

AUTORES

Autores

MIRIAM GERMÁN GONZÁLEZ

lydmgg@yahoo.com.mx

Licenciatura en Arquitectura, Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México. Maestría en Arquitectura; campo del conocimiento: Tecnología, en la misma Facultad de Arquitectura. Doctorante en Urbanismo, en la misma facultad de Arquitectura. Temas de investigación: evaluación objetiva del ruido urbano y respuesta subjetiva a este.

ARTURO O. SANTILLÁN

artor@aleph.cinstrum.unam.mx

Licenciatura en Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Maestría en Ciencias (Física) en la misma Facultad de Ciencias. Estudios de Doctorado en el Departamento de Tecnología Acústica de la Universidad Técnica de Dinamarca. Estancia posdoctoral de dos años en la Universidad de Aalborg en Dinamarca. Desde agosto de 2002, investigador en el Laboratorio de Acústica y Vibraciones del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la Universidad Nacional Autónoma de México. Áreas de investigación: control de ruido, instrumentación acústica, procesamiento de señales y acústica física.

Del concepto de RUIDO URBANO al de PAISAJE SONORO

Miriam German-González
y Arturo O. Santillán

From the concept of urban noise to the one of sonorous landscape.

Resumen

El ruido urbano es uno de los problemas ambientales que la humanidad está enfrentando actualmente. Diferentes estudios han mostrado que el ruido afecta a las personas, produciendo en ellos efectos físicos y psicológicos negativos. Además, organismos internacionales han incluido al ruido dentro de los temas ambientales de investigación prioritaria.

El objetivo de este trabajo es revisar la evolución que ha tenido la investigación en torno a la evaluación del ruido en zonas habitacionales urbanas. Numerosas investigaciones se han realizado con el fin de establecer los efectos *negativos* del ruido urbano; se ha encontrado que la molestia es uno de los más importantes, en términos del número de personas afectadas. Para proteger a la comunidad se han publicado normas y recomendaciones que establecen niveles *aceptables* máximos de ruido. Sin embargo, investigaciones recientes han mostrado que la respuesta al ruido es compleja y que el nivel sonoro no es la única variable que influye en ella.

Actualmente la investigación está dirigida a analizar el ambiente sonoro desde un punto de vista integral. Este nuevo enfoque se basa en el concepto de *paisaje sonoro*, según el cual el sonido no es entendido como un mero elemento físico del medio, sino como un elemento de comunicación e información entre el hombre y el medio urbano.

Palabras clave

Ruido ambiental, medición del ruido, respuesta humana al ruido, paisaje sonoro

Abstract

Noise pollution is one of the environmental problems that humanity confronts nowadays. Different studies have shown that noise affects people, producing physical and psychological effects. Moreover, international institutions have included noise as environmental topic of priority research.

The aim of this work is to review and discuss the evolution of noise assessment on urban environments. Numerous studies have been carried out to know the negative effects of urban noise; annoyance has been found as one of the more important in terms of the number of affected people. Standards and recommendations have been published to protect people. However, recent investigations have shown the complexity of human response to noise and that noise level is not the only variable that affects it.

Nowadays sound environment is studied from an integral point of view. This new approach is based on the concept of soundscape, in which sound is not considered just a mere physical element of the urban context but as a means of information and communication between a person and the urban environment.

Key words

environmental noise, noise measurement, human response to noise, soundscape

Recibido: agosto 30 de 2006

Aprobado: septiembre 30 de 2006

1. Introducción

El ruido

Desde el punto de vista psicológico, el ruido ha sido definido como un *sonido indeseado* porque es desagradable, molesta, interfiere con actividades importantes o porque se cree que es dañino fisiológicamente (Cohen y Weinstein, 1982). Cuando se evalúa el impacto en la salud y en el bienestar del ser humano, el ruido es usualmente clasificado como ruido ocupacional y ruido urbano (también llamado ruido ambiental) (Concha-Barrientos *et al.*, 2004).

El ruido ocupacional es el que se genera en condiciones laborales; este, que afecta a millones de trabajadores en el mundo, no será considerado aquí. El ruido ambiental es el que se propaga por las áreas exteriores de una comunidad y puede introducirse en las edificaciones. Este tipo de ruido es crónico más que severo, es generado por fuentes sonoras cuya inmisión del sonido no está limitada al área que pertenece al dueño de la fuente. En este caso, los receptores, como individuos, ocasionalmente pueden hacer algo para evitar el ruido producido (Guski, 2001). Cabe precisar que puede existir una mezcla de los ruidos laboral y ambiental en un mismo sitio; sin embargo, la afección en las personas es distinta.

Numerosas fuentes de ruido han sido identificadas en un ambiente urbano (Branbilla, 2001), las principales son los medios de transporte, y entre estos, el más importante y generalizado es el vehicular (carros, autobuses, camiones y motocicletas). Otras fuentes de ruido que pueden causar considerable emisión de ruido son la construcción, la industria y los trabajos públicos. En este mismo ambiente existen fuentes sonoras que se caracterizan por ser esporádicas, tales como sirenas de ambulancias, policía y bomberos, o señales acústicas producidas por sistemas de seguridad; con todo, su impacto en las personas es negativo. El ruido producido por actividades recreativas tiene, de igual forma, una importancia social considerable; en este grupo se pueden mencionar como ejemplo voces de niños jugando en un parque, gritos de personas reunidas en eventos deportivos, la música de conciertos al aire libre y juegos pirotécnicos. Otras fuentes sonoras que pueden contribuir al ruido urbano se localizan dentro de las edificaciones: en la vivienda, por ejemplo, sistemas de bombeo, equipos de ventilación y aire acondicionado, equipos de limpieza, sistemas de reproducción de música, animales domésticos y celebraciones sociales excesivamente ruidosas.

Las fuentes sonoras mencionadas, y muchas otras, contribuyen en alguna medida a lo que en conjunto se ha descrito como ruido urbano o ambiental.

El problema del ruido como contaminante ambiental no es nuevo. Aproximadamente 600 años antes de Cristo, en la ciudad de Síbaris, en la antigua Italia, se estableció lo que podría considerarse como uno de los primeros ejemplos de norma referente al ruido en una comunidad. Allí, los artesanos, cuyo trabajo era ruidoso, debían laborar fuera de la ciudad (Embleton, 1996). Algunos siglos después, en la antigua Roma se prohibió el tráfico de carruajes durante la noche debido a que el ruido generado perturbaba el sueño de los habitantes (Shaw, 1996).

Actualmente el problema de la contaminación ambiental por ruido en las ciudades ha llegado a ser de gran importancia dado el número de personas expuestas y los efectos que tiene en la comunidad. Organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización para el Comercio y Desarrollo Económico (OCDE)



han incluido al ruido dentro de los temas ambientales de investigación prioritaria, señalándolo como un indicador de la calidad ambiental urbana (OECD, 2001; OECD, 2003; Berglund y Lindvall, 1995; WHO, 2004).

Existe una gran cantidad de estudios científicos que analizan los efectos del ruido en los seres humanos. Uno de los más completos es el informe preparado para la OMS, titulado *Ruido comunitario* (Berglund y Lindvall, 1995), donde se señala que el ruido ambiental puede tener efectos tales como: interferencia con la comunicación, perturbación del sueño, afecciones psicofisiológicas (estrés y efectos cardiovasculares), efectos en la salud mental, en el desempeño de tareas, en la productividad, en el comportamiento social y molestia. La exposición al ruido ambiental normalmente no causa pérdida auditiva, salvo en casos de exposición a niveles de ruido excepcionalmente elevados o debido a una exposición prolongada. Este mismo organismo (WHO, 2003) recomendó como indicadores de salud la evaluación de la molestia, la perturbación del sueño, la fracción de riesgo de enfermedad y mortalidad por afecciones cardiovasculares provocadas por la exposición al ruido ambiental. La molestia y la perturbación del sueño se eligieron porque si bien no son los más graves, sí son los más fáciles de evaluar, dan una buena imagen de la situación de ruido en un país y alertan sobre problemas más serios.

Algunos organismos internacionales y autores (WHO, 1999; Comisión Europea, 1996; Vallet, 2001) han sugerido, para ambientes específicos, tales como hospitales, escuelas, vivienda, entre otros, valores límite de ruido que deberían ser considerados para evitar efectos negativos en las personas. Estos valores han sido especificados mediante el Nivel de Presión Sonora (NPS)¹, equivalente en decibeles A (L_{Aeq}) que representa el nivel del ruido promedio durante un intervalo dado de tiempo.

