

## Caracterización del ruido ambiental en zonas urbanas

*Amando García y José V. Garrigues*

*Laboratorio de Acústica. Departamento de Física Aplicada. Universidad de Valencia*

### INTRODUCCION

A lo largo de los últimos treinta años se han llevado a cabo numerosos estudios sobre los niveles de contaminación sonora existentes en las zonas urbanas de todo el mundo (1). La naturaleza de las medidas en que se han basado estos estudios ha dependido de los objetivos trazados en los mismos: evaluación de la exposición al ruido ambiental de los residentes en las correspondientes ciudades, comparación entre los niveles de ruido medidos con los valores establecidos en las correspondientes legislaciones o normativas, evaluación del impacto sonoro producido por determinadas actuaciones urbanísticas, medidas técnicas de control del ruido ambiental, etc.

La mayoría de las investigaciones realizadas sobre la contaminación acústica se basan en la medida de los niveles de ruido ambiental producido por diferentes fuentes sonoras y, especialmente, por los vehículos de transporte. En particular, varios autores han demostrado que el tráfico rodado es la fuente de ruido más importante y generalizada en las ciudades de los países industrializados (2).

Con el objeto de expresar lo mejor posible la correlación existente entre la exposición al ruido y la respuesta subjetiva de las personas afectadas por este factor medioambiental, en todos estos estudios se han utilizado diferentes índices de ruido (3). Sin embargo, con fecha relativamente reciente, se ha puesto de manifiesto que todos estos índices están altamente correlacionados entre si, y que es muy posible que alguno de estos índices en particular, por ejemplo, el nivel sonoro continuo equivalente medido a lo largo de las 24 horas del día,  $Leq(24hr)$ , pueda utilizarse para predecir de forma satisfactoria la respuesta general de una comunidad (molestia subjetiva de los residentes) ante el impacto producido por una amplia variedad de fuentes sonoras diferentes.

En general, los niveles de ruido medidos en las zonas urbanas muestran una amplia variabilidad espacial y temporal. En el primer sentido, los trabajos de cartografía del ruido urbano (que se concretan en la realización de lo que solemos denominar mapas sonoros) constituyen una fuente de información de enorme valor para los técnicos en planificación urbanística (en temas tales como la apertura de nuevas calles o plazas, el control del tráfico, el establecimiento de zonas verdes o áreas peatonales, la ubicación de centros docentes y hospitalarios, etc.). Sin embargo, este tipo de trabajos es extraordinariamente laborioso y exige la utilización de recursos humanos y materiales muy importantes. Por este motivo, hasta hace relativamente poco tiempo, el número de estudios realizados en este sentido en España era muy escaso en comparación con otros países de nuestro entorno. Afortunadamente, esta situación ha cambiado sustancialmente en el curso de estos últimos años y en la actualidad son muchas las ciudades de nuestro país que cuentan ya con estos datos (4).

Ahora bien, la información que proporcionan muchos de los mapas sonoros existentes es incompleta en tanto que en ellos no se contempla 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 deberían limitarse solamente al periodo diurno (como sucede con frecuencia), sino que deberían incluir también las horas nocturnas, es decir, deberían cubrir necesariamente las 24 horas del día.

Ahora bien, la realización de mapas sonoros completos, en los que las medidas de los correspondientes niveles de ruido se llevan a cabo, por ejemplo, según un reticulado suficientemente denso y para las 24 horas del día, se hace muy difícil desde el punto de vista práctico. Si contemplamos además la necesidad

de analizar en qué forma evolucionan tales niveles sonoros para los diferentes días de la semana, e incluso según las diferentes estaciones del año, la tarea resulta sencillamente inviable. Una fórmula de compromiso que se suele aplicar en muchos casos se basa en complementar los mapas acústicos diurnos (planteados de forma tal que cubran adecuadamente toda la superficie de una ciudad, con una malla de reticulado acorde con su contextura urbanística) con la realización de medidas continuas a lo largo de las 24 horas del día (y, si es posible, durante varios días sucesivos) en algunos emplazamientos específicos de la misma, seleccionados en función de su carácter representativo o de su interés singular en relación con algún problema concreto (por ejemplo, una vía principal de tráfico, una zona lúdica, etc.).

