

ESTUDIO DEL RUIDO URBANO DE VALDIVIA (CHILE) A TRAVÉS DE DIFERENTES MÉTODOS DE MUESTREO: CUADRÍCULA Y CATEGORIZACIÓN

PACS: 43.50.Sr

Rey Gozalo, G.¹; Suárez Silva, E.²; Barrigón Morillas, J.M.¹; Gómez Escobar, V.¹

¹ Universidad de Extremadura, Escuela Politécnica, Dpto. de Física Aplicada

Avda. de la Universidad s/n

10071 Cáceres. Spain

Tel.: +34 927 257 195. Fax: +34 927 257 203

E-mails: guille@unex.es; barrigon@unex.es; valentin@unex.es.

² Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Instituto de Acústica
Campus Miraflores, Valdivia, Chile

Tel.: +56 63 221 339. Fax: +56 63 221 338

E-mail: enriquesuarez@uach.cl.

ABSTRACT

Currently, calculation methods using computer software are extensively used in noise mapping; nevertheless, they require "*in situ*" measurements to verify their results. This study presents an analysis and comparison of the results of the noise study of the Valdivia town using different sampling methods based on "*in situ*" measurements: grid and categorization methods. Both sampling method showed a average global Leq,d higher than 65 dBA and with a difference higher than 3 dBA.

RESUMEN

Actualmente, los métodos cálculo mediante software informático se han generalizado en la elaboración de mapas de ruido, a pesar de ello, necesitan de medidas "*in situ*" para verificar sus resultados. En este trabajo se presenta un análisis y comparación de los resultados obtenidos del estudio del ruido urbano de Valdivia empleando diferentes métodos de muestreo basado en medidas "*in situ*": cuadrícula y categorización. Ambos métodos presentan un Leq,d medio global superior a 65 dBA y con una diferencia superior a 3 dBA.

1.- INTRODUCCIÓN

La contaminación sonora es un problema medioambiental presente en las ciudades en las que habitamos y cuyos efectos son cada vez más evidentes [1]. Multitud de estudios y acciones se están abordando en este sentido, con el fin de intentar frenar las consecuencias negativas de este contaminante medioambiental. Todos estos estudios y acciones dependen directa o indirectamente del conocimiento de la situación acústica presente. Para ello, existen diferentes métodos de muestreo y de cálculo cuyo resultado es la construcción de un mapa de ruido. Eso sí, la elección y aplicación de una correcta metodología va a ser fundamental en la veracidad de los resultados obtenidos.

Actualmente, los métodos de cálculo mediante software informático se han generalizado en la construcción de mapas de ruido e independientemente de sus ventajas e inconvenientes con

respecto a los métodos de muestreo basados en medidas “*in situ*”, necesitan de éstos para verificar los resultados obtenidos [2]. Por lo tanto, al igual que indicábamos en el párrafo anterior, es importante la elección y aplicación, en este caso, de un correcto método de muestreo.

En este sentido, el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Extremadura, ha centrado gran parte de sus investigaciones en el análisis y desarrollo de diferentes métodos de muestreo, entre ellos, el método de cuadrícula y el método de categorización. El método tradicional de cuadrícula, tradicional porque ha sido y es uno de los métodos de muestreo más utilizados en la elaboración de mapas de ruido, está recogido en la ISO 1996-2: 2007 [3] y el método de categorización, método diseñado por el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Extremadura [4]. En ediciones anteriores del *Tecniacústica* [5-6] y en recientes publicaciones realizadas en revistas especializadas en este ámbito [7-8] se muestran algunos de los últimos resultados obtenidos de esta línea de investigación.

Tomando esta idea, para el presente trabajo, se decidió analizar y comparar los resultados obtenidos del estudio de ruido de la ciudad de Valdivia (Chile), en la cual, se aplicaron el método de cuadrícula [9-10] y el método de categorización.

Valdivia es una ciudad localizada al sur de Chile, capital de la Región de los Ríos, que se encuentra a unos 841 km de la capital del país, Santiago. Según el censo nacional, realizado en el año 2002 por el Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, Valdivia es el decimotercero núcleo urbano más poblado del país con 127 750 habitantes. Está emplazada en la confluencia de los ríos Calle-Calle, Valdivia - Cau-Cau y el río Cruces, y se encuentra a 15 km de la bahía de Corral. Valdivia presenta, dentro de sus principales actividades económicas, la industria de la construcción naval, maderera, papelera, cervecera, molinera, y una planta de celulosa. El turismo desempeña un papel importante, como también los servicios educativos universitarios, encabezados por la Universidad Austral de Chile - UACH.

