
Análisis estadístico de los niveles de contaminación sonora medidos en diferentes zonas urbanas a lo largo de las 24 horas del día

*José Vicente Garrigues y Amando García
Departamento de Física Aplicada
Universitat de València*

PACS. 43.50.Sr

Resumen

Este trabajo resume los resultados encontrados en una amplia serie de medidas de niveles de contaminación sonora llevadas a cabo a lo largo de las 24 horas del día en diferentes ciudades de España. Estas medidas fueron realizadas utilizando un analizador estadístico y representan un total de 500 días completos (es decir, 12.000 horas).

Toda la información recogida en las mismas ha sido analizada para investigar las tendencias de variación de los correspondientes valores horarios para una amplia variedad de condiciones diferentes y estudiar las relaciones existentes entre diferentes descriptores del ruido ambiental en zonas urbanas.

Summary

Environmental noise measurements have been carried out during recent years in different cities and locations of Spain. The noise levels have been continuously sampled over 24 hour periods using a noise level analyser. The data contained in this paper represent a total of 12,000 measurement hours. All the collected information has been now used to investigate the time patterns of the hourly noise levels under a wide variety of conditions and to study the relationships between several noise descriptors in urban areas.

Introducción

A lo largo de los últimos años se han llevado a cabo numerosas medidas de niveles de contaminación sonora en zonas urbanas por parte de numerosas instituciones y autores de nuestro país (García, 1996). La mayor parte de estos trabajos se han basado en la realización de medidas diurnas de corta duración (10-15 minutos) en un reticulado más o menos denso de puntos, con el fin de confeccionar los mapas sonoros de determinadas ciudades. Ahora bien, la información que proporcionan la mayoría de los mapas sonoros obtenidos es incompleta, en tanto que en ellos no se suele contemplar en

absoluto (o se hace de forma insuficiente) la elevada variabilidad temporal de los niveles de contaminación sonora. En otras palabras, los estudios del ambiente acústico en los medios urbanos no deben limitarse solamente al periodo diurno, sino que deben incluir también las horas nocturnas, es decir, deben cubrir necesariamente las 24 horas del día.

El presente trabajo ha consistido fundamentalmente en el estudio de la variación temporal de los niveles de contaminación sonora medidos en zonas urbanas a lo largo de las 24 horas del día (Garrigues, 1997). Una buena parte de los datos analizados corresponden a las medidas llevadas a cabo por el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Valencia en años pasados; los restantes datos han sido obtenidos en medidas realizadas durante estos tres últimos años, con el fin de aumentar en lo posible la validez estadística de nuestros resultados y conclusiones. Toda la información acumulada hasta Abril de 1996 (representando un total de 12.000 horas de medida) ha sido cuidadosamente analizada en el presente trabajo con el fin de investigar las tendencias de evolución temporal de los niveles sonoros que caracterizan las condiciones existentes en una amplia serie de emplazamientos, y estudiar con el suficiente detalle las relaciones existentes entre los diferentes índices de ruido ambiental en zonas urbanas.

Los resultados obtenidos en el citado análisis presentan un elevado interés intrínseco para nuestro conocimiento general del fenómeno de la variación temporal de la contaminación sonora en zonas urbanas. Por otro lado, toda la información obtenida en el curso de este trabajo puede resultar extremadamente valiosa para desarrollar en el futuro, sobre bases objetivas y realistas, cualquier tipo de legislación y/o normativas para el control de este problema medioambiental.

Método experimental

La presente investigación se ha basado en la realización de medidas de niveles de contaminación sonora en un total de 94 emplazamientos diferentes pertenecientes a 18 municipios de la Comunidad Valenciana (grandes, medios y pequeños). En todos los casos, las medidas en cuestión se han realizado

de forma continua y automática, a lo largo de las 24 horas del día. La información procesada y analizada en el presente trabajo cubre un total de 500 días completos, es decir, exactamente 12.000 horas de medida.

Para la realización de estas medidas se ha utilizado un micrófono de condensador de 1/2 pulgada (BK4165), un analizador estadístico de niveles sonoros (BK4426) y una impresora alfanumérica (BK2312). Las medidas se han llevado a cabo utilizando siempre el mismo protocolo: el citado equipo realiza una medida instantánea de los correspondientes niveles sonoros cada 0'1 segundos (es decir, 36.000 muestras cada hora), almacena los datos en memoria y, mediante un microprocesador interno programado previamente, procede a calcular e imprimir los valores horarios de los niveles sonoros percentiles más importantes (L1, L10, L50, L90 y L99), así como del nivel sonoro continuo equivalente Leq, a lo largo de las 24 horas del día, y de forma continua durante todo el tiempo de medida (con frecuencia, varios días consecutivos en cada emplazamiento).

Por razones de tipo práctico, el micrófono no se ha montado nunca a nivel de la calle, sino en balcones o ventanas de alguno de los edificios existentes en cada uno de los emplazamientos seleccionados (generalmente, las viviendas de familiares, amigos o personas a las que se pedía su colaboración). El equipo de medida se ha dispuesto de forma tal que el micrófono estuviera lo más alejado posible de la fachada de los edificios (con el fin de reducir el efecto de reflexiones indeseadas), procurando que no se registraran los sonidos producidos en el interior de la vivienda (ventanas cerradas), con el fin de que los resultados obtenidos en las medidas se refirieran siempre al ruido en el exterior.