En el caso de la vivienda, el ruido ambiental tiene las siguientes afecciones en los residentes: perturbación de las actividades de comunicación (al hablar por teléfono o conversar con otras personas en la misma vivienda, al escuchar radio o televisión, por ejemplo), trastorno del sueño, perturbación de la concentración mental y molestia. Generalmente es mayor el número de personas que reportan perturbación de sus actividades por el ruido

en áreas exteriores de la vivienda (jardines, balcones, terrazas, etc.) que dentro de la casa (Guski, 2001). Esto se puede explicar por el hecho de que los elementos de las fachadas proporcionan aislamiento sonoro. Por ejemplo, el aislamiento sonoro de un muro cuyo peso por unidad de superficie es de 20kg/m² es de aproximadamente 30dB, el de uno de 100kg/cm² es de 40dB, el de una puerta sólida está entre 15-20dB (Behar, 1994).

En un estudio sobre los efectos del ruido aéreo (Guski, 2001) se reportó que para un nivel de presión sonora equivalente de 65dB durante el período diurno, los porcentajes de residentes perturbados, mientras conversaban en el exterior y en el interior de la vivienda, fueron de 72% y 55% respectivamente; el 49% fueron perturbados mientras escuchaban radio o veían televisión y el 28% durante actividades recreativas. La perturbación de la comunicación ocurre comúnmente con niveles pico de ruido (por ejemplo, por el paso de un avión muy cerca de la vivienda, o por el paso de camiones), dado que el ruido producido enmascara los sonidos de la comunicación. Se ha recomendado que para poder conversar sin interferencia en el interior de la vivienda, durante el período diurno, el nivel de ruido continuo no debe ser mayor de 35dB-A (WHO, 1999).

El trastorno del sueño, de acuerdo con la OMS, es visto como una afección en la salud, pero también puede causar efectos posteriores como cambios de humor, disminución en el desempeño de tareas y fatiga, esta última se relaciona con accidentes (WHO, 2003). Esta afección es reportada en viviendas expuestas a ruido exterior generado por los sistemas de transporte y a ruido interior generado, por ejemplo, por los sistemas de aire acondicionado. Para el período nocturno, los valores guía de ruido (OMS, 1999) son los siguientes: el ruido no debe exceder 30dB-A en el interior de los dormitorios y 45dB-A a un metro de la fachada de las casas para que las personas puedan dormir con las ventanas abiertas.

La perturbación de la concentración mental durante el trabajo, por ejemplo, es menos destacada como una respuesta al ruido ambiental porque hay poca gente que trabaja en casa. Sin embargo, cuando esto ocurre, se incrementa el esfuerzo mental para completar la tarea. La calidad del desempeño no es necesariamente menor respecto a la que se realiza en un lugar tranquilo, pero el tiempo y el esfuerzo son mayores (Guski, 2001). Para áreas de trabajo en la vivienda se recomiendan niveles sonoros de entre 35 y 40dB (Bies y Hansen, 1988).

¹ Una medida de la intensidad del ruido es el Nivel de Presión Sonora (NPS), cuya unidad es el decibel (dB) generalmente referido a 20 micropascales. La escala de decibeles con ponderación A (dB-A) es la más usada en mediciones que relacionan la respuesta humana ante el ruido, ya que se aproxima a la forma en que responde el oído.

El mayor efecto en la comunidad causado por el ruido urbano es la molestia, la cual se define como "sentimiento de desagrado asociado con cualquier agente o condición que se sabe o se cree que afecta de manera adversa" (Berglund y Harder, 1994). Para proteger a la mayoría de las personas durante el período diurno de ruido muy molesto y moderadamente molesto, el nivel del ruido proveniente del exterior no debe exceder 55dB-A y 50dB-A respectivamente (Berglund y Lindvall, 1995). La OCDE ha sugerido que se considere que a partir de 55-60dB-A en promedio durante el período diurno el ruido puede causar molestia y por encima de 65dB-A pueden surgir perturbaciones de los modelos de comportamiento y síntomas de daño grave (Comisión Europea, 1996).

De acuerdo con la OMS (WHO, 1996) la contaminación por ruido es un problema global y sigue en aumento. Con todo, no existen datos exactos de la cantidad de personas afectadas; solamente se han realizado estimaciones en algunos países del porcentaje de personas que viven en zonas urbanas y son afectadas por el ruido del transporte vehicular. En los Estados Unidos de América se estimó en 1982 que el 87% de la población estaba expuesta a niveles de ruido por encima de 55dB-A (nivel promedio en un período de 24 horas) (EPA, 1982). En 1994 se estimó que aproximadamente el 25% de la población europea estaba expuesto a ruido con un nivel promedio superior a 65dB-A en un período de 24 horas; aunque en algunos países europeos la población afectada podría ser más de la mitad, en otros podría ser menos del 10% (Berglund y Lindvall, 1995). En Alemania se estimó, en 1999, que aproximadamente el 15% de la población estaba expuesta a niveles de ruido mayores de 65dB-A en promedio durante el día (WHO, 2003). En Suecia fue reportado en el año 2000 que el 25% de la población estaba expuesta a ruido mayor de 55dB-A de nivel promedio en un período de 24 horas (Ohrstrom *et al.*, 2006). Un estudio realizado en el Reino Unido estimó que en el año 2001 el 54% de la población estaba expuesta a niveles de ruido, en promedio durante el período diurno, mayores a 55dB-A y el 67% a niveles mayores de 45dB-A durante el período nocturno (Skinner y Grimwood, 2005).

Aunque el ruido del transporte vehicular en ciudades de países en desarrollo no ha sido reconocido como un problema mayor, algunos estudios (Boullosa y Pérez, 1987; Onu, 2000; Zannin *et al.*, 2003; Sayed, 2004; Sommerho *et al.*, 2004) y la OMS (WHO, 1999) han sugerido que el problema de ruido ambiental también es de consideración, tomando en cuenta la deficiente planificación y construcción de los edificios.

El número de personas expuestas al ruido es un indicador necesario para evaluar la relación entre el ruido ambiental y los efectos en los seres humanos; por ello, la importancia de su estimación. Es difícil comparar la información hasta ahora obtenida en diferentes países, debido a la utilización de varios métodos para su obtención. Dentro del marco del proyecto *Development of Environment and Health Indicators for the EU Countries*, la OMS (WHO, 2003) ha sugerido una metodología para estimar el número de personas expuestas al ruido ambiental, la cual coincide con la propuesta en la Directiva Europea 2002/49/EC (European Directive, 2002) que se aplica al ruido ambiental en áreas de viviendas, parques públicos u otras áreas tranquilas, cerca de escuelas, hospitales y en áreas sensibles al ruido. Con una metodología común se pretende describir el estado de la contaminación ambiental por ruido en zonas urbanas, hacer comparaciones de los resultados a nivel internacional y definir planes de acción para prevenir o reducir los efectos dañinos causados por este tipo de ruido.

Los costos del ruido

Los costos causados por los efectos de la exposición al ruido ambiental han sido evaluados mediante modelos económicos, siendo la molestia el efecto principalmente considerado para esa evaluación. Los costos que se han estimado son los generados por: a) la protección comunitaria y privada (barreras acústicas, aislamiento sonoro en ventanas), b) las pérdidas de productividad, c) el cuidado de la salud, d) las pérdidas de bienestar psicológico y e) el cambio del valor de mercado de la vivienda. Este último costo ha sido tema de un mayor número de trabajos de investigación, y para su análisis se han empleado dos métodos de valorización económica de impactos ambientales: el método de preferencia revelada y el de preferencia declarada. Las técnicas de mayor uso empleadas por estos métodos son el *precio hedónico* y la *evaluación contingente* respectivamente; ambas se sustentan en el concepto económico llamado *disposición a pagar*, en este caso, por un ambiente menos ruidoso. Esta disposición a pagar se infiere con la técnica de *precio hedónico* a partir de la observación de las preferencias de los usuarios cuando compran un inmueble, con la técnica de *evaluación contingente* mediante la declaración de las personas, a través de encuestas, acerca de cuánto estarían dispuestas a pagar por una hipotética reducción del ruido (Bjorner, 2004; Wardman *et al.*, 2005).

Los resultados de la mayoría de los estudios hedónicos son valores basados en el índice llamado *Noise Depreciation Sensitivity Index* (NDSI), el cual da el porcentaje

promedio de depreciación de la vivienda por decibel incrementado en el nivel sonoro. Algunas investigaciones también reportan sus resultados en porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB). Los estudios de evaluación contingente dan resultados principalmente en términos del PIB y del costo total al país por año.