De forma concisa, los principales objetivos que se plantearon en este trabajo fueron los siguientes:

- Analizar la situación acústica de la ciudad de Valdivia durante el periodo diurno a través de los métodos de muestreo de cuadrícula y de categorización.
- Estudiar el funcionamiento y comparar los resultados obtenidos por ambos métodos de muestreo.

2.- METODOLOGÍA

2.1.- Método de cuadrícula

El método de cuadrícula es un muestreo sistemático al azar, en el cual se muestrean aleatoriamente los puntos que se localizan en los vértices o puntos de intersección de las rectas que forman la retícula superpuesta sobre el mapa o plano de la zona a estudiar. Las celdas que forman dicha retícula, generalmente, son de forma cuadrada y de un tamaño que va a variar en función de los objetivos del estudio: menor tamaño de celda supone un mayor número de puntos de muestreo y por lo tanto un mayor coste. También, en la elección del tamaño de celda, hay que tener en cuenta las indicaciones de la ISO 1996-2: una nueva medida es recomendable que deba ser realizada en un punto intermedio si las medidas en los dos puntos adyacentes difieren en más de 5 dB.

Este método fue realizado en el año 2000 por Sommerhoff [10-11], en la cual utilizó, un tamaño de celda de 400 m (excepto en algunos sectores del centro que se utilizó un tamaño de celda de 200 m), resultando un total de 115 puntos de muestreo, los cuales aparecen representados en la Figura 1. En cada punto de medida, para el periodo diurno, se llevaron a cabo 3 medidas sonoras realizadas en días laborables bajo las condiciones descritas en la norma ISO 1996-2: 1987 [12]

2.2.- Método de categorización

Este método de muestreo se basa en estratificar las calles según su utilidad como medio de comunicación entre las diferentes zonas de la ciudad o entre la ciudad y otros núcleos urbanos u otras zonas del territorio. Esta categorización se realizó en el año 2010 en base a las siguientes definiciones:

- Categoría 1: Vías de utilización preferente para comunicar la ciudad con otras zonas peninsulares (carreteras, para ciudades del tipo estudiado, de carácter nacional) y para intercomunicar estas vías entre ellas a través de la zona urbana (en general, serán vías de dirección indicada o señalizada)
- Categoría 2: Vías urbanas que dan acceso desde las de la categoría anterior a nodos de distribución principales de la ciudad. También se incluyen en esta categoría las vías que son usadas de forma alternativa a las de la categoría anterior dada la saturación que éstas pueden presentar en muchas ciudades
- Categoría 3: Se incluyen en ella, por un lado, las vías que comunican la ciudad con otras zonas regionales (carreteras, por tanto, de carácter regional o comarcal) y, por otro, las vías urbanas que dan acceso desde las anteriores a centros de interés o que comunican, de forma clara, las anteriores entre sí.
- Categoría 4: Vías de intercomunicación entre las anteriores. Además, se incluyen en esta categoría, las principales vías de los diferentes barrios que no han sido incluidas en categorías previas.
- Categoría 5: Se incluyen en ella, todas las calles de la ciudad (excepto las peatonales) que no han sido incluidas en las categorías anteriores.

Una vez estratificadas las diferentes calles de la ciudad, en cada una de las categorías, se seleccionaron al azar 10 puntos de muestreo. De esta manera, todos los tipos de calles, desde grandes avenidas a pequeñas calles de barrio son muestreadas, permitiendo, por tanto, obtener una idea de la situación general de la ciudad. En la Figura 1, se muestran con distintos colores las diferentes vías estratificadas y los diferentes puntos muestreados; un total de 50 puntos. En cada punto de medida se realizaron 3 medidas durante el periodo diurno siguiendo las recomendaciones descritas en la ISO 1996-2: 2007.

