



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN URBANISMO

“ANÁLISIS DEL AMBIENTE SONORO
Y DE LA REACCIÓN HUMANA AL RUIDO
EN ESPACIOS URBANOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTORA EN URBANISMO

PRESENTA
MIRIAM GERMAN GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS
DR. FERNANDO GREENE CASTILLO

México D.F.

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Director de tesis:

Dr. Fernando Greene Castillo

Sinodales:

Dr. Luis Chías Becerril

Dr. Felipe Orduña Bustamante

Dr. Cesáreo Estrada Rodríguez

Dr. Juan Miguel Barrigón Morillas

Dedicatoria

A mis padres:

Alejandro y María Teresa

A mis hermanos:

Diana y Eric

A mis sobrinos:

Daniel, Diana, Alehidys y Erick

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que me ayudaron durante la elaboración de esta tesis y para la obtención de mi grado académico de Doctora en Urbanismo.

El más sincero agradecimiento a mi director de tesis, Dr. Fernando Greene Castillo por todo el apoyo académico que me brindó durante la elaboración de este trabajo de investigación, por su amistad y por sus consejos sobre la vida.

A los doctores miembros del comité tutorial y del jurado, Luis Chías Becerril, Felipe Orduña Bustamante y Cesáreo Estrada Rodríguez, por su ayuda e interés en este trabajo de investigación.

Al Dr. Juan Miguel Barrigón Morillas, miembro del jurado, por su asesoría durante la estancia de investigación que realicé en la Escuela Politécnica de la Universidad de Extremadura en Cáceres, España, y por la revisión, discusión y aportación para la elaboración de este trabajo.

A la Dra. María del Carmen Valverde Valverde por su asistencia desde la coordinación del programa de Maestría y Doctorado en Urbanismo, para realizar trámites administrativos y gestionar recursos económicos para apoyarme en diversas actividades.

Al Dr. Arturo Orozco Santillán por sus enseñanzas en el área de acústica y sus consejos en la elaboración de este trabajo.

A la UNAM, que a través del Programa de Apoyo a los Estudios de Posgrado-2007, me proporcionó los recursos económicos para participar en el “14th International Congress on Sound and Vibration”, Cairns, Australia, en Julio de 2007.

Al CONACYT, que a través de sus programas de apoyo a la formación de científicos y tecnólogos, me brindó una beca para realizar mis estudios de doctorado y los recursos económicos para la compra de un sonómetro y para la realización de una estancia de investigación.

Al Departamento Francés de Relaciones Europeas y Exteriores por el apoyo económico para participar en el congreso “Acoustics'08” en Paris, Francia en Julio de 2008.

A María de Lourdes Valdés Velasco y a Dafne Camacho Mastache por su apoyo durante los trámites administrativos en la coordinación del programa de Maestría y Doctorado en Urbanismo.

A mi esposo por su amor y confianza.

Capítulo 1

Jurado	i
Dedicatoria y agradecimientos	ii
Introducción	1
Resumen	7
Planteamiento de la investigación: problema, justificación, hipótesis y objetivos	8
Aspectos físicos y subjetivos relacionados con el sonido	
Introducción	11
1.1 Física del sonido	11
¿Qué es el sonido?	11
Características de las ondas sonoras	12
Medición del sonido	14
Suma y resta de decibeles	17
Tipos y representación de sonidos	19
Propagación del sonido en campo libre	20
1.2 La audición humana	22
El sistema auditivo	22
Umbrales de audición y de dolor	23
Frecuencias audibles	23
1.3 Medidas para evaluar el ruido urbano	24
Unidades de ponderación	24
Escalas	25
Índices	27
1.4 Instrumentos de medición	27
Un poco de historia	27
Los sonómetros	28
Calibración del equipo de medición	29
Referencias	30

Capítulo 2

El ruido urbano	
Introducción	31
2.1 Definición del ruido urbano	31
2.2 Efectos del ruido urbano en la comunidad	32
Efectos del ruido urbano en la salud y bienestar	32
Los costos económicos del ruido urbano	34
2.3 Evaluación del ruido urbano	36
Evaluación cuantitativa del ambiente sonoro	36
Respuesta de la comunidad al ruido ambiental	38
El paisaje sonoro	42
Conclusiones	43
Referencias	44