En cada uno de los emplazamientos considerados, y como información adicional a los valores horarios de los niveles sonoros anteriormente citados, se han llevado a cabo una serie de observaciones de diferentes parámetros que, en principio, pensamos que pudieran condicionar los niveles de ruido existentes en ese emplazamiento (ambiente sonoro). Estos parámetros han sido el tamaño del municipio (número de habitantes), la situación del emplazamiento (distinguiendo entre centro, conjunto o periferia), el uso predominante del suelo en esa zona (residencial, comercial, servicios o industrial), la densidad de edificación (altura media de los edificios), la anchura de la calle (distancia entre las fachadas) y el volumen de tráfico rodado (valor medio en vehículos/hora para el periodo diurno).

Toda la información recogida en cada emplazamiento (niveles sonoros horarios y parámetros no acústicos más relevantes) ha sido almacenada en un fichero específico (DBASE). El tratamiento posterior de toda esta información se ha llevado a cabo utilizando fundamentalmente el paquete estadístico SPSS/PC+, en su versión adaptada a ordenadores personales (Manzano, 1989) (Norusis, 1990) (Etxebarria, 1990).

Resultados y discusión

En primer lugar, se ha procedido a calcular los valores horarios medios de los diferentes índices percentiles conside-

rados en este trabajo (L1, L10, L50, L90 y L99) y del nivel sonoro equivalente (Leq). En la Tabla 1 se resumen los resultados encontrados para los niveles sonoros horarios en la totalidad de medidas.

Tabla 1. Valores medios (medias aritméticas) de los niveles sonoros horarios medidos en un total de 94 emplazamientos diferentes a lo largo de las 24 horas del día. Los datos expresados corresponden a 500 días completos de medida, todos ellos expresados en dBA.

HORA	L1	L10	L50	L90	L99	LEQ
0-1	69.9	61.4	53.1	47.8	45.0	60.0
1-2	68.1	59.3	50.9	45.9	43.3	58.3
2-3	66.6	57.6	50.9	43.9	41.5	56.8
3-4	65.6	56.1	48.8	42.6	40.4	55.6
4-5	65.1	55.2	47.5	41.5	39.4	55.0
5-6	66.7	57.8	46.2	42.2	39.8	56.4
6-7	68.6	60.4	48.1	45.1	41.9	58.4
7-8	72.0	64.6	51.3	49.7	45.9	62.2
8-9	73.3	66.1	56.3	52.7	49.3	63.7
9-10	73.5	66.4	58.5	53.6	50.2	64.1
10-11	73.9	66.7	59.2	54.3	50.9	64.4
11-12	74.5	67.5	59.7	55.6	52.3	65.3
12-13	75.0	68.0	60.7	56.2	52.8	65.7
13-14	75.6	68.3	61.2	56.4	53.0	66.2
14-15	74.9	67.8	61.5	54.6	51.0	65.3
15-16	74.2	66.8	60.3	54.0	50.6	64.6
16-17	74.2	66.9	59.5	54.3	50.8	64.6
17-18	74.9	67.6	59.7	55.5	52.3	65.4
18-19	75.1	67.7	60.7	56.3	53.1	65.6
19-20	75.1	67.9	61.4	56.6	53.4	65.8
20-21	74.7	67.6	61.0	56.2	53.0	65.5
21-22	74.5	67.0	60.0	54.8	51.6	65.0
22-23	72.9	65.0	57.5	51.9	48.7	63.1
23-24	70.9	62.7	54.6	49.3	46.3	61.0

Variaciones del nivel sonoro con el tiempo

En las Figuras 1-3 se reproducen tres ejemplos representativos de los resultados obtenidos en la medida de niveles sonoros a lo largo de las 24 horas del día, para emplazamientos con distintas densidades de tráfico (alta, media y baja). En general, los perfiles de variación horaria de los niveles sonoros

dependen del ambiente acústico existente en tales emplazamientos y, en particular, de las variaciones que experimenta el volumen del tráfico rodado en cada caso.

Como es natural, los valores horarios de estos índices de ruido presentan una alta variabilidad, reflejo de la variedad de condiciones que caracterizan a los emplazamientos incluidos en nuestra muestra y de las diferencias existentes entre los diferentes días de la semana y las estaciones del año. Como tendencia general, los niveles sonoros presentan valores mínimos entre las 3.00 y las 5.00 horas de la madrugada, y se mantienen prácticamente constantes entre las 10.00 y las 22.00 horas. Como es natural, estas tendencias generales dejan de cumplirse en aquellos emplazamientos con características singulares (zonas urbanas de ocio, zonas veraniegas, etc.).

Descriptores globales

Tal como se ha comentado anteriormente, los niveles sonoros horarios medidos en un determinado emplazamiento muestran una importante variabilidad a lo largo de las 24 horas del día. En consecuencia, la caracterización global del ambiente acústico existente en un emplazamiento dado no puede hacerse a partir de estos datos, salvo que proporcionemos el conjunto completo de los correspondientes valores horarios para las 24 horas del día, una posibilidad muy poco práctica.