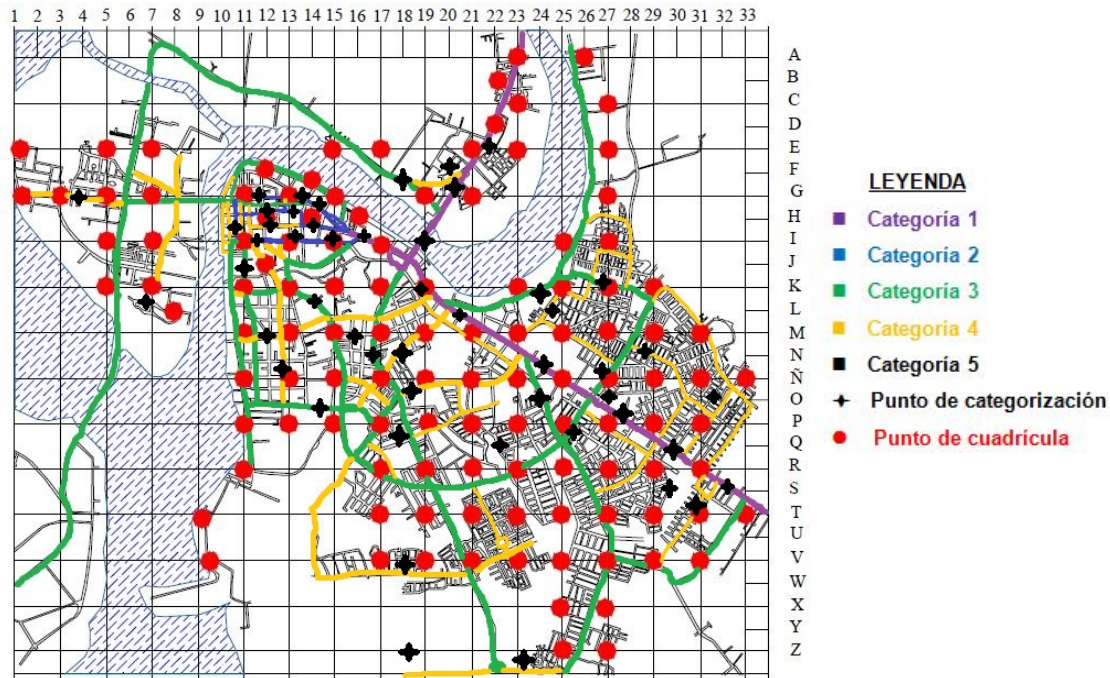


Figura 1.- Mapa de Valdivia con los diferentes puntos muestreados en las distintos métodos de muestreo.

Ambos métodos de muestreo se llevaron a cabo con una diferencia temporal de 10 años aproximadamente, por lo tanto, en la Figura 1, aparece un punto de categorización en una zona no urbanizada en el año 2000 pero que en el año 2010 si lo está.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar, con el propósito analizar la situación acústica de la ciudad de Valdivia durante el periodo diurno, en la Figura 2, se muestran sendos diagramas de barras con la distribución estadística de los valores de los niveles sonoros detectados en los distintos puntos muestreados por ambos método de muestreo.

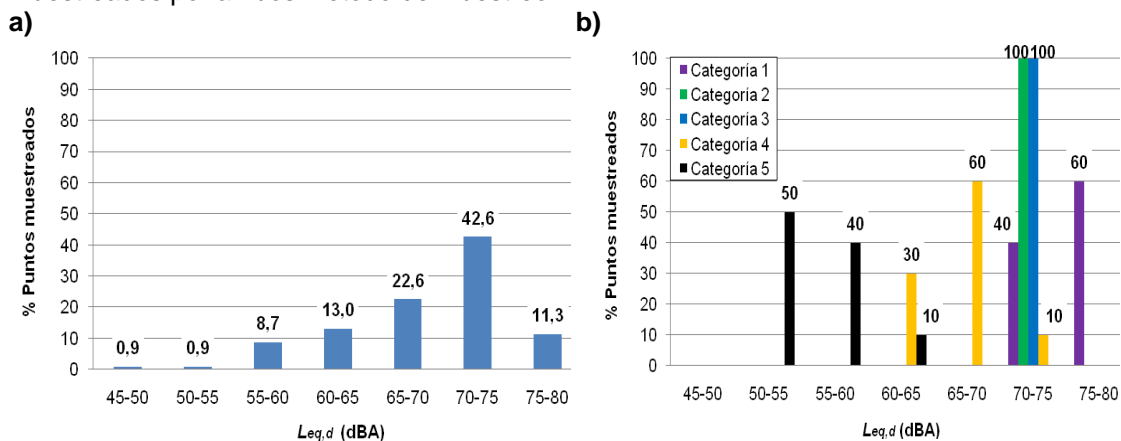


Figura 2.- Diagrama de barras del Leq,d (dBA) registrado en los puntos muestreados por el método de cuadrícula (a) y por el método de categorización (b)