En el año 2002, el Department of the Environment, Transport and the Regions (DETR) analizó en el Reino Unido una serie de estudios realizados en diferentes países sobre la depreciación de la vivienda producida por el ruido del transporte (Navrud, 2002). Los valores del NDSI están en el intervalo de entre 0,08% y 2,30% promedio de depreciación de la vivienda por decibel incrementado en el nivel sonoro y 0,2-2,27% del PIB. El DETR señala que aunque la literatura revisada provee un amplio intervalo de estimaciones, los datos pueden ser de ayuda como referencia para evaluar la magnitud de los costos sociales generados por el ruido. La importancia de conocer estos datos radica en identificar la combinación de medidas que generen el mayor beneficio social por unidad monetaria destinada al control del ruido.

2. El ruido urbano

La importancia del ruido como un factor de contaminación ambiental en zonas urbanas empezó a manifestarse en mayor medida en las primeras décadas del siglo XX debido al impacto que este producía en la salud y el bienestar de los habitantes (Laird, 1930; Winne, 1930). Desde entonces las investigaciones sobre el ruido ambiental han centrado su interés en dos grandes áreas: la evaluación cuantitativa del ambiente sonoro y el estudio de la respuesta de la comunidad al ruido ambiental. La primera analiza las condiciones de ruido de un ambiente específico y la segunda analiza aspectos subjetivos implicados en la percepción del ambiente sonoro. El mayor número de trabajos realizados en la segunda área se han centrado en el análisis de la respuesta de las personas al ruido en zonas habitacionales. Entre los años 1943 y 2000 se han identificado 521 estudios de este tipo publicados en idioma inglés, algunos de ellos también incluyen una evaluación cuantitativa del ambiente sonoro (Fields, 2001).

Evaluación cuantitativa del ambiente sonoro

A lo largo de varias décadas se han realizado estudios enfocados en la descripción objetiva del ambiente sonoro en zonas urbanas. Muchos de ellos se han centrado en la medición del ruido exterior en las fachadas de las edificaciones, principalmente en viviendas. Dependiendo

el propósito por el cual se han realizado los estudios, estos varían en profundidad y detalle. Algunos propósitos comunes de este tipo de estudios son los siguientes (Stathis, 1981; Branbilla 2001; European Directive, 2002):

- Obtener niveles de ruido ambiental para correlacionarlos con la respuesta de la comunidad al ruido.
- Identificar fuentes de ruido exteriores y determinar su contribución al ruido ambiental.
- Estimar el número de personas expuestas al ruido.
- Apoyar acciones legislativas y de planeación con la finalidad de reducir la exposición al ruido de la comunidad.
- Obtener descripciones del ruido ambiental con el propósito de evaluar impactos actuales o futuros.
- Determinar la necesidad o ampliación de acciones de control de ruido de fuentes sonoras existentes o futuras.
- Establecer el adecuado uso del suelo para diferentes actividades.
- Comparar los niveles sonoros con los límites especificados en la legislación sobre ruido.

Los niveles de ruido en un principio fueron obtenidos a partir de mediciones en los sitios de estudio, posteriormente se han deducido a través de métodos teóricos. Uno de los primeros estudios de medición del ruido ambiental a gran escala fue realizado en 1930 en la ciudad de Nueva York (Galt, 1930). En él se identificaron las fuentes de ruido que causaban problemas, muchas de las cuales actualmente siguen siendo fuente de contaminación acústica. Los trabajos de investigación que involucran la medición del ruido se incrementaron considerablemente a partir de la década de los setenta, cuando empezó a surgir la normatividad en diversos países para evaluar y controlar la contaminación acústica (Meyer, 1972; Kryter, 1972).

Actualmente los equipos de medición de ruido ambiental son de manejo simple, las señales sonoras se puede medir fácilmente con sonómetros, o se pueden grabar para su análisis posterior en laboratorio. Sin embargo, las mediciones *in situ* tienen ciertos inconvenientes: en algunos casos pueden consumir mucho tiempo y ser costosas; es necesario trasladar el equipo o hacer una instalación temporal de monitoreo con protección ante condiciones meteorológicas y de seguridad, o se requiere invertir recursos en equipo y mano de obra.

Los niveles de ruido medidos en áreas urbanas dependen de las características de la fuente sonora (potencia,

frecuencia y directividad) y de las condiciones de propagación del sonido en el área estudiada (distancia fuente-receptor, topografía del terreno, obstáculos artificiales y naturales, condiciones meteorológicas, por ejemplo). Con esta información es posible estimar dichos niveles sonoros a través de modelos teóricos, los cuales ofrecen ciertas ventajas sobre las mediciones directas porque se pueden hacer estimaciones para cualquier situación existente o proyectada.

La propagación del sonido en el exterior ha sido tema de numerosas investigaciones desde la década de los cincuenta, cuando el ruido de los medios de transporte fue reconocido como un problema ambiental en algunos países. Desde aquellos años se han desarrollado numerosos modelos para estimar el ruido ambiental. Se ha puesto especial énfasis en el ruido del transporte aéreo y vehicular.

Los primeros estudios en esta área consideraron un escenario relativamente simple, principalmente bajo condiciones de espacio abierto en carreteras cercanas a zonas habitadas; tenían como únicas variables el número de vehículos por hora y la distancia entre la fuente de ruido y el receptor. Posteriormente se incorporó la velocidad de los vehículos y se consideraron porcentajes de vehículos pesados (Steele, 2001). Modelos recientes hacen un análisis más amplio de la propagación y atenuación del sonido, incluyendo efectos como la potencia de la fuentes sonora, divergencia de las ondas acústicas, la atenuación causada por el terreno y por obstáculos artificiales y naturales, efectos de los gradientes de temperatura y viento, la topografía, entre otros (Makarewicz, 1991; Kragh, 2001; Martin y Hothersall, 2002).

El estudio de la propagación del sonido también se ha realizado dentro de las ciudades. La mayoría de los trabajos se han enfocado en analizar el comportamiento del sonido en los llamados *cañones urbanos*, conformados por las calles y los edificios que los limitan.

A principios de la década de los setenta se realizaron los primeros modelos de la propagación del sonido en cañones urbanos (Aylor y Parlante, 1973; Bullen y Fricke, 1976), enfocados principalmente en el estudio del campo reverberante (zona donde predomina el sonido reflejado sobre el sonido proveniente directamente de la fuente). Dos señalamientos importantes que se expresan en estas primeras investigaciones y que han contribuido significativamente en el entendimiento del comportamiento del sonido en calles urbanas son: a) es necesario considerar los elementos que conforman las

fachadas así como las irregularidades en las edificaciones y en la superficie del terreno, y b) los niveles sonoros dependen de las dimensiones de la calle y de la altura de los edificios.

Estudios posteriores han ampliado el conocimiento sobre el tema de la propagación y atenuación del sonido en calles urbanas (Kang, 2000; Picaut, 2002; El Dien y Woloszyn, 2004; Ismail y Oldham, 2005). Los resultados han proporcionado algunas guías para lograr una atenuación significativa del ruido a lo largo de los cañones urbanos, por ejemplo: es más adecuado diseñar las fachadas de tal manera que reflejen el sonido en forma difusa (que es el caso de fachadas con irregularidades formadas por balcones, ventanas, esquinas, etc.) y no geoméricamente (lo que ocurre con fachadas lisas). Si las fachadas de una calle reflejan difusamente el sonido, el hecho de que el terreno refleje el sonido de la misma forma o de que lo haga geoméricamente no hace una diferencia significativa en el campo sonoro. Una atenuación extra del sonido también se puede obtener incrementando la superficie de absorción en las fachadas o en el terreno; la reducción de la altura de los edificios y la separación entre estos tienen un efecto similar. La absorción del aire y la vegetación es bastante efectiva en el incremento de la atenuación del sonido en altas frecuencias a lo largo de la calle. Un diseño adecuado de balcones puede ofrecer una protección considerable contra el ruido.

Los modelos para estimar el ruido ambiental ofrecen la ventaja de que en caso de producirse cambios urbanísticos o del tráfico, se pueden actualizar mapas de ruido, estimando los nuevos niveles sonoros. Sin embargo, las mediciones serán necesarias para validar o incrementar la fiabilidad de las estimaciones, las cuales son con frecuencia cuestionadas debido a que expresan el nivel de ruido como un promedio diario, cuando en realidad hay períodos con niveles más altos y períodos con niveles más bajos.