Para obviar esta dificultad se introducen los denominados descriptores globales. Los descriptores más importantes son el nivel sonoro equivalente para el período diurno LD (que representa el valor que se obtendría para el citado índice si se llevara a cabo una medida continua entre las 7.00 y las 22.00 horas), el nivel sonoro equivalente para el periodo nocturno LN (análogo al anterior, pero correspondiente ahora al inter-

valo horario comprendido entre las 22.00 y las 7.00 horas) y el nivel sonoro L24H (que representa el nivel sonoro equivalente que se obtendría al realizar una medida continua a lo largo de un día completo). A estos índices globales cabe añadir el denominado nivel sonoro día-noche LDN, que se calcula igual que el nivel sonoro continuo equivalente a lo largo de todo el día (es decir, como media logarítmica de los respectivos valores horarios), pero con la particularidad de que en este caso los niveles sonoros correspondientes al periodo nocturno se incrementan en 10 dBA, a modo de penalización, para tener en cuenta el hecho de que el ruido ambiental suele producir mayor molestia durante la noche.

Tomando en consideración la totalidad de los datos analizados en el presente trabajo (12.000 datos horarios), se ha procedido a calcular los valores de los cuatro descriptores globales anteriormente citados. Los valores obtenidos en cada caso se han incorporado a nuestro citado fichero de datos. En la Tabla 2 presentamos los resultados más importantes encontrados en el correspondiente análisis estadístico (Norusis, 1990).

Variación semanal de los niveles sonoros.

Con el fin de evitar la obtención de unos resultados sesgados, para realizar este estudio no se ha considerado la totalidad de los datos recogidos en este trabajo (dado que existen diferencias en el número de medidas realizadas para los diferentes días de la semana en cada uno de los emplazamientos incluidos en el mismo), sino solamente los contenidos en una muestra de emplazamientos en los que, por un motivo u otro, las correspondientes medidas se han llevado de forma ininterrumpida a lo largo de los siete días de la semana consecutivos.

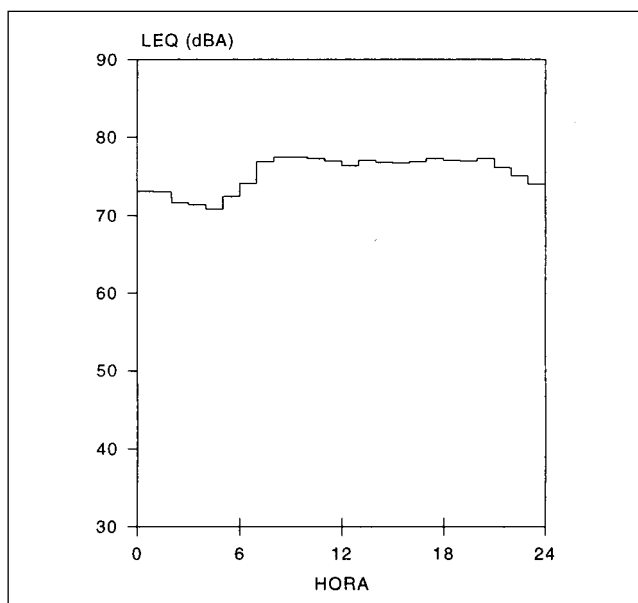


Figura 1. Variación temporal de niveles sonoros horarios (Leq) medidos en Avda. Ausias march. Valencia.

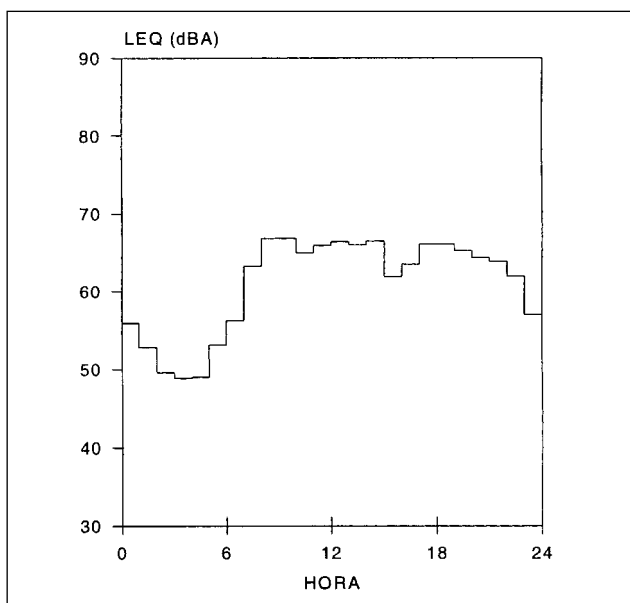


Figura 2. Variación temporal de niveles sonoros horarios (Leq) medidos en la Calle Barraca. Valencia.

Tabla 2. Resultados encontrados en el análisis estadístico de los 500 datos obtenidos en este trabajo para los índices globales de ruido ambiental LD (nivel sonoro equivalente diurno), LN (nivel sonoro equivalente nocturno), L24H (nivel sonoro equivalente para las 24 horas del día) y LDN (nivel sonoro equivalente día-noche).