En particular, la distribución de los niveles sonoros instantáneos medidos en un determinado emplazamiento se puede interpretar como la suma de dos componentes diferentes: un proceso distante, con un valor medio y una varianza relativamente bajos, constituido por los efectos de la acumulación de muchas fuentes de ruido más o menos alejadas del lugar en que se realiza la medida, y que se representa fundamentalmente por los percentiles más altos (L99), y un proceso local, con un valor medio y una varianza más elevados, relacionado con la presencia de un número limitado de fuentes sonoras próximas al emplazamiento, y que es directamente responsable de los percentiles más bajos de la correspondiente distribución estadística (L1). Algunos autores han observado también que la contribución relativa de ambos procesos a los niveles de ruido medidos es diferente durante los periodos diurno y nocturno. En términos generales, se ha demostrado que la distribución de los niveles sonoros instantáneos viene determinada por las características específicas del lugar en que se realizan las oportunas medidas (5)(6).

En esta comunicación presentamos los resultados encontrados en un estudio específico sobre estos aspectos del problema llevado a cabo recientemente por nuestro Laboratorio en la ciudad de Valencia. Nuestro objetivo ha consistido en analizar las características singulares de las distribuciones estadísticas de los niveles sonoros instantáneos y su evolución temporal en diferentes emplazamientos típicos de los medios urbanos, cubriendo una amplia variedad de características y condiciones diferentes.

#### **METODO EXPERIMENTAL**

La presente investigación se ha basado en la realización de medidas de niveles sonoros en un total de 15 emplazamientos o situaciones urbanas diferentes de la ciudad de Valencia. En cada caso, se han obtenido fundamentalmente tres tipos de información: registro gráfico de la evolución temporal de los niveles sonoros instantáneos, distribución estadística de los niveles sonoros instantáneos y análisis de frecuencia del ambiente sonoro existente en cada caso. Toda esta información se ha complementado por una serie de observaciones y datos relativos a las características urbanísticas del emplazamiento, naturaleza de las fuentes sonoras más importantes, condiciones del tráfico, etc.

Las medidas de evolución temporal de los niveles sonoros se han llevado a cabo utilizando un sonómetro modular de precisión BK2231 conectado a un registrador de niveles sonoros BK2306. La duración de estas medidas ha sido del orden de 10 minutos, un tiempo más que suficiente para recoger la información más importante en cada uno de los emplazamientos urbanos considerados (presencia de fuentes sonoras singulares, sucesos transitorios, variaciones periódicas en el tráfico rodado, etc.).

Las distribuciones estadísticas de los niveles sonoros instantáneos se han obtenido mediante el sonómetro modular BK2231 dotado del módulo estadístico BZ7115. Este equipo estaba conectado a un ordenador personal portátil a través del módulo interface ZI9101. La duración de estas medidas ha sido siempre de 30 minutos, lo cual supone el procesamiento de un total de 1.800 datos (un valor de nivel sonoro instantáneo cada 0.1 segundos). De hecho, se han obtenido las citadas distribuciones para tiempos de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos, con el fin de estudiar las posibles diferencias entre los resultados obtenidos en función de la duración de las medidas.

Finalmente, las medidas de los espectros de frecuencias en cada emplazamiento se han realizado utilizando el citado sonómetro BK2231 dotado del módulo BZ7117 y provisto del correspondiente filtro de frecuencias BK1625. En cada caso, se ha obtenido el espectro resultante de promediar tres espectros diferentes, cubriendo el intervalo de frecuencias comprendido entre 125 y 8.000 Hz.

#### **VARIACION TEMPORAL DE LOS NIVELES SONOROS**

Como es sabido, los niveles sonoros instantáneos medidos en un determinado emplazamiento urbano no se suelen mantener estacionarios, sino que varían con el tiempo de forma más o menos acusada, dependiendo de la presencia de las diferentes fuentes sonoras en ese emplazamiento y de la variabilidad temporal de sus características más importantes (potencia sonora, situación espacial, etc.).

Por ejemplo, el impacto sonoro producido por el tráfico rodado en un cierto enclave urbano varía temporalmente dependiendo de la intensidad del tráfico, tipo de vehículos que lo constituyen, condiciones de cir-

culación (fluidez, velocidad, etc.), presencia de semáforos, utilización eventual de señales acústicas por parte de los vehículos, etc. Nuestras medidas han demostrado que las fluctuaciones de los niveles sonoros instantáneos con el tiempo suelen ser mayores en los enclaves con baja densidad de tráfico que en aquellos en los que la densidad de tráfico es elevada. Esta conclusión coincide plenamente con las obtenidas en trabajos similares por otros muchos autores (7).