Respuesta de la comunidad al ruido ambiental

La relación entre el valor de un *indicador de ruido* y un *efecto dañino* en el ser humano ha sido identificada como relación dosis-respuesta, relación dosis-efecto, relación exposición-efecto o relación exposición-respuesta. Esta última terminología, de acuerdo con la OMS (WHO, 2003), es la más adecuada. Esta relación ha sido ampliamente analizada desde la década de los sesenta (Fields, 2001). Para su explicación se ha puesto considerable atención en la investigación de los indicadores de ruido, en el tipo de fuentes sonoras, en las escalas para la evaluación de la

reacción de las personas y en variables no acústicas que influyen en dicha relación.

El estudio de la relación exposición-respuesta propició el desarrollo y uso de una amplia variedad de indicadores de ruido. Estos representan una medida del nivel de ruido, cuyas características se deben a supuestos o factores que se tomaron en cuenta en su diseño. Algunos de estos supuestos y factores (Schomer, 1985; Crocker, 1998) son: a) la respuesta de la comunidad al ruido se incrementa con la intensidad de este y con la frecuencia de la ocurrencia; b) la respuesta a la exposición sonora se incrementa durante la noche comparada con la misma exposición sonora durante el día, y c) algunos indicadores toman en cuenta factores como la duración del evento sonoro, número de eventos, contenido de frecuencia, variación del nivel con el tiempo, presencia de tonos puros en el ruido, existencia de ruido de fondo, entre otros.

Existe un número extenso de indicadores que han sido propuestos para evaluar la reacción al ruido (Bishop, 1973; Eldren, 1974; Hayashi *et al.*, 1978; Crocker, 1998). Por ejemplo, entre los más conocidos para evaluar las reacciones de la comunidad al ruido producido por aviones se encuentran el Composite Noise Rating (CNR), el Noise Exposure Forecast (NEF), el Noise and Number Index (NNI). Para evaluar el ruido del transporte vehicular se han utilizado el Traffic Noise Index (TNI) y el Noise Pollution Level (NPL).

Algunos indicadores ya no están en uso, otros han tenido una evolución de acuerdo con los intentos de investigadores por encontrar aquellos que se relacionen mejor con la respuesta humana y cuya su medición con instrumentos sea fácil. Actualmente los indicadores comúnmente usados para caracterizar la exposición al ruido urbano son los integrales, los estadísticos y el nivel máximo.

Los indicadores integrales constituyen una medida que *integra la energía sonora* en un período de tiempo, los más usados de este tipo son:

- a) El nivel sonoro día-noche (L_{dn} o DNL, por sus siglas en inglés). Expresado endB-A, toma en cuenta las 24 horas del día; pero se agrega un factor de 10dB al nivel sonoro que ocurre en el período nocturno.
- b) El nivel sonoro día-tarde-noche (L_{den} o DENL, por sus siglas en inglés). Es similar al anterior, se agrega un factor de 5dB al nivel sonoro que ocurre en el período vespertino y un factor de 10dB en el período nocturno.

En estos indicadores, la duración de cada período en que son divididas las 24 horas es una decisión que depende principalmente de los hábitos sociales de la población, los cuales, a su vez, están influenciados por la herencia, la cultura y el clima (Branbilla, 2001). Por ejemplo, la Directiva Europea 2002/49/EC establece 12 horas para el período diurno (de 07:00 a 19:00 horas), 4 para el vespertino (de 19:00 a 23:00 horas) y 8 para el nocturno (de 23:00 a 7:00 horas).

Los indicadores estadísticos dan la medida del porcentaje del tiempo que el nivel de presión sonora está por encima de un determinado nivel durante el tiempo de muestreo. Se designan con el símbolo L_n , donde n es cualquier número entre 0 y 100. Los indicadores de este tipo más comunes son L_1 , L_{10} , L_{50} , L_{90} y L_{99} , que representan los niveles excedidos el 1%, 10%, 50%, 90% y 99% del tiempo de muestreo. Los niveles L_1 y L_{10} son usados para representar eventos de corta duración, pero de nivel alto; el L_{50} corresponde al nivel sonoro promedio; los niveles L_{90} y L_{99} son usados frecuentemente para representar el nivel mínimo de ruido; el nivel L_{90} es frecuentemente referido como ruido de fondo.

El nivel máximo (L_{max}) es el nivel sonoro de mayor valor durante el período de observación.

Algunos organismos (U.S. Department of Housing and Urban Development, 1979; Berglund y Lindvall, 1995; European Directive, 2002) han recomendado el uso de los indicadores integrales para evaluar la molestia debida a la exposición al ruido urbano (relativamente estable); sin embargo, su uso ha sido cuestionado (Fidell y Pearsons, 1998; Rylander y Björkman, 2002), ya que este tipo de indicadores están basados en la hipótesis de igual energía, que establece que el número, el nivel y la duración de los eventos de ruido son determinantes (intercambiables) de la molestia, mientras su producto (suma de energías) permanezca constante. Se asumiría entonces que la gente es indiferente entre las siguientes dos situaciones, a) la molestia de pocos eventos de muy alto nivel y de corta duración y b) la molestia de muchos eventos de bajo nivel de ruido y de larga duración. Debido a que estos indicadores evalúan la exposición global al ruido durante un período largo de tiempo, se impide tener en cuenta los efectos de grandes fluctuaciones del nivel sonoro durante el período de estudio. Por ello, para considerar las fluctuaciones en el nivel de ruido y el carácter intermitente de algunos ruidos se ha sugerido usar también los indicadores estadísticos y el nivel máximo.

Los primeros estudios sobre la relación exposición-respuesta analizaron la correlación entre el número de quejas de la comunidad y el ruido (Galt, 1930); también trataron de predecir si la población expuesta al ruido podría quejarse o tomar acciones legales (Luz *et al.*, 1983). Un gran número de investigaciones posteriores han tenido las siguientes características en común (Von Gierke, 1975; Fidell, 1978; Finegold y Finegold, 2002): a) se estudia el efecto de la molestia más que cualquier otro; b) las zonas de estudio son habitacionales, escasos estudios consideran otro tipo de espacio; c) las fuentes de ruido más estudiadas son los medios de transporte; d) el ambiente ruidoso es considerado relativamente estable; e) la respuesta al ruido es evaluada considerando un período largo de tiempo.

Se estudia principalmente el efecto de la molestia porque se ha considerado que es el más importante en términos del número de personas afectadas. La respuesta al ruido ha sido analizada considerándola en un período largo de tiempo (desde varios meses hasta un año) porque se asume que a la población le toma cierto tiempo habituarse al ruido de su comunidad. La respuesta directa e inmediata a eventos individuales de ruido no es usada para describir la reacción de la comunidad al ruido dado que es difícil de estimar, excepto bajo condiciones controladas como en laboratorio (Finegold y Finegold, 2002).

La mayoría de los estudios sociales que tratan la relación exposición-respuesta al ruido tiene un diseño común, está basada en encuestas de opinión aplicadas directamente a las personas en su vivienda, enviadas por correo o hechas por teléfono. Se pregunta a los encuestados sobre la percepción del ambiente sonoro en el interior de su vivienda, provocado por el ruido proveniente del exterior, con el propósito de establecer si (y cuánto) dicho ruido molesta y en algunos casos si interfiere con actividades dentro de la vivienda.

Otros estudios, menos numerosos, han usado técnicas como entrevistas no estructuradas, reportes de cambios de comportamiento, reportes de perturbación durante las horas inmediatas precedentes a la exposición de ruido, respuestas instantáneas grabadas en tiempo real y monitoreo mecánico de los movimientos durante el sueño (Fields, 2001).

En algunos estudios, identificados como socio-acústicos, se miden o se calculan los niveles de ruido ambiental en el exterior de las viviendas de las personas encuestadas; esto con el propósito de correlacionar sus características físicas con la respuesta de la comunidad, bajo el supuesto de que gran parte del ruido interior viene del exterior.

Estudios realizados en diversos países han sido utilizados para conocer la relación entre la exposición de la población al ruido ambiental y su respuesta a él. Se han desarrollado funciones que muestran la relación entre la molestia experimentada en la vivienda y el ruido incidente en la fachada más expuesta, donde la variable independiente es la exposición al ruido (en unidades de DNL) y la variable dependiente es la molestia (en % de personas altamente molestadas (%HA), obtenido con los valores más altos de la escala de respuestas utilizada).