	LD	LN	L24H	LDN
MEDIA	65.7	60.0	64.6	68.0
MEDIANA	66.1	61.6	65.4	69.5
MODA	69.8	63.1	65.6	69.8
DESV STD.	6.09	8.61	6.25	7.80
CURTOSIS	0.595	1.759	0.734	2.42
SESGO	-0.454	-0.895	-0.502	-1.010
RANGO	32.8	51.3	34.0	49.9
MAXIMO	79.1	79.1	78.3	85.4
MINIMO	46.3	27.8	44.3	35.5

En general, no existen diferencias significativas en los niveles sonoros medios medidos en los diferentes días laborales (de lunes a viernes), aunque dichos niveles sonoros decrecen sensiblemente el sábado y todavía más el domingo. Estas tendencias generales dejan de cumplirse en los emplazamientos singulares (zonas de pubs, discotecas, zonas veraniegas, etc.). En estos casos, las diferencias entre día-noche y laboral-festivo pueden llegar a invertirse.

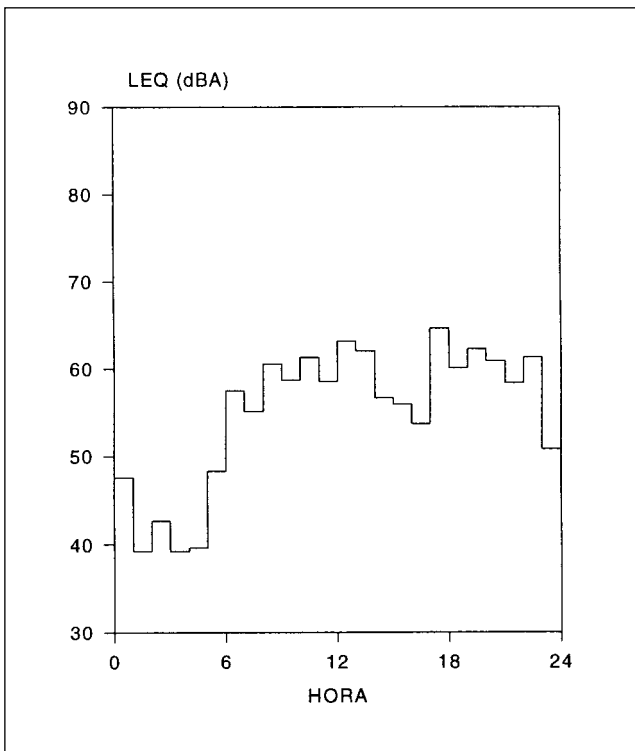


Figura 3. Variación temporal de niveles sonoros horarios (Leq) medidos en la Calle Larga. Carlet. (Valencia).

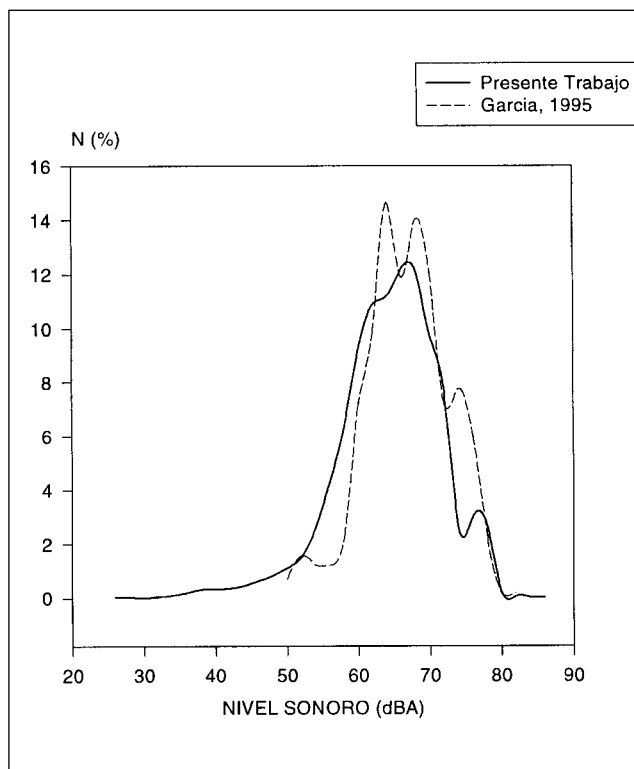


Figura 4. Distribución estadística de los valores horarios de Leq medido en periodo diurno. Comparación entre los resultados del presente estudio y otro realizado en 1995.

Comparación con otros trabajos

En la Figura 4 se compara la distribución del nivel sonoro equivalente (Leq), dentro de un intervalo horario diurno, encontrada en este trabajo, con la obtenida en un estudio reciente de los niveles sonoros diurnos existentes en las zonas urbanas de la Comunidad Valenciana, para una muestra de 580 emplazamientos diferentes distribuidos regularmente en un total de 180 municipios de dicha Comunidad (García, 1995). La distribución estadística de los valores sonoros diurnos medidos en ambos casos es muy similar. Esta coincidencia nos permite afirmar que el conjunto de emplazamientos incluidos en la presente investigación (seleccionados, en principio, según un criterio "cuasi-al-azar") constituye una muestra bastante representativa de la situación sonora existente en las zonas urbanas de nuestra Comunidad y, posiblemente, del conjunto del país.

Correlaciones entre los distintos índices.