Capítulo 3	Factores que influyen en la molestia provocada por la exposición al ruido urbano	
	Introducción	48
	3.1 El concepto de molestia	48
	3.2. Factores que influyen en la molestia	49
	Factores acústicos	49
	Factores no acústicos	54
	Conclusiones	60
	Referencias	61
Capítulo 4	Legislación para el ruido urbano	
	Introducción	64
	4.1 Organismos internacionales	64
	4.2 Legislación en el extranjero	67
	4.3 Legislación en México	76
	Discusión y conclusiones	78
	Referencias	80
Capítulo 5	Metodología	
	Introducción	82
	5.1 Zonas de estudio en la Ciudad de México	82
	Elección de las zonas de estudio	83
	5.2 Mediciones de ruido en espacios públicos abiertos	88
	Identificación de las fuentes de ruido	89
	Localización de los puntos de medición	89
	Primeras mediciones	89
	Segundas mediciones. Propuesta de categorización del sistema vial de la Ciudad de México	
	Alcance de la medición	95
	Fecha, horario y duración de la medición	95
	Características del equipo de medición	96
	Información de apoyo	97
	Procedimiento de campo	97
	Análisis de los datos	98
	5.3 Estudio social en calles de las zonas de estudio	99
	Naturaleza de la información	99
	Tipo de cuestionario	99
	Estudio piloto	100
	Estudio en extenso	103
	Análisis de los datos	105
	Referencias	105

Capítulo 6	Mediciones de ruido en espacios públicos abiertos	
	Introducción	107
	6.1 Niveles sonoros en plazas	108
	Distribución porcentual de los niveles sonoros	108
	Variación temporal de los niveles sonoros	108
	Variación espacial de los niveles sonoros	109
	Espectros sonoros	110
	6.2 Niveles sonoros en calles	112
	Influencia del flujo vehicular en el nivel sonoro	112
	Distribución porcentual de los niveles sonoros	113
	Variación temporal de los niveles sonoros	115
	Variación espacial de los niveles sonoros	116
	Análisis de la categorización del sistema vial propuesta	119
	Espectros sonoros	119
	Comparación de los niveles sonoros con resultados internacionales	121
	Conclusiones	124
	Referencias	125
Capítulo 7	Estudio social: Impacto del ruido urbano en peatones de la Ciudad de México	
	Introducción	128
	7.1 Descripción de la muestra	128
	7.2 Aspectos afectivos	130
	7.3 Efectos provocados por el ruido	136
	7.4 Creencias relacionadas con el ruido y estrategias para afrontarlo ...	138
	7.5 Percepción del ruido	140
	7.6 Molestia provocada por el ruido	142
	7.7 Niveles de ruido	146
	Discusión	148
	Conclusiones	157
	Referencias	158
Capítulo 8	Conclusiones generales, recomendaciones y trabajo futuro	160
Anexos	A. Ejemplos de funciones exposición-respuesta al ruido ambiental	166
	B. Hoja de datos de apoyo para la medición del ruido	172
	C. Encuesta	174
	D. Pruebas no paramétricas	176

Introducción

El ruido, desde el punto de vista psicológico ha sido definido como un sonido indeseado. Cuando se evalúa el impacto en la salud y bienestar del ser humano, éste es usualmente clasificado en ruido ocupacional y ambiental. El primero es el que se genera en condiciones de trabajo industrial, el segundo es el que se produce en todos los espacios a nivel doméstico y comunidad. El ruido ambiental, también llamado urbano, se propaga por las áreas exteriores de una comunidad y puede afectar a los usuarios tanto de espacios abiertos como de espacios cerrados.

El ruido urbano ha sido tema de preocupación social y política desde tiempos antiguos. Por ejemplo, en ciudades de Grecia y Roma, ya se prohibía el ruido excesivo con el propósito de proteger a la comunidad de los efectos adversos provocados por los altos niveles sonoros. Desde entonces se han expresado opiniones que se refieren al efecto negativo del ruido sobre las personas. Por ejemplo, en el año 110 después de Cristo, el poeta romano Juvenal, en uno de sus poemas hace referencia al insomnio provocado por el ruido, como una causa de muerte entre los romanos [1]. El filósofo alemán Arthur Schopenhauer (1788-1860) escribió que el ruido es el perturbador más impertinente [2]. Al final del siglo XIX, el médico alemán Robert Koch señaló que llegaría el día cuando la humanidad tendría que luchar contra el ruido, tal como ocurría con el cólera y la peste [3]. Con todo, el problema del ruido en esos tiempos no se compara con el actual, que tomó dimensiones

mayores conforme el número de fuentes sonoras y de personas afectadas se incrementó.