Schultz (1978a) comparó la información de algunos estudios realizados antes de 1978 que se referían al ruido de aeronaves, de tránsito vehicular y de trenes. Sobre la base de estos se obtuvo una sola curva, donde el %HA es función del DNL, como la mejor para estimar la molestia debida al ruido de cualquier medio de transporte. A partir de su publicación, este trabajo generó un intenso debate entre Kryter (1982a, 1982b) y Schultz (1978b) respecto al criterio utilizado para obtener la función. Kryter analizó nuevamente algunos de los mismos estudios en los que se basó Schultz y concluyó que deberían usarse funciones diferentes para distintos medios de transporte, dado que encontró una diferencia de aproximadamente 10dB entre la función para el ruido del transporte terrestre y la función para el aéreo. Dos trabajos publicados por la misma fecha, basados en información nueva –uno que compara el ruido de aviones y tráfico rodado (Hall, 1981), el otro que compara ruido de trenes con el de transporte terrestre y aéreo (Fields y Walter, 1982)–, hacen la misma sugerencia de Kryter.

En 1991 se amplió el análisis de Schultz con un número mayor de estudios y se obtuvo esencialmente la misma curva (Fidell *et al.*, 1991). Un estudio realizado en 1998 (Miedema, 1998), con base en los datos utilizados por los autores antes citados y en información nueva, concluyó que el ruido del transporte vehicular es menos molesto que el producido por el transporte aéreo y el de trenes menos que los anteriores; por lo tanto, si se usa el DNL como indicador de la exposición al ruido, deben usarse diferentes funciones. Sugirió también que la diferencia entre estas tres funciones podría ser causada por factores acústicos y no acústicos.

Si bien los trabajos citados, los cuales muestran coeficientes de correlación relativamente altos (hasta 0,8), generaron una primera aproximación al entendimiento de la relación exposición-respuesta media de la población, no explican las causas de la variación en las reacciones individuales a la exposición con igual DNL. En una revisión de 39 estudios sobre la relación

exposición-respuesta realizados en 10 países (Job, 1988) se concluye que solamente un pequeño porcentaje de la variación en las reacciones individuales –aproximadamente 20%– se debe a la exposición al ruido. De acuerdo con la OMS (WHO, 1995), este porcentaje está entre el 10% y el 30%. Esta relación débil ha sugerido que las respuestas de los individuos dependen no solo de atributos físicos del ruido, sino también de características socioculturales, contextuales o personales (Fidell *et al.*, 1988; Green y Fidell, 1991; Fields, 1993; Miedema y Vos, 1999; Miedema *et al.*, 2005). Se ha sugerido que variables como la sensibilidad al ruido y la actitud ante la fuente sonora (aprobación, importancia, prevención, miedo, desconfianza) tienen un impacto considerable en la reacción al ruido (molestia). Las variables demográficas (sexo, edad, nivel de educación, estatus ocupacional, dimensión de la vivienda, propiedad o renta de la vivienda, uso de la fuente sonora, dependencia de la fuente) contribuyen menos a la molestia.

En un análisis de estudios sobre el ruido de diferentes medios de transporte (aéreo, vehicular y ferroviario), realizados en Europa, América del Norte y Australia, el cual contiene 49701 respuestas relacionadas con el nivel de ruido de exposición de las personas encuestadas e información de variables adicionales, se hacen las siguientes observaciones (Miedema y Vos, 1999):

- Al mismo nivel de ruido de exposición, las personas que reportaron no ser sensibles al ruido sienten menos molestia que personas sensibles.
- Al mismo nivel de ruido de exposición, las personas que reportaron sentir miedo a la fuente sonora que causa el ruido sienten más molestia que las personas sin ese sentimiento. Aunque no es claro si la relación de la molestia con el miedo depende de la experiencia actual o se debe a una predisposición.
- Hombres y mujeres reaccionan de manera similar al ruido de transportes.
- Personas relativamente jóvenes y relativamente ancianas reportan menos molestia. En estas últimas puede influir el deterioro del oído.
- Se observa una molestia ligeramente mayor si el nivel escolar es más alto. Si se toma en cuenta la edad, entonces el efecto de la educación en la molestia es significativamente menor.
- La reacción al ruido no está fuertemente relacionada con el estatus ocupacional.
- Si el efecto de la edad es tomado en cuenta, las personas que viven solas tienden a sentir menos molestia que las personas que viven acompañadas.
- Las personas que son dueñas de la vivienda se preocupan más por el ruido ambiental que las que rentan.

- Las personas que dependen económicamente de las actividades que causan el ruido reportan menos molestia que las que no tienen relación con la actividad ruidosa.
- Las personas que frecuentemente usan el medio de transporte que origina el ruido reportan sentir menos molestia que aquellas que lo usan en menor medida.

Otras variables que parecen afectar la molestia son las condiciones meteorológicas del sitio de estudio. De acuerdo con un análisis de información extraída de estudios realizados en diferentes países, se sugiere que, para el mismo nivel de ruido, es mayor la molestia cuando también lo es la temperatura (Miedema *et al.*, 2005).

De las variables personales antes citadas, se considera que la que tiene mayor influencia en la relación exposición al ruido-molestia es la sensibilidad. El concepto de sensibilidad ha sido definido de diferentes formas en la literatura: 1) es un factor que involucra actitudes importantes hacia el ruido en general (Belojevic *et al.*, 1997); 2) es un rasgo de personalidad estable sobre el tiempo que capta actitudes hacia una amplia categoría de ruidos ambientales (Zimmer y Ellermeier, 1999); 3) estados internos (fisiológico, psicológico, de actitud, o relacionado al estilo de vida o actividades) de un individuo, que incrementan sus grados de reacción hacia el ruido en general (Ellermeier *et al.*, 2001), y 4) susceptibilidad al ruido o sonidos y susceptibilidad a la molestia (Miedema y Vos, 2003).

La sensibilidad tiene una relación débil con la exposición al ruido; esto significa que no es la exposición lo que hace a las personas sensibles, sino que la sensibilidad es una característica de las personas que influye en el sentimiento de molestia, independientemente del nivel del ruido de exposición.

Importante conocimiento ha sido obtenido en los estudios socioacústicos que evalúan el impacto que el ruido urbano tiene sobre las personas. Sin embargo, es escaso el entendimiento de la relación entre las variables acústicas y personales en la respuesta de molestia; esencialmente no ha habido un acuerdo de cómo y cuáles variables acústicas y personales deben ser medidas, y es por esto que la comparación de los resultados ha tenido ciertas dificultades.

El reconocimiento de este problema ha generado varios análisis y propuestas; tal es el caso del Comité Internacional de Efectos Biológicos del Ruido (ICBEN) (Fields *et al.*, 2001), que ha llevado a cabo investigaciones con

el propósito de desarrollar, para estudios sociales, una medición de la reacción al ruido percibido en un ambiente residencial.

Los estudios sociales han utilizado varios tipos de preguntas y escalas de respuestas, (verbal y numérica con diferentes categorías) para evaluar la molestia (Hall y Taylor, 1982; Fields, 1984). Algunas preguntas usan una escala unipolar que se extiende desde un polo negativo hasta un punto neutral; otras hacen uso de la escala bipolar que se extiende desde un polo negativo hasta uno positivo. Por ejemplo:

- Escala verbal unipolar de 3 categorías: altamente, considerablemente y moderadamente molesto.
- Escala verbal bipolar de 9 categorías: extremadamente, moderadamente, considerablemente, escasamente agradable, neutral, escasamente, moderadamente, considerablemente y extremadamente molesto.
- Escala numérica bipolar de 11 puntos, donde 0 representa absolutamente nada molesto y 10 es extremadamente molesto.

Ante la diversidad de preguntas y escalas utilizadas en los estudios que evalúan la molestia, desde 1993 el IC-BEN (Fields *et al.*, 2001) empezó a trabajar en una propuesta de preguntas y escalas de respuestas estandarizadas en diferentes idiomas. Se analizó qué tipo de pregunta era más conveniente usar (abierta-cerrada, cerrada), la descripción de la reacción (molestia, perturbación, etc.), la palabra para referirse al ambiente acústico (ruido, sonido), la especificación de las condiciones de la vivienda (día/noche, dentro/afuera, ventanas abiertas o cerradas, etc.) y el tipo de escalas de respuestas. Después de 7 años de investigación, el Comité desarrolló un método para lograr su objetivo. Fueron propuestas dos preguntas en 9 idiomas, una con escala de respuestas verbal de 5 puntos y la otra con escala de respuestas numérica de 11 puntos para evaluar la molestia en la vivienda causada por el ruido ambiental. Ambas preguntas ubican a la persona en un período largo de tiempo para que proporcione su respuesta, identifican la fuente concreta de ruido y preguntan explícitamente por reacciones negativas provocadas por el ruido en cuestión.