Atendiendo a la Figura 2 a), más de la mitad de los puntos muestreados por el método de cuadrícula durante el periodo diurno presentan un Leq,d superior a los 70 dBA. Este valor también es superado por los puntos muestreados dentro de la categoría 1, 2 y 3 [Figura 2 b)]. Por lo tanto, nos encontramos con una ciudad, a pesar de poseer un tamaño poblacional mediano, con unos niveles sonoros que pueden presentar serios riesgos para la salud.

Ahora bien, si comparamos los valores sonoros registrados con diferentes valores de referencia propuestos por organismos internacionales:

- $L_{eq,d} > 50$ dBA (considerado como molestia moderada por la Organización Mundial de la Salud [13]): El 99,1% y el 100% de los puntos muestreados por el método de cuadrícula y de categorización, respectivamente, superan dicho valor. Un sólo punto muestreado por el método de cuadrícula presentó un valor en el rango de 45-50 dBA.
- $L_{eq,d} > 55$ dBA (considerado como molestia grave por la Organización Mundial de la Salud [13]): El 98,2% de los puntos muestreados por el método de cuadrícula superan el valor de referencia considerado por la OMS como molestia grave durante el periodo diurno. El 100% de los puntos muestreados en las categorías 1, 2, 3 y 4 superan este valor, mientras que en la categoría 5, categoría con una extensión del 77% del total de longitud de las vías de la ciudad, un 50% de los puntos muestreados presentan un nivel sonoro inferior.
- $L_{eq,d} > 65$ dBA (valor límite de acuerdo a la OECD [14]): El 76,5% de los puntos muestreados por el método de cuadrícula supera este valor durante el periodo diurno mientras que los puntos muestreados por el método de categorización, el 100% de los puntos de la categoría 1, 2 y 3 y el 70% de los puntos de la categoría 4 superan este valor sonoro.

A continuación, como complemento al análisis anterior, en la Figura 3, se muestran los valores sonoros registrados en los distintos porcentajes de superficie (obtenidos de los resultados del método de cuadrícula) y de longitud de vías evaluadas (obtenidos de los resultados del método de categorización).

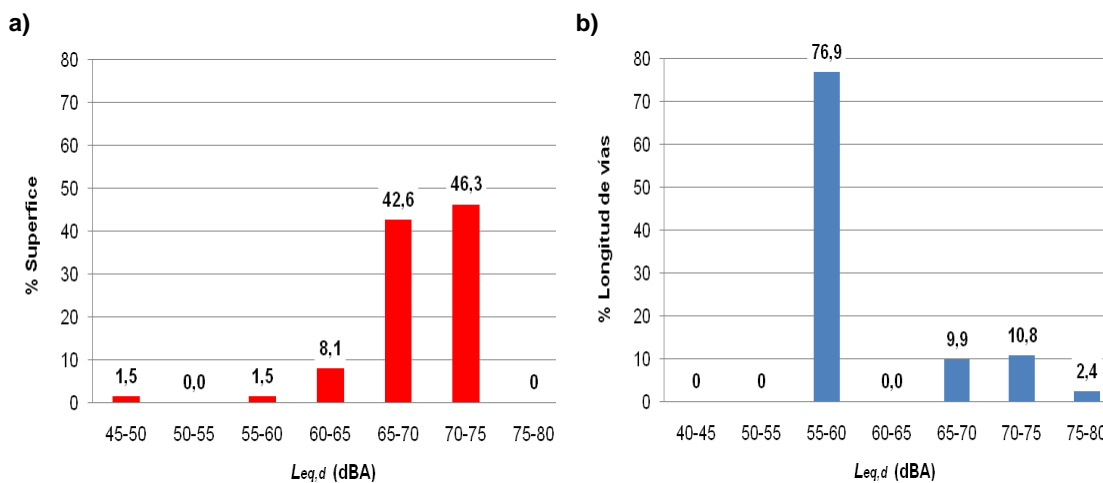


Figura 3.- Diagrama de barras del $L_{eq,d}$ (dBA) registrado en la superficie evaluada por el método de cuadrícula (a) y en la longitud de las vías evaluada por el método de categorización (b)

