISO 1996-2:1987. Ginebra: ISO. 1987.
- [7] JCGM 100: 2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement. Évaluation des données de mesure - Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure. JCGM, 2008.
- [8] Van Leeuwen, H. Noise maps and action plans - Relations to accuracy, validation and annoyance. *Euronoise* 2006. Tampere, Finland, 2006.
- [9] Shilton, S.; Van Leeuwen, H.; Nota, R. Error propagation analysis of XPS 31-133 and CRTN to help develop a noise mapping data standard. *Forum Acusticum*. Budapest, Hungary. 2005.
- [10] Development of strategies for the use of traffic models for noise mapping and action planning. *IMAGINE Report IMA02TR-060131-UGent10*, 31 January 2006.
- [11] Improved methods for the assessment of the generic impact of noise in the environment. *Collection Methods for Additional data. IMAGINE Report IMA02TR-060525-UL10*, 25 May 2006.
- [12] Asensio, C.; López, J. M.; Pagán, R.; Pavón, I.; Ausejo, M. GPS-based speed collection method for road traffic noise. *Transportation Research Part D* 14 (2009) 360–366.
- [13] Ausejo, M; Recuero, M.; Asensio, C.; Pavón, I.; López, J.M. Study of Precisión, Deviations and Uncertainty in the Design of the Strategic Noise Map of the Macrocenter of the City of Buenos Aires, Argentina. *Environmental Modeling and Assessment* (2010) 15:125–135.
- [14] Department for Environment, Food and Rural Affairs. Quantified Accuracy of GPG Toolkits. Research Project NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide And The Implications For Acoustic Accuracy. *DGMR V.2004.1300.00.R011.1*. UK, May, 2005.