Las palabras que conforman la escala verbal de respuestas fueron determinadas en cada idioma mediante un estudio empírico, con el propósito de que correspondieran a la misma posición en una escala de intensidad de reacción al ruido. La versión española de la escala fue el resultado de un trabajo desarrollado en las universidades españolas de Valencia y la Pública de Navarra (García *et al.*, 1999). Las palabras que forman

esta escala son: extremadamente, muy, medianamente, ligeramente y absolutamente nada.

La utilización de preguntas estándar con escalas normalizadas permite la comparación de los resultados de estudios internacionales, y por esto su uso resulta muy recomendable.

El paisaje sonoro

Hasta hace pocos años los estudios socioacústicos se habían enfocado en evaluar los aspectos negativos del ruido (efectos en la salud, molestia, perturbación, por ejemplo). Una tendencia importante en la acústica urbana es que se está poniendo mayor atención al diseño del ambiente sonoro más que a la simple reducción del ruido o al establecimiento de límites tolerables. La investigación está dirigida a desarrollar métodos para analizar el ambiente sonoro desde un punto de vista integral; es decir, teniendo en cuenta la interacción entre las personas, el sonido y el contexto donde este es percibido (Raimbault *et al.*, 2005). Se ha puesto de manifiesto la importancia de analizar el significado social y cultural que las personas atribuyen al ambiente sonoro.

Este nuevo enfoque integra el concepto de *paisaje sonoro*, propuesto por el compositor de música canadiense Murray Schafer en 1969, según el cual el sonido no es entendido como un mero elemento físico del medio, sino como un elemento de comunicación e información entre el hombre y el medio urbano. Desde este planteamiento se considera que el ambiente urbano no debería ser solamente *acceptable*, sino que debería ser un ambiente que promueva reacciones positivas. De acuerdo con el IC-BEN, un ambiente sonoro favorable debería, entre otros beneficios, promover la salud, la interacción social y proporcionar bienestar físico, mental y social a todos los miembros de una comunidad (Gjestland., 2002). Para ello se ha requerido que los estudios sociales desarrollen herramientas y métodos para evaluar la experiencia subjetiva, el significado y la relevancia que tienen los sonidos para las personas, y así poder definir cuáles son las características de un ambiente sonoro favorable para una comunidad determinada.

Los estudios recientes analizan el ambiente sonoro no solo en áreas habitacionales; mayor interés se está poniendo en otro tipo de espacios tales como parques naturales y urbanos, áreas de recreación exteriores, espacios públicos abiertos como plazas, áreas peatonales, áreas de juego, calles y jardines (Ge y Hokao, 2004;

Sheik y Uhl, 2004; Raimbault *et al.*, 2003; Yang y Kang, 2005). Varios de estos estudios se han realizado desde el punto de vista del confort ambiental.

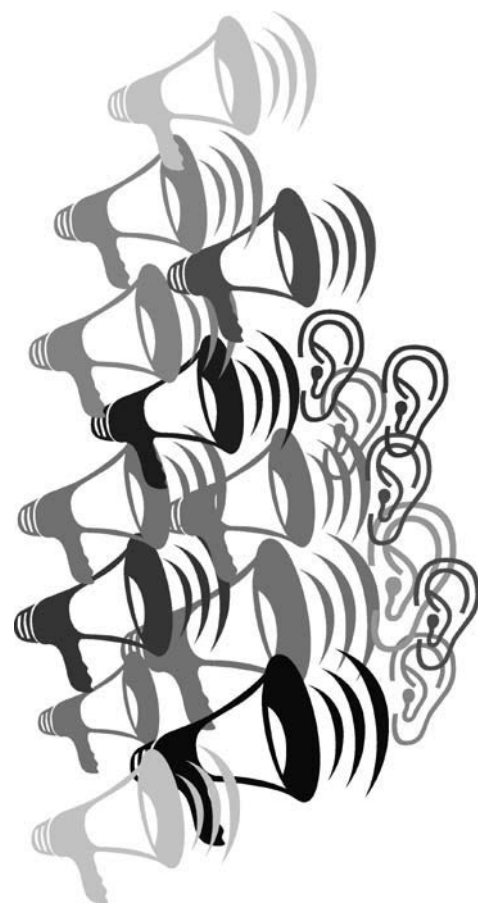
Algunos estudios han puesto interés en la identificación y clasificación de las fuentes sonoras presentes en ambientes urbanos. Diferentes criterios se han usado para clasificar los sonidos: uno, llamado semántico, distingue categorías de sonidos definidas por el grado de: a) presencia humana, b) animales y elementos naturales, c) actividades y d) objetos (Guyot *et al.*, 2005). Así mismo, se han clasificado las fuentes sonoras en: a) sonidos naturales (por ejemplo, flujo de agua, viento, animales), b) sonidos artificiales (música, transporte, etc.) y c) sonidos sociales (voces de personas) (Ge y Hokao, 2004). Otro criterio para clasificar el ambiente sonoro de una ciudad es el nivel de ruido de fondo y el ruido del transporte encontrado en los sitios de estudio; la clasificación va desde áreas muy tranquilas hasta muy ruidosas (Lebiedowska, 2005).

Investigaciones recientes que han puesto énfasis en el análisis de los espacios públicos tienen un diseño similar; la evaluación del paisaje sonoro se hace con dos procedimientos simultáneos en el sitio de estudio: mientras a los usuarios se les pide que expresen su opinión del ambiente a través de cuestionarios, se graban muestras del sonido para calcular indicadores acústicos. Mediante un análisis estadístico se relaciona la respuesta subjetiva con las mediciones acústicas del paisaje sonoro. El tipo de preguntas empleadas en estos trabajos son abiertas y cerradas. La evaluación subjetiva de las fuentes sonoras se hace con dos métodos: a) escalas verbales bipolares en términos de preferencia-repulsión, congruencia-incongruencia, silencioso-ruidoso, comodidad-incomodidad, complementadas con escala numérica para facilitar la respuesta, y b) perfiles diferenciales semánticos con pares de adjetivos como los usados en la escala bipolar. Las encuestas también incluyen preguntas para conocer aspectos demográficos de los encuestados.

La nueva tendencia en la investigación del ruido urbano analiza la comodidad del sitio desde un punto de vista multisensorial e incluye preguntas para evaluar, además del aspecto auditivo, también el visual. Se ha encontrado que la información visual y la sonora son importantes en la percepción del ambiente urbano, lo que sugiere que estos podrían ser un factor de confort estético al interactuar uno con otro (Carles *et al.*, 1999; Viollon *et al.*, 2002; Yang y Kang, 2005; Barrio y Guillén, 2005).

En cuanto a la incidencia que tiene el efecto visual de la urbanización en las preferencias auditivas, los resultados de un estudio en laboratorio (Viollon *et al.*, 2002) indican que cuanto mayor sea el grado de urbanización que las imágenes muestran, tanto más negativa será la evaluación que el sonido presente (no sonidos sociales) en términos de agradable y relajante. Los sonidos naturales y de tráfico diferían significativamente al ser escuchados con o sin imagen, mientras que la valoración de los sonidos sociales era independiente de la aportación de la información visual. Se sugiere que es la mayor capacidad de atención que demanda escuchar sonidos sociales lo que determina que en su valoración no influyan las informaciones provenientes de otros sentidos.

Otras investigaciones han analizado la incidencia de la imagen en la respuesta de tolerancia y molestia, y permiten concluir que los contextos agradables desde el punto de vista visual incrementaban la aceptación del sonido y disminuían la sensación de molestia, mientras que los valorados como desagradables disminuían la tolerancia e incrementaban el nivel de molestia (Barrio y Guillén, 2005).



Los resultados de estas investigaciones sugieren que el sonido y la imagen son dos variables fuertemente relacionadas, razón por la cual el análisis de la calidad urbana debería contemplar, además de criterios visuales, los relacionados con el paisaje sonoro.