Con respecto al método de cuadrícula, Figura 3a) el 88,9% de la superficie evaluada presentó un valor de $L_{eq,d}$ superior a 65 dBA, considerado unos niveles sonoros seriamente perjudiciales para la salud [1,14]. Del mismo modo, Figura 3b), un porcentaje significativo de las vías evaluadas por el método de categorización presentan niveles superiores a 65 dBA: 23,1%. Por lo tanto, al igual que concluíamos en la discusión de los resultados mostrados en la Figura 1, la ciudad de Valdivia tanto en el año 2000 como en el año 2010 presenta niveles sonoros que pueden resultar perjudiciales para la salud.

Una vez analizado la situación acústica de la ciudad de Valdivia para los años 2000 y 2010, el siguiente objetivo que nos planteamos fue el de analizar el funcionamiento de ambos métodos en la ciudad de Valdivia.

En el método de cuadrícula, la selección del tamaño de la rejilla influye en la variación del ruido entre puntos. La norma ISO 1996-2 [3,12] establece que, en general, la diferencia de niveles entre puntos adyacentes no debería ser mayor a 5 dB. Sin embargo, está claro que el tamaño de rejilla influye enormemente en el número de puntos a medir, y por lo tanto, en el coste del estudio. En este estudio se utilizó una rejilla de 400 m, tamaño que se consideró un compromiso aceptable entre precisión y número de puntos a medir. Sin embargo, en algunos sectores que si lo aconsejaban se establecieron puntos de medición adicionales en el centro de la rejilla, formando así rejillas de casi 200 m. A pesar del número de puntos evaluados, un total de 115 puntos de muestreo, si se analizan las diferencias entre puntos adyacentes, observamos que en 56 de los casos esta diferencia es superior a 5 dB, tal y como viene mostrado en la Figura 4. Por lo tanto, si siguiéramos las recomendaciones de las ISO 1996-2, tendríamos que realizar mediciones en 56 nuevos puntos. Este hecho es bastante discutible, pues según muestran los resultados obtenidos en otros estudios [15], una disminución del tamaño de celda no siempre implica que la diferencia entre puntos adyacentes sea inferior a 5 dB.

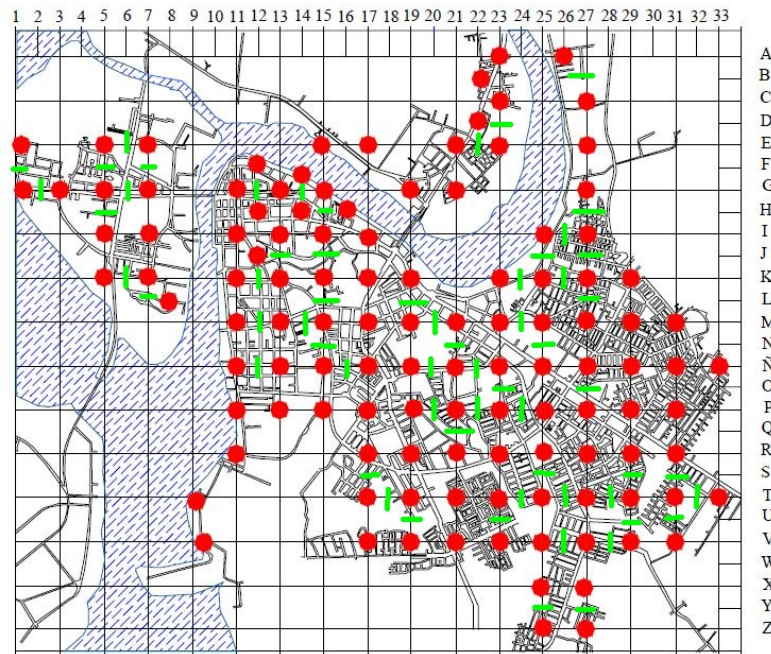


Figura 4.- Mapa de Valdivia en el cual se indican las diferencias en los valores sonoros entre puntos de cuadrícula adyacentes superiores a 5 dB.

En el método de categorización, para que la categorización sea correcta o para que las categorías definidas se comporten como tal, es decir, como estratos independientes, deben existir diferencias significativas entre ellas. Para ello, se ha llevado a cabo un análisis descriptivo de la mediana y de los valores máximos y mínimos a través de un diagrama de cajas y bigotes que se muestra en la Figura 5.