La humanidad habitó predominantemente en asentamientos pequeños hasta mediados del siglo XVIII. A partir de la Revolución Industrial la tasa de crecimiento demográfico mundial empezó a crecer considerablemente, aumentando el tamaño y número de las ciudades. Durante las últimas seis décadas en el mundo se ha dado un crecimiento dramático de la población urbana [4], en 1950 sólo el 29% de la población mundial vivía en ciudades, en el año 2003 la proporción se incrementó a 48% y se ha pronosticado que el 61% de la población mundial será urbana en el año 2030. La velocidad y escala del crecimiento urbano han sido mayores especialmente en las regiones menos desarrolladas; tal es el caso de la región de Latinoamérica y el Caribe, donde su población urbana en 2003 fue del 77% y se pronostica que en el año 2030 sea de aproximadamente 85%. Tal proceso de urbanización, aunado al desarrollo de la industria y del transporte, ha influido en gran medida en el deterioro ambiental.

En el marco de los diversos problemas medioambientales urbanos que han despertado el interés social y político, el ruido en muchos países ha dejado de ocupar un lugar secundario, respecto a otros contaminantes en la política de protección ambiental. Sin embargo, en otros aun no es un tema prioritario.

En esta situación probablemente ha influido el escaso conocimiento que, hasta hace unas décadas, se tenía sobre los efectos del ruido en los seres humanos. Aunado a esto, llegó un momento en el que el ruido se asumió como algo inevitable, inherente al desarrollo urbano y característico de la vida en una ciudad. Como lo muestran los siguientes ejemplos. Schopenhauer, en su ensayo sobre el ruido señala que hay mucha gente que no es sensible a éste y que existe una tolerancia general hacia el ruido innecesario [2]. Kryter, en un artículo publicado en 1972 [5], cita el comentario de un hombre que, al percatarse de la contaminación que hay a su alrededor (del aire, sonora, por basura, etc.), expresa: “It’s obvious that with a high standard of living one must accept a low quality of life”.

La aceptación del ruido empezó a cambiar cuando se iniciaron estudios relacionados con éste desde los puntos de vista objetivo y subjetivo. El primero ha involucrado el análisis del ruido urbano a través de mediciones de los niveles sonoros y métodos de predicción, y el segundo ha comprendido el análisis de la reacción humana al ruido a través de estudios sociales en las ciudades. Por ejemplo, uno de los primeros estudios de medición del ruido ambiental, a gran escala, fue realizado en 1930 en la ciudad de Nueva York [6]. Tales estudios se ampliaron considerablemente, a escala mundial, a partir de la década de 1970, cuando empezó a surgir la normatividad en diversos países para evaluar y controlar la contaminación acústica. Los estudios sociales han sido realizados desde la década de los años cuarenta; uno de los primeros fue llevado a cabo en 1943 en 40 ciudades de Gran Bretaña [7].

Numerosos estudios han coincidido en que, en las ciudades, el ruido está presente prácticamente en todos los momentos del día y en muchos de los espacios, interiores y exteriores, que el hombre utiliza para desarrollar sus actividades. El ruido se hace

presente a través de innumerables fuentes sonoras, tales como: los medios de transporte (vehículos automotores, aeronaves y trenes), la construcción, la industria, obras públicas, las actividades recreativas, y el vecindario (mascotas, equipo de jardinería, actividades domésticas, etc.), entre otras. Estas fuentes sonoras, en conjunto o por sí solas, afectan la salud y el bienestar de las personas, produciendo efectos específicos, por ejemplo: deficiencia auditiva, interferencia en la comunicación oral, trastorno del sueño y del reposo, efectos psicofisiológicos, sobre la salud mental y el rendimiento, efectos sobre el comportamiento, interferencia en actividades.