Conclusiones

Durante los últimos 50 años, numerosos estudios han tratado de explicar la reacción de las personas al ruido ambiental. El tema es amplio y las investigaciones se han realizado en diferentes direcciones. Mientras que la relación exposición-respuesta al ruido ha sido frecuentemente evaluada de forma negativa en términos de molestia o contaminación ambiental, también ha habido un creciente interés por investigar la influencia de factores no acústicos en dicha relación. Sin embargo, la investigación se ha enfocado en ambientes exclusivamente habitacionales; pero el ruido se encuentra en muchos lugares, por lo que es importante analizar otro tipo de espacios que el hombre usa en su vida cotidiana de tránsito o de estar por la ciudad, como por ejemplo, los espacios públicos abiertos, un importante elemento de las áreas urbanas.

La investigación en el área de la acústica urbana no debe limitarse a la prevención y el control del ruido porque, además de que las medidas implementadas para la protección son costosas, se ha mostrado que reducir el nivel sonoro no necesariamente modifica la respuesta de molestia. Aunque la intensidad del ruido es una variable necesaria para analizar la respuesta al ambiente sonoro, esta, por sí sola, no la define. La respuesta al ambiente sonoro es una respuesta compleja en la que influyen diferentes tipos de variables físicas, sociales e individuales, culturales, estéticas y emocionales. Por ello, es de vital importancia un enfoque multidisciplinario, que involucre a la acústica, a la psicología y a la sociología. Desde esta perspectiva se podrá evaluar la experiencia subjetiva, el significado y relevancia que tienen los sonidos para las personas y será posible definir cuáles son las características de un ambiente sonoro favorable que promueva reacciones positivas en los usuarios de un espacio determinado.

Desde un punto de vista práctico, los resultados pueden ser útiles para quienes están implicados en la toma de decisiones sobre la planificación y el diseño urbano.

BIBLIOGRAFÍA

- Aylor, D.; J. Y. Parlange (1973): "Reverberation in a City Street". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 54, No. 6. pp. 1754-1756.
- Barrio, I. L.; J. D. Guillén (2005): "Calidad acústica urbana: influencia de las interacciones audiovisuales en la valoración del ambiente sonoro". En: *Medio ambiente y comportamiento humano*, Vol. 6, No. 1. pp. 101-117.
- Behar, Alberto (1994): *El ruido y su control*. México: Ed. Trillas.
- Belojevic, G. et al. (1997): "Subjective Reactions to Traffic Noise with Regard to Some Personality Traits". En: *Environment International*, Vol. 23, No. 2. pp. 221-226.
- Berglund, B.; K. Harder (1994): "Annoyance Perception of Sound and Information Extraction". En: *J. Acoust. Soc. Am.*; Vol. 95, No. 3. pp. 1501-1509.
- Berglund, B.; T. Lindvall (eds.) (1995): *Community Noise. Document Prepared for the World Health Organization*. Stockholm, Sweden: Archives of the Center for Sensory Research.
- Bies, D. A.; C. H. Hansen (1988): *Engineering Noise Control: Theory and Practice*. Great Britain: Allen & Unwin. pp. 67-93.
- Bishop, D. E. (1973): "Correlations between Different Community Noise Measures". En: *Noise Control Eng.*, Vol. 1, No. 2. pp. 74-78.
- Bjorner, T. Bue (2004): "Combining Socio-Acoustic and Contingent Valuation Surveys to Value Noise Reduction". En: *Transportation Research. Part D*, Vol. 9. pp. 341-356.
- Boulloua, R. R.; S. J. Pérez Ruíz (1987): "An Exploratory Study of Community Noise Levels in México City". *Applied Acoustics*, Vol. 22. pp. 271-280.
- BrAnBilla, G. (2001): "Physical Assessment and Rating of Urban Noise". En: A. García (ed.): *Environmental Urban Noise*. Great Britain: WIT Press. pp. 15-61.
- Bullen, R.; F. Fricke (1976): "Sound Propagation in a Street". En: *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 46, No. 1. pp. 33-42.
- Carles, J. L. et al. (1999): "Sound Influence on Landscape Values". En: *Landscape and Urban Planning*, Vol. 3. pp. 191-200.
- Cohen, S.; N. Weinstein (1982): *Nonauditory Effects of Noise on Behavior and Health*. En: G. W. Evans (ed.): *Environmental Stress*. USA: Cambridge University Press. pp. 45-73.
- Comisión Europea (1996): *Política futura de lucha contra el ruido*. Libro Verde. Bruselas. Apud: OCDE. *Fighting Noise in the 1990's*. Paris; 1986.
- Concha -BArrientos, M., et al. (2004): *Occupational Noise: Assessing the Burden of Disease from Work-related Hearing Impairment at National and Local Levels*. Geneva: World Health Organization. (WHO Environmental Burden of Disease Series, No. 9).
- Crocker, M. J. (1998): "Rating Measures, Descriptors, Criteria, and Procedures for Determining Human Response to Noise". En: M. J. Crocker (ed.): *Handbook of Acoustics*. USA: Wiley-Interscience Publication. pp. 775-797.

- Eldren , K. M. (1974): "Assessment of Community Noise". En: *Noise Control Eng. J.*, Vol. 3, No. 2, pp. 88-95.
- Ellermeier , W. et al. (2001): "Psychoacoustic Correlates of Individual Noise Sensitivity". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 109, No. 4. pp. 1464-1473.
- Embleton , T.F.W. (1996): "Tutorial on Sound Propagation Outdoors". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 100, No. 1. pp. 31-47.
- EPA (1982): *National Ambient Noise Survey*. EPA 550/9-82-410. Washington, D.C. U.S. Environmental Protection Agency Office of Noise Abatement and Control (ONAC).
- European directive (2002): European Parliament and of the Council. 2002/49/EC. *Official Journal of the European Communities*.
- Fidell , S.; K. S. Pearsons (1998): "Community Response to Environmental Noise". En: M. J. Crocker (ed.): *Handbook of Acoustics*. USA: Wiley-Interscience Publication. pp. 907-915.
- Fidell , S. et al. (1991): "Updating a Dosage-Effects Relationship for the Prevalence of Annoyance Due to General Transportation Noise". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 89, No. 1, pp. 221-233.
- (1988): "A Theoretical Interpretation of the Prevalence Rate of Noise-induced Annoyance in Residential Populations". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 88, No. 6. pp. 2109-2113.
- Fidell , S. (1978): "Nationwide Urban Noise Survey". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, 64 (1). pp. 198-206.
- Fields , J. M. et al. (2001): "Standardized General-Purpose Noise Reaction Questions for Community Noise Surveys: Research and a Recommendation". En: *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 242, No. 4. pp. 641-679.
- Fields , J. M.; J. G. Walker (1982): "Comparing the Relationships between Noise Level and Annoyance in Different Surveys: A Railway Noise vs. Aircraft and Road Traffic Comparison". En: *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 81. pp. 51-80.
- Fields , J. M. (2001): *An Update Catalog of 521 Social Surveys of Residents' Reactions to Environmental Noise (1943-2000)*. NASA/CR-2001-211257. National Aeronautics and Space Administration, Washington, DC.
- (1993): "Effect of Personal and Situational Variables on Noise Annoyance in Residential Areas". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 93, No. 5. pp. 2753-2763.
- (1984): "The Effect of Numbers of Noise Events on People's Reactions to Noise: An Analysis of Existing Survey Data". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 75, No. 2. pp. 447-467.
- Finogold , L. S.; M. S. Finogold (2002): *Development of Exposure-Response Relationships between Transportation Noise and Community Annoyance*. Japan Net-Symposium on Annoyance, Stress and Health Effects of Environmental Noise, Tokyo, Japan.
- Glantz , R. H. (1930): "Results of Noise Surveys. Part I Noise-out of doors". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 2, No. 1. pp. 30-58.
- García , A., et al. (1999): *Evaluación de la molestia producida por el ruido ambiental*. Ávila, España: Técnica99.
- Ge , J.; K. Hokao (2004): "Research on the Sound Environment of Urban Open Space from the Viewpoint of Soundscape. A Case Study of Saga Forest Park, Japan". En: *Acta Acustica United with Acustica*, Vol. 90. pp. 555-563.
- Gjestland , T. (2002): "Current Research Topics and Problems: The Role of ICBCEN". En: *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 250, No. 1. pp. 5-8.
- Green , D. M.; S. Fidell (1991): "Variability in the Criterion for Reporting Annoyance in Community Noise Surveys". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 89, No. 1. pp. 234-243.
- Gusk , R. (2001): "Community Response to Environmental Noise". En: A. García (ed.): *Environmental Urban Noise*. Great Britain: WIT Press. pp. 111-148.
- Guyot , F. et al. (2005): *Urban Sound Environment Quality through a Physical and Perceptive Classification of Sound Sources: A Cross-Cultural Study*. Forum Acusticum, Budapest, Hungary.
- Hall , F. L. et al. (1981): "Direct Comparison of Community Response to Road Traffic Noise and to Aircraft Noise". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 70, No. 6. pp. 1690-1698.
- Hall , F. L.; S. Martin Taylor (1982): "Reliability of Social Survey Data on Noise Effects". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 72, No. 4. pp. 1212-1221.
- Hayashi , Chikio, et al. (1978): "Psychological Assessment of Aircraft Index". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 63, No. 3. pp. 815-822.
- Hossain , H.; P. Woloszyn (2004): "Prediction of the Sound Field into High-Rise Building Facade Due to its Balcony Ceiling Form". *Applied Acoustics*, Vol. 65. pp. 431-440.
- Islam , M. R.; D. J. Oldham (2005): "A Scale Model Investigation of Sound Reflection from Building Facades". En: *Applied Acoustics*, Vol. 66. pp. 123-147.
- Job , R. F. S. (1988): "Community Response to Noise: A Review of Factors Influencing the Relationship between Noise Exposure and Reaction". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 83, No. 3. pp. 991-1001.
- Kang , J. (2000): "Sound Propagation in Street Canyons: Comparison between Diffusely and Geometrically Reflecting Boundaries". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 107, No. 3. pp. 1394-1404.
- Kragh , Jorgen (2001): *News and Needs in Outdoor Noise Prediction*. The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, The Hague, Holland.
- Kryter , K. D. (1982a): "Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise". *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 72, No. 4. pp. 1222-1242.
- (1982b): "Rebuttal by Karl D. Kryter to Comments by T. J. Schultz". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 72, No. 4. pp. 1253-1257.
- (1972): "Acoustical Society of America Policy on Noise Standards". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 51, No. 3. pp. 803-806.
- Laird , D. A. (1930): "The Effects of Noise: A Summary of Experimental Literature". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 1, No. 2. pp. 256-262.
- LeBiedowska , B. (2005): "Acoustic Background and Transport Noise in Urban Areas: A Note on the Relative Classification of the City Soundscape". En: *Transportation Research Part D*, Vol. 10. pp. 341-345.
- Luz , G. A., et al. (1983): "An Analysis of Community Complaints to Noise". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 73, No. 4. pp. 1229-1235.
- MacArewicz , R. (1991): "Air Absorption of Traffic Noise". En: *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 161, No. 2. pp. 193-202.
- Martin , S. J.; D. C. Hothersall (2002): "Numerical Modeling of Median Road Traffic Noise Barriers". En: *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 251, No. 4. pp. 671-681.
- Meyer , A. F. (1972): "The Need for Standards on noise". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 51, No. 3. pp. 800-802.