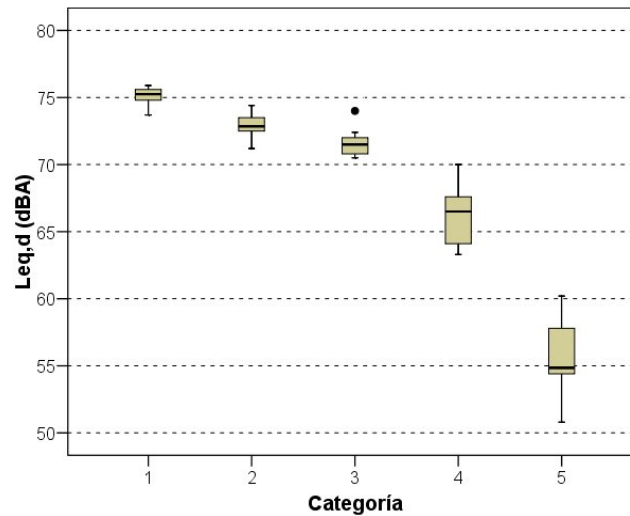


Figura 5.- Diagrama de cajas y bigotes de los valores registrados en los puntos muestreados por el método de categorización

En el diagrama de cajas y bigotes mostrado en la Figura 5, se observa que no hay solapamientos entre las distintas categorías, excepto un único “valor extremo” registrado en la categoría 3. La diferencia del nivel sonoro anómalo con respecto a los puntos muestreados dentro de su misma categoría, se debió a la influencia del mal estado del pavimento.

Finalmente, dentro del último objetivo planteado, comparamos la situación sonora resultante por ambos métodos de muestreo realizados con una diferencia temporal de aproximadamente 10 años. Para esta comparación se va a valorar el nivel sonoro global de la ciudad [16].

En el cálculo del valor global de la ciudad se ha obtenido, en el caso del método de cuadrícula, como una media aritmética de los valores sonoros registrados en los distintos puntos muestreados y, en el caso del método de categorización, como una media ponderada, en función del porcentaje de longitud de la categoría y de los valores medios sonoros registrados en cada categoría (Tabla 1).

| Categoría | % Longitud de vías | <i>Leq,d</i> promedio (dBA) |
|-----------|--------------------|-----------------------------|
| 1 | 2,4 | 75,0 |
| 2 | 1,2 | 72,9 |
| 3 | 9,6 | 71,6 |
| 4 | 9,9 | 66,5 |
| 5 | 76,9 | 55,9 |

Tabla 1.- *Leq,d* promedio y % de longitud de vías de cada una de las categorías de Valdivia

Así, para el caso del método de cuadrícula el *Leq,d* medio global de la ciudad de Valdivia sería de 68,8 dBA y en el caso del método de categorización sería de 65,5 dBA. Si comparamos estos valores medios globales con los obtenidos en otras ciudades españolas de similar tamaño poblacional, observamos que, por ejemplo, en el caso de Badajoz, ciudad con una población aproximadamente igual (140.000 habitantes) y cuyo estudio se realizó en el año 1999, se obtiene un nivel sonoro medio global similar al obtenido para el método de cuadrícula: 67,8 dBA [16].

Por último, si calculamos la diferencia de los niveles medios globales de ambos métodos de muestreo, obtendríamos un valor superior a 3 dBA, que quizás pueda deberse a los cambios tanto en el pavimento como en el parque automovilístico que han sido significativos entre los años que separan la aplicación de ambas metodologías de muestreo. La diferencia tan grande

entre las muestras de los dos procedimientos, entendemos que no permite realizar un estudio detallado de la predicción de ambos métodos de muestreo, tal y como se llevó a cabo en el reciente trabajo publicado en la ciudad de Cáceres [8].

En resumen, la ciudad de Valdivia ha experimentado según los resultados globales obtenidos por ambos métodos de muestreo, una disminución de los niveles sonoros en los últimos 10 años. Aún así, los niveles sonoros obtenidos son bastantes elevados como para ser tenidos en cuenta a pesar de ser una ciudad de tamaño medio en términos poblacionales.