En los emplazamientos urbanos más tranquilos (calles con muy poco tráfico, zonas peatonales, parques y jardines, etc.) se pone de manifiesto una mayor riqueza en las correspondientes gráficas de variación temporal, como reflejo de la mayor complejidad del "paisaje sonoro" que caracteriza tales enclaves. Los registros gráficos obtenidos en estos casos reflejan con toda claridad la presencia de una amplia variedad de sucesos más o menos transitorios, tales como el paso de un vehículo aislado, las voces de personas, el ruido de golpes, el sonido de la música producida por algún altavoz, etc.

### **DISTRIBUCIONES ESTADÍSTICAS DE LOS NIVELES SONOROS**

De acuerdo con las observaciones realizadas por otros autores (5)(6), nuestras medidas han puesto de manifiesto que en los emplazamientos que están sometidos a un tráfico intenso, fluido y estacionario, los histogramas de los niveles sonoros instantáneos corresponden muy aproximadamente a una distribución gaussiana. Basándose en este hecho, esos mismos autores dedujeron las expresiones generales que relacionan los correspondientes niveles estadísticos o percentiles ( $L_x$ ), los niveles sonoros equivalentes ( $Leq$ ) y las desviaciones típicas o standard ( $d$ ) de una determinada distribución de niveles sonoros. Por ejemplo, la relación entre el nivel  $L_{10}$  y  $Leq$  viene dada por la ecuación  $L_{10} = Leq + 1.28 d - 0.115 d^2$ . En aquellos casos en que se cumplen las citadas condiciones, se encontró que los valores de las respectivas desviaciones típicas  $d$  están comprendidos entre 2 y 5 dBA.

Sin embargo, el tráfico rodado que discurre por las zonas urbanas no suele responder a las características anteriormente citadas. Entre otros factores, las condiciones impuestas para su regulación (semáforos en las intersecciones, etc.) o la existencia de frecuentes embotellamientos, da lugar a que el tráfico en nuestras ciudades discurra con velocidades relativamente bajas y a que su densidad fluctue fuertemente con el tiempo. En consecuencia, la suposición de que los correspondientes niveles sonoros instantáneos presenten una distribución gaussiana deja de ser válida. La desviación de las distribuciones experimentales reales respecto a una distribución gaussiana ideal se miden mediante los valores de la curtosis ("kurtosis") y el sesgo ("skewness"), dos parámetros que expresan, respectivamente, la agudeza y la asimetría de las distribuciones de niveles sonoros experimentales.

Por ejemplo, en las medidas llevadas a cabo junto a la Carretera Nacional III (salida de la ciudad en dirección a Madrid), un emplazamiento caracterizado por un tráfico de vehículos muy regular e intenso, los niveles sonoros instantáneos (medidos cada 0.1 segundos durante un tiempo total de medida de 30 minutos) variaban entre 64 y 90 dBA, con un valor medio de 75.2 dBA y una desviación típica de 3.7 dBA. En unas medidas similares realizadas en la Avda. de Cataluña (salida de Valencia en dirección a Barcelona), se encontró los niveles sonoros instantáneos variaban entre 57 y 84 dBA, con un valor medio de 66.5 dBA y una desviación típica de 4.3 dBA. En ambos casos, los valores de la curtosis y el sesgo son extraordinariamente pequeños (distribuciones prácticamente gaussianas).

Por supuesto, en el caso de aquellos emplazamientos muy tranquilos, con tráfico escaso o nulo, los resultados son muy diferentes. Por ejemplo, en un parque urbano (jardines del Real), los niveles sonoros instantáneos variaban entre 48 y 65 dBA, con un valor medio de 52.0 dBA y una desviación típica de 1.9 dBA. En un emplazamiento situado en el puerto de Valencia, los niveles sonoros instantáneos variaban entre 47 y 82 dBA, con un valor medio de 52.7 dBA y una desviación típica de 3.3 dBA. Cabe llamar la atención, en particular, que los valores de la curtosis y sesgos en estos dos emplazamientos son sensiblemente superiores a los que caracterizan las distribuciones de niveles sonoros instantáneos obtenidas en los dos emplazamientos anteriormente citados (distribuciones no gaussianas).