En este Apartado hemos investigado la relación existente entre el nivel sonoro equivalente Leq y los diferentes índices de ruido con el fin de poder predecir los valores de dichos índices a partir de la medida de los niveles sonoros equivalentes Leq realizada en un determinado emplazamiento urbano. Las relaciones encontradas responden a las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 L1 &= 0'98 \cdot \text{Leq} + 10'6 & r &= 0'97, \quad d = 2'12 \\
 L10 &= 1'06 \cdot \text{Leq} - 2'4 & r &= 0'97, \quad d = 2'45 \\
 L50 &= 1'08 \cdot \text{Leq} - 11'1 & r &= 0'91, \quad d = 4'34 \\
 L90 &= 1'02 \cdot \text{Leq} - 12'1 & r &= 0'84, \quad d = 5'27 \\
 L99 &= 0'93 \cdot \text{Leq} - 9'8 & r &= 0'79, \quad d = 5'63
 \end{aligned}$$

Todas estas expresiones se refieren a los valores horarios de los índices sonoros correspondientes expresados en dBA. Obsérvese que los mejores coeficientes de correlación (valores de r más elevados) y las estimaciones más precisas (valores de las desviaciones standard d más bajos) corresponden a los percentiles L1 y L10. Por el contrario, los peores resultados se obtienen para los percentiles L90 y L99. Este resultado no resulta nada sorprendente si tenemos en cuenta que los percentiles más altos (L1 y L10) suelen estar relacionados con la presencia de fuentes sonoras relevantes en puntos muy próximos al punto de observación.

Por otra parte, el análisis de las ecuaciones de regresión calculadas sobre una base horaria (es decir, considerando solamente los 500 datos horarios disponibles de índices percentiles y niveles sonoros equivalentes correspondientes a una hora determinada) ha puesto de manifiesto que los coeficientes de correlación entre L10 y Leq apenas varían a lo largo de las 24 horas del día (con valores comprendidos entre 0'90 y 0'98); los parámetros de las ecuaciones de regresión correspondientes y las desviaciones standard se mantienen también prácticamente constantes a lo largo de todo el día. Sin embargo, los coeficientes de correlación entre L90 y Leq varían entre 0'69 (durante las horas nocturnas) y 0'88 (durante el período diurno); las desviaciones típicas encontradas en este caso varían entre 3'3 dBA durante las horas de la tarde y 6'6 dBA durante la noche.

Los resultados que acabamos de exponer ponen de manifiesto que el nivel sonoro equivalente Leq es un excelente predictor del índice percentil L10 para cualquier hora del día o de la noche. Por el contrario, se ha observado que el nivel Leq es un pobre predictor del índice L90; esta cualidad se pone especialmente de manifiesto durante las horas nocturnas. Estas conclusiones coinciden en líneas generales con las encontradas por otros autores en trabajos similares al nuestro (Utley, 1985).

Predicción de descriptores globales

Como ya hemos indicado anteriormente, la determinación precisa de los diferentes descriptores generales del ambiente sonoro en una zona urbana es un proceso sumamente laborioso, puesto que exige la realización de medidas de niveles sonoros durante períodos de tiempo dilatados. Por consiguiente, la predicción de tales descriptores basada en técnicas de medida de corta duración puede resultar extremadamente útil en muchas situaciones de interés práctico, como por ejemplo, cuando se trata de predecir la respuesta subjetiva (molestia) de una determinada comunidad ante los niveles sonoros medios que se produciría como resultado de una eventual apertura al tráfico de una calle peatonal.

En esta investigación hemos explorado cuidadosamente esta posibilidad utilizando toda la información acumulada en nuestras medidas. En primer lugar, hemos procedido a cruzar todos los valores de las variables LD, LN, L24H y LDN (500 datos) con la totalidad de los valores horarios del nivel sonoro equivalente Leq (12.000 datos). Aunque la correlación entre estas dos magnitudes es evidente, la precisión de las predicciones que proporciona este planteamiento es muy baja. El paso siguiente en nuestra investigación consistió en estudiar la correlación entre las variables LD, LN, L24H y LDN (500 datos) con los valores horarios del nivel sonoro Leq considerados hora a hora (500 datos). Como es natural, los resultados encontrados en esta segunda fase del estudio fueron mucho mejores que los obtenidos en la fase anterior.

Hemos podido comprobar que los valores de los coeficientes de correlación y las desviaciones típicas obtenidas en cada caso varían notablemente a lo largo del día. Consideradas en su conjunto, estas variaciones no resultan demasiado sorprendentes. Por ejemplo, al intentar predecir los valores del índice sonoro LD es lógico que, en general, los resultados obtenidos sean mucho mejores cuando se utilizan los valores horarios del nivel sonoro continuo equivalente Leq correspondientes al período diurno que al período nocturno. En el caso del descriptor nocturno LN sucede justamente al contrario. Dada su naturaleza, los resultados obtenidos para los descriptores L24H y LDN muestran un comportamiento más irregular.