4.- CONCLUSIONES

De este estudio, de acuerdo a los objetivos principales planteados, podemos destacar las siguientes conclusiones:

- La ciudad de Valdivia con un tamaño poblacional medio presenta, según el análisis sonoro realizado por el método de cuadrícula y categorización, un 88,9% de su extensión y un 23,1% de la longitud total de sus vías, respectivamente, un $L_{eq,d}$ superior a 65 dBA, considerándose niveles que atentan gravemente sobre la salud.
- Ambos métodos de muestreo presentan una diferencia en el $L_{eq,d}$ medio global superior a 3 dBA, quizás debido a las mejoras en el pavimento de las vías y a la modernización del parque automovilístico experimentado en Valdivia los últimos años.

5.- AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a las diferentes entidades financiadoras, que sin su ayuda no hubiera sido posible realizar el presente trabajo: Grupo Banco de Santander [Ayuda para estancias breves en centros de investigación (Acción IV del Plan de Iniciación a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación, UEx 2010)], y a la Junta de Extremadura, Consejería de Economía, Comercio e Innovación y al Fondo Social Europeo. Del mismo modo, también expresar unas palabras de agradecimiento al Instituto de Acústica de la Universidad Austral de Chile y a los estudiantes de la asignatura de Acústica Ambiental.

6.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] World Health Organization (2011). Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe.
- [2] WG-AEN (European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise), 2007. Good practice guide for strategic noise mapping and the production associated data on noise exposure. Position Paper 2.
- [3] ISO 1996-2: 2007 (2007). Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedures. International Organization for Standardization, Switzerland.
- [4] Barrigón Morillas, J. M., Gómez Escobar, V., Méndez Sierra, J. A., Vílchez Gómez, R., & Trujillo Carmona, J. (2002). An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. Applied Acoustic, 63, 1061-1070.
- [5] Rey Gozalo, G. (2008). Comparación de la situación acústica de dos localidades transfronterizas: El caso de Olivenza (España) y de Campo Maior (Portugal). Coimbra.
- [6] Rey Gozalo, G., Barrigón Morillas, J. M., Gómez Escobar, V., Carmona del Río, F. J., Vílchez-Gómez, R., & Méndez Sierra, J. A. (2009). El método de categorización aplicado al estudio de ruido de una ciudad extremeña de pequeño tamaño. Tecniacústica Cádiz.
- [7] Barrigón Morillas, J. M., Gómez Escobar, V., Rey Gozalo, G., & Vílchez Gómez, R. (2010). Analysis of the prediction capacity of a categorization method for urban noise assessment. Journal of the Acoustic Society of American, 128(2), EL86-EL92.

- [8] Barrigón Morillas, J. M., Gómez Escobar, V., Trujillo Carmona, J., Méndez Sierra, J. A., Vílchez Gómez, R., & Carmona del Río, F. J. (2011). Analysis of the prediction capacity of a categorization method for urban noise assessment. *Applied Acoustics*, 72(10), 760-771.
- [9] Carmona del Río, F. J., Gómez Escobar, V., Trujillo Carmona, J., Vílchez-Gómez, R., Méndez Sierra, J. A., Rey Gozalo, G., & Barrigón Morillas, J. M. (2011). Application of a street categorization method to the study of urban noise: the Valladolid (Spain) study. *Environmental Engineering Science* (accepted).
- [10] Sommerhoff, G. (2002). Medición y análisis de la respuesta al ruido comunitario de la ciudad de Valdivia utilizando variables psicofisiológicas, sociológicas y de valoración económica. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España
- [11] Sommerhoff, J., Recuero, M., & Suárez, E. (2004). Community noise survey of the city of Valdivia, Chile. *Applied Acoustics* 65, 643-656.
- [12] ISO 1996-2: 1987 (1987). Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedures. International Organization for Standardization, Switzerland.
- [13] World Health Organization (1999). Guidelines for Community Noise. Eds. Berglund, B., Lindwall, T., Schwela, D. H., Goh, K. T. Ginebra.
- [14] OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), 1986. Report Fighting Noise, OECD Publications, Paris.
- [15] Barrigón Morillas J. M., Gómez Escobar V., Méndez Sierra J. A., & Vílchez-Gómez R. (2002). Study of noise in a small Spanish town. *International Journal of Acoustic and Vibration* 7,231-237.
- [16] Barrigón Morillas J. M., Gómez Escobar V., Vaquero, J. M., Méndez Sierra J. A., & Vílchez-Gómez R. (2005). Measurement of noise pollution in Badajoz city, Spain. *Acta Acustica United With Acustica* 91, 797-801.