Cabe mencionar que la contaminación por ruido no sólo afecta a los seres humanos; estudios recientes han mostrado que el ruido urbano también afecta a los animales que viven en condiciones naturales en las ciudades [8]. Los altos niveles de ruido afectan principalmente a especies que usan el sonido para comunicarse, debido a que éste enmascara sus señales e interfiere en el intercambio de información vital, como por ejemplo en el caso de las aves, que han tenido que adaptarse, al ajustar la estructura de su canto a los altos niveles de ruido de las ciudades.

Aunado a los efectos provocados por el ruido ambiental en la salud y bienestar de las personas, se suma los costos económicos generados por la protección comunitaria y privada (barreras acústicas, aislamiento sonoro en ventanas, etc.), las pérdidas de productividad, el cuidado de la salud, las pérdidas de bienestar psicológico y el cambio del valor de mercado de la vivienda.

Si bien no ha sido posible determinar con precisión la cantidad de personas afectadas y los costos sociales generados por el ruido urbano, es un hecho que la dimensión del problema es grande.

Tan es así que organismos internacionales, como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización para el Comercio y Desarrollo Económico (OCDE), han incluido el tema del ruido urbano dentro de sus programas ambientales de investigación prioritaria, señalándolo además como un indicador de la calidad ambiental urbana.

El trabajo de investigación sobre la reacción humana al ruido ha tenido diversas complicaciones porque, como señala Baron [9], “podemos medir el sonido; pero sólo podemos hacer estimaciones sobre el ruido”. Esto se debe a los aspectos personales involucrados en la percepción auditiva. Es decir, que en la interpretación que un individuo hace de la energía acústica en su cerebro influyen, además de los factores físicos del sonido, factores no acústicos relacionados con las personas, tales como la expectativa, la habituación, la actitud, la actividad en el momento de la experiencia sonora. Por ejemplo, un sonido fuerte puede ser aceptable si se trata de sirenas de vehículos de emergencia, mientras que un sonido más débil, por ejemplo, el ladrido del perro del vecino, puede ser perturbador y muy molesto. O bien, mientras que una pieza musical puede ser escuchada por alguien como *música bella*, otros pueden escuchar *ruido*.

Diversos investigadores han remarcado la importancia del estudio de estos factores no acústicos porque, aunque se ha mostrado que existe un incremento en la molestia con el aumento del nivel de presión sonora, existe una gran variabilidad en la reacción individual a exposiciones con igual nivel sonoro [10]. De tal forma que el ruido puede explicar solamente un valor pequeño (menos del 20%) de la variación de la respuesta individual de molestia. Aunque en promedio, éste explica hasta el 67%.

De acuerdo con la OMS, el efecto de molestia no es de los más graves, pero es de los más fáciles de evaluar, da una buena imagen de la situación de ruido en un país y alertan sobre problemas más serios.

Con base en la investigación realizada en torno al ruido ambiental, en diversos países se han implementado políticas de lucha contra esta contaminación por ruido. A escala internacional, durante varias décadas, esta política estuvo enfocada principalmente en la legislación de emisión de ruido de las fuentes sonoras, concebida fundamentalmente con propósitos de mercado, más que como un instrumento de un programa de lucha contra el ruido. Sin embargo, en los últimos años, ha existido mayor interés por la política basada en criterios (definidos en guías o normas), que establecen niveles de ruido, considerados como aceptables en diversas situaciones y tipos de espacios.

Los criterios de niveles de ruido aceptables se han definido para diversos tipos de espacios como, escuelas, hospitales, áreas residenciales, de conservación, comerciales, mixtas e industriales, zonas deportivas o de recreación, entre otros. Por otro lado, el estudio del impacto del ruido ambiental se ha realizado principalmente en áreas residenciales. Sin embargo, recientemente, ha surgido el interés por analizar el efecto que tiene este ruido en los usuarios de otros tipos de áreas, como por ejemplo los espacios públicos abiertos: plazas, parques, calles, jardines, entre otros.