En particular, cuando se utilizan como variables de referencia los valores horarios del nivel sonoro equivalente Leq medidos entre las 17.00 y las 18.00 horas, las relaciones entre los descriptores globales del ambiente sonoro y dichos niveles sonoros Leq vienen expresados por las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 LD &= 0'83 \cdot \text{Leq} + 11'16 & r &= 0'92, \quad d = 2'34 \\
 LN &= 1'06 \cdot \text{Leq} - 9'44 & r &= 0'83, \quad d = 4'78 \\
 L24H &= 0'85 \cdot \text{Leq} + 9'21 & r &= 0'91, \quad d = 2'53 \\
 LDN &= 1'00 \cdot \text{Leq} + 2'36 & r &= 0'87, \quad d = 3'88
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, para calcular los índices globales se propone un proceso que conlleva dos pasos sucesivos: a) la medida del nivel sonoro Leq correspondiente al período horario 17.00-18.00 horas en un emplazamiento dado, y b) el cálculo del índice global deseado utilizando las ecuaciones anteriores. La elección de este intervalo concreto se debe a que hemos observado que, para dicho intervalo, el coeficiente de correlación entre el Leq y los diferentes índices globales era máximo y la desviación standard mínima.

En el caso de que, por un motivo u otro, las medidas de niveles sonoros horarios Leq en un emplazamiento dado se llevaran a cabo en otras horas diferentes del día, se podría evaluar el nivel sonoro Leq correspondiente al citado intervalo (17.00-18.00 horas) aplicando la corrección que procediera en función de la hora considerada (esta corrección se puede evaluar haciendo uso de la tendencia general de variación de este índice a lo largo de las 24 horas del día, tal como viene expresada en la Tabla 1).

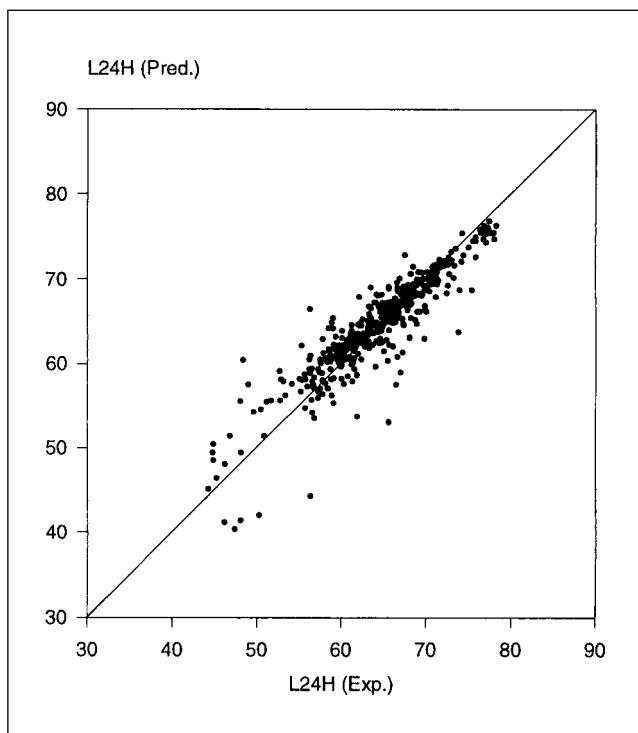


Figura 5. Comparación entre los valores predichos (Pred.) y los valores medidos (Exp.) del descriptor global de nivel sonoro L24H.

Aunque estrictamente hablando las medidas del nivel sonoro equivalente Leq de referencia se han de llevar a cabo durante una hora completa, en el curso de nuestro trabajo hemos podido comprobar también que la adopción de tiempos de muestreo de duración inferior (por ejemplo, 15 ó 20 minutos) proporcionan resultados de calidad muy similar. Por supuesto, para la realización de este tipo de medidas, se recomienda utilizar sonómetros integradores de precisión.

Como ejemplo de la potencialidad del método anteriormente expuesto, en la Figura 5 se comparan los valores predichos y los valores medidos del índice L24H (obsérvese que los puntos se agrupan muy claramente alrededor de la correspondiente bisectriz de los ejes). Los datos que se recogen en esta figura demuestran que el método puesto a punto por nosotros permite predecir los valores del descriptor global L24H en zonas urbanas con un error inferior a 3 dBA (intervalo de confianza del 90%) a partir del valor horario del nivel sonoro equivalente Leq medido entre las 17.00 y las 18.00 horas para una amplia variedad de situaciones urbanas diferentes.

Influencia de las características de los emplazamientos

Los niveles de contaminación sonora existentes en un cierto emplazamiento urbano dependen de sus características específicas. En particular, dado que la fuente de ruido ambiental más importante y generalizada en las zonas urbanas es el tráfico rodado, es natural que dichos niveles dependan de las características del tráfico rodado que circula por la corres-

pondiente vía y, muy especialmente, de su intensidad (Nelson, 1987) (Sánchez, 1989) (García, 1994/a). Por otra parte, numerosos trabajos han demostrado también que las condiciones urbanísticas de una determinada zona (tales como la anchura de la calzada, la altura de los edificios colindantes, la presencia de espacios abiertos, etc.) influyen considerablemente en los correspondientes niveles sonoros (Nelson, 1987) (Serra et al., 1991) (Arizmendi, 1995).

En consecuencia, nos ha parecido sumamente interesante investigar estas relaciones haciendo uso de toda la información acumulada en el presente trabajo. En general, los métodos de trabajo utilizados en nuestro estudio se han basado en las diferentes técnicas de análisis multivariable disponibles en la actualidad (Calvo, 1987) (González, 1991). El citado análisis se ha llevado a cabo utilizando el paquete estadístico SPSS/PC+ (Norusis, 1990).