- Miedema, H. M. E. et al. (2005): "Effect of Season and Meteorological Conditions on Community Noise Annoyance". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 117, No. 5. pp. 2853-2865.
- Miedema, H. M. E.; H. Vos (2003): "Noise Sensitivity and Reactions to Noise and Other Environmental Conditions". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 113, No. 3. pp. 1492-1504.
- (1999). "Demographic and Attitudinal Factors that Modify Annoyance from Transportation Noise". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 105, No. 6. pp. 3336-3344.
- (1998): "Exposure-response Relationships for Transportation Noise". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 104, No. 6. pp. 3432-3445.
- Narud, S. (2002): *The State-of-the-art on Economic Valuation of Noise*. Report to the European Commission DG Environment.
- OECD (2003): *Environmental Indicators, Development, Measurement and Use*. France.
- (2001): *Human Health and the Environment*. Chapter 21. France.
- Ohrstrom, E. et al. (2006): "Effects of Road Traffic Noise and The Benefit of Access to Quietness". En: *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 295. pp. 40-59.
- Onu, M. U. (2000): "Road Traffic Noise in Nigeria: Measurements, Analysis and Evaluation of Nuisance". En: *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 233, No. 3. pp. 391-405.
- Picaut, J. (2002): "Numerical Modeling of Urban Sound Fields by a Diffusion Process". En: *Applied Acoustics*, Vol. 63. pp. 965-991.
- Raimbault, M. et al. (2005): "Urban Soundscapes: Experiences and Knowledge". En: *Cities*, Vol. 22, No. 5. pp. 339-350.
- (2003): "Ambient Sound Assessment of Urban Environments: Field Studies in Two French Cities". En: *Applied Acoustics*, Vol. 64. pp. 1241-1256
- Rylander, R.; M. Björkman (2002): "Planning Consequences of the Maximum dB (A) Concept. A Perspective". En: *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 250, No. 1. pp. 175-179.
- Sayed, Abas Ali (2004). Investigation of the dose-response relationship for road traffic noise in Assiut, Egypt. *Applied Acoustics*, Vol. 65. pp. 1113-1120.
- Schomer, P.D. (1985): "Assessment of community Response to Impulsive Noise". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 77, No. 2. pp. 520-535.
- Schultz, T. J. (1978a): "Synthesis of Social Surveys on Noise Annoyance". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 64, No. 1. pp. 377-404.
- Schultz, T. J. (1978b): "Comments on K. D Kryter's Paper. Community Annoyance from Aircraft and Ground Vehicle Noise". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 72, No. 4. pp. 1243-1252.
- Shaw, E. A. G. (1996): "Noise Environments Outdoors and the Effects of Community Noise Exposure". En: *Noise Control Eng. J.*, 44 (3): 109-119. Apud: Report of the Administrator of the Environmental Protection Agency to the President and Congress on Noise (Senate Document 92-63, U.S. GPO, Washington, DC, 1972).
- Sheik, P.A.; C. Uhl (2004): "Airplane Noise: A Pervasive Disturbance in Pennsylvania Parks, USA". En: *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 274. pp. 411-420.
- Skinner, C. J.; C. J. Grimwood (2005): "The UK Noise Climate 1990-2001: Population Exposure and Attitudes to Environmental Noise". En: *Applied Acoustics*, Vol. 66. pp. 231-243.
- Sommerho, Jorge et al. (2004): "Community Noise Survey of the City of Valdivia, Chile". En: *Applied Acoustics*, Vol. 65. pp. 643-656.
- Stathis, T.C. (1981): "Community Noise Levels in Patras, Greece". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 69, No. 2. pp. 468-476.
- Steele, C. (2001): "A Critical Review of Some Traffic Noise Prediction Models". En: *Applied Acoustics*, Vol. 62. pp. 271-287.
- US Department of Housing And Urban Development (1984): 24 CFR Part 51, *Environmental Criteria and Standards*, 44 FR 40860, July 12, 1979; amended by 49 FR 880, January 6.
- Vallet, M. (2001): "Effects of Noise on Health". En: A. García (ed.): *Environmental Urban Noise*. Great Britain: WIT Press. pp. 64-109.
- Violon, S. et al. (2002): "Influence of Visual Setting on Sound Ratings in an Urban Environment". En: *Applied Acoustics*, Vol. 63. pp. 493-511.
- Von Gierke, H. E. (1975). "Noise -How Much is Too Much?". En: *Noise Control Eng. J.*, Vol. 5, No. 1. pp. 24-34.
- Wardman, M. et al. (2005): *Applying Stated Preference Methods to the Valuation of Noise: Some Lessons to Date*. The 2005 Congress and Exposition on Noise Control Engineering. Brazil.
- WHO (2004): *Development of Environment and Health Indicators for European Union Countries: Results of a Pilot Study*. Bonn, Germany.
- (2003): *Technical Meeting on Noise and Health Indicators. Second Meeting - Results of the Testing and Piloting in Member States*. Bonn, Germany
- (1999): *Guidelines for Community Noise*. Geneva.
- Winne, S. W. (1930): "New York City's Noise Abatement Commission". En: *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 2, No. 1. pp. 12-17.
- Yang, W.; J. Kang (2005): "Acoustic Comfort Evaluation in Urban Open Public Spaces". En: *Applied Acoustics*, Vol. 66. pp. 211-229.
- Zannin, Paulo H. T. et al. (2003): "A Survey of Urban Noise Annoyance in a Large Brazilian City: The Importance of a Subjective Analysis in Conjunction with an Objective Analysis". En: *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 23. pp. 245-255.
- Zimmer, K.; W. Ellermeier (1999): "Psychometric Properties of Four Measures of Noise Sensitivity: A Comparison". En: *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 19. pp. 295-302.