Los usuarios de los espacios públicos, los peatones, no incluye solamente a las personas que caminan, sino también a aquellas que viven la ciudad de otras formas: sentados, acostados o jugando en estos espacios. De acuerdo con el urbanista Jan Gehl [11] puede haber una estrecha relación entre la calidad de la ciudad y las actividades del peatón; si la calidad disminuye, la gente optará por pasar menos tiempo en los espacios públicos; pero

si la calidad mejora, la gente saldrá más y destinará mayor tiempo a desarrollar una amplia gama de actividades sociales y recreativas.

En las últimas décadas, en las ciudades de países desarrollados, se ha visto mayor interés por parte de las autoridades y de los ciudadanos por promover los derechos del peatón. Situación que es incipiente en la Ciudad de México, donde se han realizado foros para proponer una iniciativa de ley del peatón. Esta propuesta considera aspectos relacionados con: la creación de caminos peatonales en los centros históricos, el bloqueo de calles con plumas, las banquetas en mal estado, los vendedores ambulantes, el desdoblamiento de comercios en vía pública y el mobiliario urbano. Tal propuesta muestra que el problema no se ha concebido desde un punto de vista holístico, como se observa por ejemplo en la Carta Europea de los Derechos del Peatón adoptada desde 1988 [12], donde la seguridad física y psicológica de los peatones en áreas públicas contempla aspectos ambientales. A este respecto, y en concreto relacionado con el ruido, la carta dice, por ejemplo: que “el peatón tiene en particular el derecho de esperar el cumplimiento de las normas relativas a las emisiones acústicas de los vehículos de motor consideradas científicamente como aceptables y, a la implantación generalizada en el transporte público de vehículos que no sean fuente de contaminación acústica”. En la Ciudad de México, donde los peatones empiezan a ser tomados en cuenta, debería salir a la luz también el tema de la contaminación acústica y sus efectos en los usuarios de los espacios públicos abiertos.

Aunque el ruido urbano en muchas ciudades de países en desarrollo no ha sido reconocido como un factor importante de contaminación ambiental, la OMS sugiere que en éstas el problema también puede ser de consideración

debido al número de vehículos y a la deficiente planificación de las ciudades.

En el caso de la Ciudad de México, el tema del ruido en la ciudad apareció por primera vez en los periódicos en 1959, después de que investigadores universitarios dieron a conocer que en algunas zonas del Distrito Federal el ruido sobrepasaba el límite impuesto en países industrializados. Las opiniones, en foros nacionales e internacionales, sobre la importancia del tema del ruido en la ciudad se empezaron a dar con mayor frecuencia a partir de la década de los años setenta; sin embargo, el trabajo científico y el desarrollo de herramientas normativas para la lucha contra este contaminante hasta nuestros días han sido escasos y limitados.

El tema del ruido urbano tiene diferentes aspectos, que han sido atendidos desde diversas áreas del conocimiento. De esta forma, el trabajo presentado aquí se aborda desde el campo del conocimiento del urbanismo para hacer un análisis del ambiente sonoro en espacios públicos abiertos y del impacto que tiene el ruido en los peatones que usan este tipo de espacios.

El trabajo está desarrollado en los siguientes apartados y capítulos.

Se presenta un apartado donde se explica el planteamiento del trabajo a través de la descripción del problema a estudiar, la justificación para investigarlo, los objetivos y la hipótesis que sustentan tal investigación. Posteriormente se presentan los 8 capítulos que componen el trabajo.

El objetivo del primer capítulo es presentar una descripción de conceptos básicos, que son necesarios para entender el tema sobre ruido que se desarrolla en el trabajo de investigación reportado en esta tesis. Preguntas como ¿qué es el sonido?, ¿cómo es cuantificado y medido?, ¿cómo se propaga?, ¿cómo puede ser representado?, ¿cómo es la

interacción del sonido con nuestro sistema auditivo?, entre otras serán objeto de análisis en este capítulo.

El propósito del capítulo dos es mostrar el problema del ruido urbano desde el punto de vista de la afectación en la salud, bienestar y economía de la sociedad. Así como revisar la evolución que ha tenido la investigación en torno al análisis y la evaluación del ruido en espacios urbanos.

En el capítulo tres se presenta una revisión de la investigación que se ha reportado en la literatura, sobre la influencia que ejercen los factores acústicos y no acústicos en la respuesta de molestia provocada por el ruido ambiental.