En una primera aproximación al problema nos hemos limitado a estudiar la posible relación existente entre los niveles sonoros medidos en los diferentes emplazamientos de nuestra muestra y los valores correspondientes de la variable "densidad de tráfico rodado". Indicamos a continuación las agrupaciones y el número de casos considerados para esta variable (recordemos que el número total de casos incluidos en nuestra investigación ha sido de 500 días completos de medidas).

Tráfico de baja intensidad	$Q < 100$ veh/h	n = 115 casos
Tráfico de media intensidad	$100 < Q < 1.000$ veh/h	n = 290 casos
Tráfico de alta intensidad	$Q > 1.000$ veh/h	n = 95 casos

El estudio de las tablas de contingencia entre las variables Q y LDN nos indica ($\chi^2 = 322,1$, $p < 0,001$) que existe una asociación muy clara entre las dos variables consideradas (niveles sonoros y densidad de tráfico).

De forma análoga, se ha estudiado las relaciones existentes entre las variables "densidad de edificación" (expresada por el número y tamaño de los edificios existentes en las proximidades del emplazamiento de medida) y "tamaño del municipio" (número de habitantes) con los niveles sonoros medidos en cada emplazamiento. Los resultados obtenidos revelan la existencia de una clara asociación entre la densidad de edificación y los niveles sonoros ($p > 0,001$), en el sentido de que los niveles sonoros tienden a aumentar cuando la densidad de edificación aumenta. Por otra parte, hemos comprobado una vez más que las ciudades grandes y medias suelen ser más ruidosas que las pequeñas ($p < 0,001$).

El estudio que estamos exponiendo se ha completado con la realización de un análisis de agregados ("clusters"). Este análisis pretende clasificar los emplazamientos de medida considerados en grupos o clases diferentes, de tal manera que la distancia entre dichos grupos fuera máxima. Para ello, se han considerado conjuntamente las tres variables anterior-

mente estudiadas por separado (densidad de tráfico, densidad de edificación y tamaño de los municipios), adoptando como criterio para los oportunos agrupamientos de los datos el cuadrado de la distancia euclídea y el método conocido con el nombre de centroide ponderado de grupos ("weighted pair-group centroid"). Procediendo de este modo y utilizando el paquete estadístico SPSS/PC+ (Norusis, 1990) se ha obtenido la siguiente clasificación inicial (cuatro clases o grupos diferentes):

CLASE 1.- Emplazamientos con densidad de tráfico alta, situados en municipios de tamaño medio-grande, y con densidad de edificación media-alta.

CLASE 2.- Emplazamientos con densidad de tráfico media, situados en poblaciones de tamaño medio-pequeño, y con densidad de edificación media-alta.

CLASE 3.- Emplazamientos con densidad de tráfico media-baja, situados en poblaciones de tamaño grande, y con densidad de edificación media-alta.

CLASE 4.- Emplazamientos con densidad de tráfico baja, situados en poblaciones de tamaño pequeño, y con densidad de edificación media-baja.

Por supuesto, la totalidad de los 500 casos considerados en nuestro estudio está incluido ahora (al finalizar el proceso de análisis) en alguna de las cuatro clases anteriores. Como contrapartida de este hecho absolutamente positivo, cabe señalar que las clases citadas no aparecen definidas ahora con tanta nitidez como lo estaban en la fase inicial de proceso. El número de casos incluidos en cada uno de estos cuatro grupos o clases finales ha sido el siguiente: la Clase 1 contiene un total de 91 casos, la Clase 2 contiene 217 casos, la Clase 3 contiene 128 casos, y la Clase 4 contiene 64 casos. Como sucedía al principio del proceso, las clases 1 y 4 representan los extremos de las diferentes agrupaciones posibles (estas dos combinaciones de variables corresponden, en principio, a las características de los emplazamientos urbanos "más ruidosos" y "más silenciosos", respectivamente).

La Figura 6 representa las tendencias de variación de los valores horarios de los niveles sonoros equivalentes medios Leq para cada uno de estos cuatro grupos o clases. Los valores medios de los descriptores globales del ambiente sonoro para cada uno de los grupos o clases anteriormente citados son los siguientes:

Descriptor	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
LD (dBA)	71'9	66'6	63'4	58'3
LN (dBA)	68'0	61'7	57'7	47'4
L24H (dBA)	70'9	65'5	62'4	56'7
LDN (dBA)	75'4	69'5	66'1	56'5

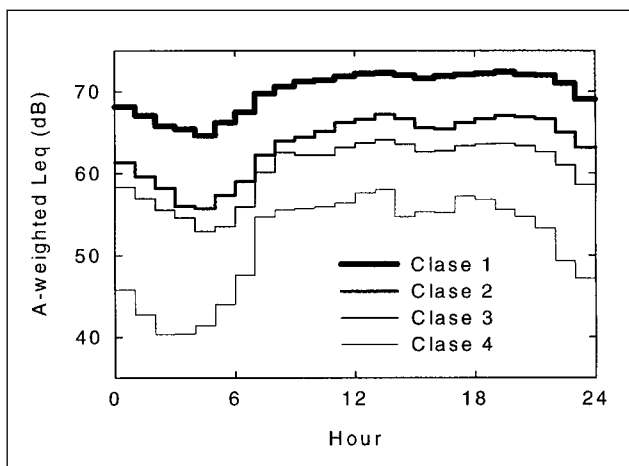


Figura 6. Variación de los valores horarios de los niveles sonoros equivalentes medios (Leq) para los cuatro grupos o clases diferentes de datos obtenidos en el análisis de agrupados (Cluster analysis).