Como caso singular, cabe mencionar finalmente los resultados obtenidos en unas medidas realizadas en la plaza del Xúquer, un lugar relativamente tranquilo durante el día, con tráfico poco intenso y bastante fluido. Sin embargo, tanto dicha plaza como las calles próximas están repletas de pubs y bares y, durante los fines de semana, la animación es enorme hasta altas horas de la madrugada, con presencia de mucha gente y vehículos circulando a poca velocidad. Aquí se han llevado a cabo dos medidas, una en periodo diurno de un día laborable y la otra durante la noche en un fin de semana. En el primer caso, los niveles sonoros instantáneos variaban entre 51 y 86 dBA, con un valor medio de 60.6 dBA y una desviación típica de 4.6 dBA. En el segundo caso, los niveles sonoros instantáneos variaban entre 60 y 109 dBA, con un valor medio de 67.6 dBA y una desviación típica de 3.7 dBA.

## ANÁLISIS DE FRECUENCIA

Con el fin de evaluar la composición espectral del ruido ambiental existente en cada uno de los emplazamientos considerados en el presente trabajo hemos llevado a cabo en todos los casos un análisis de frecuencias en bandas de 1/3 de octava, desde 31.5 hasta 16000 Hz. Los resultados correspondientes a cada emplazamiento se han obtenido promediando 5, 10 y 15 espectros completos.

En general, los resultados obtenidos no presentan diferencias significativas. En todos los casos se pone de manifiesto un claro predominio de las frecuencias bajas (inferiores a 125 Hz), típicas del ruido generado por el tráfico rodado. A continuación aparece una pequeña caída del orden de 10–15 dBA para frecuencias medias (alrededor de 1000 Hz). Finalmente, la intensidad disminuye de forma más acusada para las frecuencias más altas (por encima de 2500 Hz).

## CONCLUSIONES

Los ejemplos anteriormente expuestos ponen de manifiesto con gran claridad que la caracterización del ambiente sonoro existente en un determinado emplazamiento urbano no se puede describir utilizando únicamente el valor de un nivel sonoro medio (por ejemplo, el nivel sonoro equivalente). En tal sentido, es necesario contar con una información mucho más detallada de dicho ambiente, estudiando la distribución de los niveles sonoros instantáneos y los parámetros que definen tal distribución. Esta conclusión puede resultar relevante, por ejemplo, a la hora de analizar los efectos del correspondiente impacto sonoro sobre los residentes en ese lugar (molestia subjetiva, perturbación del sueño, etc.) y, por lo tanto, a la hora de definir las condiciones acústicas aceptables en medios urbanos (ordenanzas municipales).

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte de una investigación más amplia llevada a cabo, en parte, en el marco de un convenio suscrito por la Conselleria de Medi Ambient de la Generalitat Valenciana y la Universitat de València (Medidas de niveles de ruido ambiental en zonas urbanas realizadas a lo largo de las 24 horas del día). Queremos reconocer explícitamente las aportaciones realizadas sobre este tema en años pasados por parte de muchos colaboradores de nuestro Laboratorio, y muy especialmente, las llevadas a cabo por M.Fajará, J.Romero, M.Alamar, M.Arana, A.M.García y L.J.Faus.

## REFERENCIAS

- (1) A.L.Brown y K.C.Lam.– “*Urban noise levels*”.– Applied Acoustics, pág. 23–35 (1987).
- (2) A.Calvo–Manzano et al.– “*El ruido en la ciudad. Gestión y control*”.– Ayuntamiento de Madrid y Sociedad Española de Acústica. Madrid (1991).
- (3) R.D.Ford.– “*Physical assesment of transportation noise*”.– Publicado en “*Transportation noise. Reference book*” (P.M.Nelson, ed.). Butterworths. London (1987).
- (4) A.García.– “*La contaminación sonora en la Comunidad Valenciana*”.– Consell Valencià de Cultura. Generalitat Valenciana (1995).
- (5) H.B.Safeer.– “*Community noise levels, a statistical phenomenon*”.– Journal of Sound and Vibration, vol. 26, pág. 489–502 (1973).
- (6) C.G.Don y I.G.Rees.– “*Road traffic sound level distributions*”.– Journal of Sound and Vibration, vol. 100, pág. 41–53 (1985).
- (7) P.M.Nelson, ed.– “*Transportation noise. Reference book*” . Butter–worths. London (1987).