En el capítulo cuatro se explora la legislación sobre niveles de ruido permitidos en diversas situaciones y tipos de espacios. Se muestran algunos ejemplos de guías y normas definidas por organismos internacionales y en algunos países del extranjero, donde se incluyen cinco ejemplos de América Latina. Así mismo, se describe brevemente la situación de México respecto a la normatividad existente sobre el ruido ambiental.

El capítulo cinco se hace una descripción de las características geográficas de las dos zonas que fueron estudiadas y de las razones por las que éstas fueron elegidas. Posteriormente se explica la metodología que se siguió para el desarrollo del trabajo de investigación que se dividió en dos partes para su elaboración: una investigación de las condiciones de ruido ambiental en plazas y vialidades de las zonas de estudio, a través de mediciones del nivel sonoro en diversos puntos distribuidos en estos sitios y un estudio social en calles de las zonas de estudio, a través de la aplicación de una encuesta, diseñada para evaluar el impacto que tiene el ruido urbano en los peatones.

En el capítulo seis se muestran los resultados de los niveles sonoros medidos en las plazas y en las vialidades de los sitios de estudio, a través de la siguiente información: distribución porcentual de los niveles sonoros, variación temporal y espacial de los niveles, espectros sonoros, influencia del flujo vehicular en el nivel sonoro, análisis de la categorización propuesta del sistema vial de la Ciudad de México para el estudio del ruido y comparación de los niveles de ruido obtenidos con los resultados de estudios realizados en otros países.

El capítulo siete contiene los resultados del estudio social, que se presentan en siete apartados: (1) descripción de la muestra, (2) aspectos afectivos, (3) efectos provocados por el ruido, (4) creencias relacionadas con el ruido y estrategias para afrontarlo, (5) percepción del ruido, (6) molestia provocada por el ruido y (7) niveles de ruido.

El capítulo ocho tiene las conclusiones generales del trabajo de investigación y recomendaciones de medidas que deberían incluirse en una política de lucha contra el ruido urbano.

Finalmente se incluye un apartado para los siguientes anexos: ejemplos de funciones exposición-respuesta al ruido ambiental determinadas a partir de investigaciones realizadas por diversos autores, la hoja de datos de apoyo para la medición del ruido, el formato de la encuesta de impacto del ruido urbano en peatones de la Ciudad de México y una descripción de las pruebas estadísticas no paramétricas que se utilizaron en el análisis de los resultados.

Referencias

- [1] Embleton TFW. Tutorial on sound propagation outdoors. *J Acoust Soc Am* 1996;100(1):31-47.
- [2] Schopenhauer A. Essay: On noise. Disponible en: <http://ebooks.adelaide.edu.au>. Consultada el 15 de junio de 2008.
- [3] García A (Ed). Environmental Urban Noise. Great Britain: WIT Press; 2001, p .
- [4] United Nations, Department of Economic and Social Affairs. World Urbanization Prospects: the 2003 revision. March 2004.
- [5] Kryter KD. Acoustical Society of America Policy on Noise Standards. *J Acoust Soc Am* 1972; 51(3):803-806.
- [6] Sabine PE. The Acoustical Society and Noise Abatement. *J Acoust Soc Am* 1942;13(3):207-209.
- [7] NASA. Fields JM. An update catalog of 521 social surveys of residents' reactions to environmental noise (1943-2000), NASA/CR-2001-211257. Washington, DC; 2001.
- [8] Warren PS. et al. Urban Bioacoustics: it's not just noise. *Animal Behaviour* 2006;71:491-502.
- [9] Baron RA. La tiranía del ruido. México: FCE; 1970, p 53.
- [10] Job RFS. Community response to noise: A review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction. *J Acoust Soc Am* 1988;83(3):991-1001.
- [11] Gehl J. Planeando para peatones. 2o. congreso internacional "El peatón en el uso de las ciudades y espacios públicos", Ciudad de México 1981.
- [12] WHO. Directory of resources on transport, health and environment in developing countries. European Charter of Pedestrians' Rights. European Parliament, 1988.