Los resultados obtenidos en nuestro análisis nos permiten formular la conclusión de que las agrupaciones resultantes en el proceso realizado pueden constituir una buena base para proceder a una clasificación de los emplazamientos urbanos (según unas características y condiciones específicas) desde el punto de vista del correspondiente ambiente acústico. Además, nos pueden proporcionar una base válida para clasificar los ambientes sonoros existentes en las zonas urbanas desde puntos de vista mucho más objetivos que los utilizados en la actualidad (utilizando parámetros y variables no acústicos). Esta clasificación puede resultar de extraordinaria utilidad para la elaboración de normativas legales sobre ruido ambiental y para el establecimiento de criterios realistas de planificación urbanística y uso del suelo.

Conclusiones

Una extrapolación de los resultados obtenidos en esta investigación nos permitirá reducir el coste económico de los estudios generales sobre el ruido ambiental en zonas urbanas (por ejemplo, los relativos a las medidas de los mapas sonoros de las ciudades o la predicción de los efectos producidos por el ruido sobre los residentes). El uso de las expresiones obtenidas en este trabajo nos ofrece una base suficiente para predecir los descriptores globales de nivel sonoro (LD, LN, LDN y L24H) existentes en zonas urbanas.

Por otro lado, la utilización de la metodología desarrollada en este trabajo permite obtener la variación de los niveles sonoros horarios en función de un número reducido de parámetros no-acústicos que definen las características de los respectivos emplazamientos en relación con el problema que nos ocupa (densidad de tráfico, densidad de edificación y tamaño de los municipios). En cualquier caso, el conocimiento de todos estos resultados pueden facilitar en buena medida las tareas de control del ruido ambiental en zonas urbanas.

REFERENCIAS

- Arana, M., y García, A., 1990.- "Estudio del ruido ambiental en Pamplona".- Revista de Acústica, vol. 21, pág. 57-62.
- Arizmendi, L.J., 1995.- "Contaminación acústica y urbanismo".- Publicado en "La contaminación sonora. Evaluación, efectos y control". Fundación Bancaja. Valencia.
- Calvo, F., 1987.- "Estadística aplicada".- Ediciones Deusto. Madrid.
- Etxeberria, J., Joaristi, L. y Lizasoain, L., 1990.- "Programación y análisis estadísticos básicos con SPSS/PC+".- Ed. Paraninfo. Madrid.
- García, A., Garrigues, J.V., y Bravo, M.J., 1992.- "Estudio del ruido ambiental en dos ciudades pequeñas de la Comunidad Valenciana".- Proceedings de las Jornadas Nacionales de Acústica (Tecnacústica 92), pág. 53-56. Pamplona.
- García, A., 1994/a.- "Unidad Operativa de Control Acústico. Memoria de Actividades".- Conselleria de Medi Ambient. Generalitat Valenciana.
- García, A., 1994/b.- "La respuesta subjetiva al ruido ambiental. Revisión de diferentes estudios realizados en la Comunidad Valenciana entre los años 1981 y 1991".- Revista de Acústica, vol. 26, pág. 29-33.
- García, A., 1995/a.- "La contaminación sonora en la Comunidad Valenciana".- Consell Valencià de Cultura. Generalitat Valenciana.
- García, A., 1995/b.- "La lucha contra la contaminación acústica: algunas consideraciones generales".- Publicado en "La contaminación sonora. Evaluación, efectos y control". Fundación Bancaja. Valencia.
- García, A., 1996.- "Medidas de niveles de contaminación acústica en diferentes zonas urbanas de España".- Revista de Acústica, vol. 27, núm. 3 y 4, pág. 7-21.
- Garrigues, J.V., 1997.- "Análisis estadístico de los niveles de contaminación sonora medidos en diferentes zonas urbanas a lo largo de las 24 horas del día".- Tesis Doctoral. Universidad de Valencia.
- González, B., 1991.- "Análisis multivariable".- SG Editores. Barcelona.
- González, J., y Sánchez, J.I., 1991.- "Evolución del ruido frente a un semáforo".- International Conference Noise in Metropolitan Cities, pág. 99-102. Madrid.
- Manzano, V., 1989.- "Domine el SPSS/PC+". - RA-MA Editorial. Madrid.
- Nelson, P.M., 1987.- "Introduction to transport noise".- Publicado en "Transportation noise. Reference book" (P.M.Nelson, ed.). Butterworths. London.
- Norusis, M.J., 1990.- "SPSS/PC+ Base Manual" y "SPSS/PC+ Statistics".- SPSS Inc. Chicago.
- Sánchez, J.I., 1989.- "Contribución al estudio y análisis del ruido de tráfico en la ciudad de Valladolid".- Tesis Doctoral. E.T.S. Arquitectura de Valladolid.
- Utley, W.A., 1985.- "Descriptors for ambient noise".- Proceedings de la International Conference on Noise Control Engineering (Internoise 85), pág. 1069-1072. Munich.