Resumen
Abstract

El ruido urbano ha tomado importancia por el número de personas expuestas, los efectos en la salud y bienestar y los costos sociales que genera. Sin embargo, en México el trabajo científico sobre este tema ha sido escaso y limitado. Los objetivos de la presente investigación fueron el análisis de: las condiciones sonoras en espacios públicos abiertos de dos zonas en la Ciudad de México y del impacto que tiene el ruido urbano en los peatones. Para ello, se realizaron mediciones de ruido en plazas y diferentes tipos de vialidades, en un horario diurno en días laborales. Así mismo, en diversas calles se realizó un estudio social a través de encuestas aplicadas a transeúntes. Los resultados mostraron que los niveles sonoros medidos fueron mayores a aquellos recomendados por organismos internacionales. El ruido en la ciudad está estratificado y un importante porcentaje de la variación de éste fue causado por el flujo vehicular. El estudio social mostró que, aunque el ruido tiene un impacto negativo en diversos aspectos estudiados de las personas, éste no influye negativamente en el uso de las calles, pues las personas lo enfrentan a través de estrategias emocionales, que les ayudan a expresar menor molestia. En este sentimiento se observó una variabilidad interindividual muy grande. En términos generales se observó cierta influencia de las variables demográficas en la reacción ante el ruido. Los resultados de este trabajo también muestran un panorama del problema de ruido en espacios públicos abiertos de la Ciudad de México desde un enfoque humano y social, que pueden servir de base para trabajos futuros de mayor dimensión sobre la contaminación sonora.

Urban noise has become to be an important topic due to the number of people exposed to it, the effects on people's health and well-being, and the social cost that it generates. However, in Mexico scientific work about this topic has been scarce and limited. The objectives of the present investigation have been the analysis of the sound environment in open public spaces of two zones in Mexico City, and the impact of urban noise on pedestrians. Measurements of noise were carried out in plazas and in different kinds of streets, during a diurnal period and working days. In addition, a social study through questionnaires applied to pedestrians was carried out in different streets. The results showed that the measured noise levels were higher than those recommended by international organizations. The noise in the city is stratified, and an important percentage of the noise variability was due to vehicular flow. The social study showed that, even though the negative impact of noise in different studied people's aspects, the noisy conditions do not have a negative influence in the use of streets because people confront noise through emotional strategies that help to diminish the levels of annoyance. In this sense, a large individual variability was observed. A certain influence of demographic variables on noise reaction was in general detected. The results of the present work also give an overview of noise problem in open public spaces of Mexico City from a human and social point of view; the results can be a useful base for future works of larger dimension on noise pollution in Mexico City.

Planteamiento de la investigación

El problema

El ruido urbano es uno de los problemas ambientales que la humanidad está confrontando actualmente en las ciudades. Aunque no existen datos exactos de su magnitud, ha llegado a ser de gran importancia por el número de personas expuestas, los efectos que tiene en la salud y bienestar de la comunidad y los costos sociales que genera. Por todo esto, el ruido urbano ha sido considerado por organismos internacionales como un indicador de la calidad ambiental urbana y tema que requiere una investigación prioritaria.

Este tema en muchos países ha dejado de ocupar un lugar secundario, respecto a otros contaminantes y ha motivado el desarrollo de estudios, que han sido la base para una política de lucha contra el ruido. En otros países este tema no ha sido reconocido como un factor importante de contaminación ambiental; sin embargo, algunos estudios de carácter exploratorio [1-3] sugieren que el problema de ruido ambiental es de consideración. En México el trabajo científico sobre el tema del ruido ha sido escaso y limitado.

Generalmente el estudio del ruido, a escala internacional, se ha enfocado en analizar los ambientes urbanos para estimar el efecto que el ruido tiene sobre las personas en espacios privados y públicos cerrados, y no sobre las

personas en los espacios públicos abiertos [4]. Sin embargo, recientemente ha surgido mayor interés por analizar el ruido en espacios que juegan un papel importante en la vida diaria de una ciudad, tales como: plazas, parques, calles, jardines, entre otros, desde el punto de vista del efecto que tiene éste en los usuarios de dichos espacios [5,6]. De esta forma se está dando mayor importancia a estos usuarios, llamados en general peatones.

En ciudades de países desarrollados los derechos del peatón incluyen la seguridad física y psicológica de éstos, considerando aspectos ambientales a través del cumplimiento de las normas de contaminación, entre las que destacan la sonora [7]. En la Ciudad de México, recientemente, se han empezado a analizar los derechos del peatón; sin embargo, en las propuestas de protección a éste no se incluyen aspectos relacionados con el ruido urbano. De igual forma, en los programas de rescate de los espacios públicos abiertos que han sufrido un abandono y deterioro durante las últimas décadas, no se ha propuesto un plan integral que involucre el espacio, a los usuarios y la calidad ambiental.

Si esta calidad mejorara, probablemente la gente pasaría mayor tiempo en los espacios públicos abiertos y desarrollaría una amplia gama de actividades sociales, recreativas e incluso de descanso.

2. Justificación

La Ciudad de México (Distrito Federal), junto con municipios de estados vecinos, forma una de las áreas metropolitanas más grandes del mundo, conocida como Zona Metropolitana del Valle de México, que registró en el año 2005 una población de aproximadamente 18 millones de habitantes [8]. El Distrito Federal tiene una superficie de 1,486 Km² (0.076% del territorio nacional) donde habitan 8.7 millones de personas [8].

Este reducido espacio urbano no sólo tiene la mayor concentración humana del país, sino también de vehículos automotores. En el año 2007 el número de vehículos registrada fue de poco más de 3 millones de unidades, aproximadamente 78% más que en 1980 [9]. Aunado a esto, durante las últimas décadas las políticas públicas han privilegiado la obra vial para la movilidad de tal cantidad de vehículos. Esta situación ha tenido efectos negativos en la vida de la ciudad, por ejemplo, la invasión del espacio público, un patrón conflictivo de movilidad y el deterioro ambiental de los espacios públicos abiertos.

Este deterioro ambiental incluye la contaminación sonora, que en la ciudad se incrementa por la presencia de muchas otras fuentes sonoras, por ejemplo: tráfico aéreo, obras públicas, construcciones, actividades industriales, mercados, reparto de mercancías, recolección de basura, vendedores ambulantes, sirenas de ambulancias, bomberos y patrullas, alarmas de vehículos, mascotas, actividades recreativas, fiestas religiosas, pregoneros.

Este ruido impacta directamente a los usuarios de los espacios públicos o peatones, quienes forman un tipo de tráfico que es numeroso; pero vulnerable, debido a que se expone a tal cantidad de fuentes sonoras mencionadas y a otros factores negativos, que pueden ser disuasivos de la marcha a pie y del uso de los espacios públicos de la ciudad.

En los últimos años se ha visto un incipiente interés, de parte de las autoridades y de los ciudadanos, por el rescate de la habitabilidad de los espacios públicos abiertos y por el fomento del tránsito de los peatones. Se ha impulsado el desarrollo de las funciones turísticas, culturales, lúdicas e incluso de carácter simbólico, a través de una visión general que incluye aspectos como el uso del suelo, el transporte y el ambiente. Aunque se ha tratado de dar una solución integral a tal problemática, el tema del ruido urbano no ha sido considerado de prioridad.

Las opiniones, en foros nacionales e internacionales, sobre la importancia del tema del ruido en la ciudad se empezaron a dar con mayor frecuencia a partir de la década de los años setenta, sin embargo, el trabajo científico y el desarrollo de herramientas normativas para la lucha contra este contaminante han sido escasos y limitados.

Probablemente la escasa información científica sobre aspectos físicos y subjetivos del problema de ruido ambiental en la ciudad sea la razón por la que la contaminación por ruido no se ha considerado tema prioritario dentro de la política de protección ambiental. Por ello este trabajo de investigación pretende contribuir a la generación de tal información, que sirva de argumento para plantear políticas a favor de la lucha contra el ruido desde un enfoque humano y social, que redunden en la calidad de los espacios públicos abiertos.

3. Hipótesis

Los niveles sonoros en los espacios públicos abiertos en la Ciudad de México sobrepasan los recomendados por organismos internacionales para proteger la salud y bienestar de la población; aunque a la gente le impacta negativamente en diversos aspectos, no le dan importancia porque lo asumen como algo que es parte de la vida en la ciudad, a lo que se han acostumbrado.

4. Objetivos

Objetivos generales

1. Realizar un estudio de las condiciones sonoras en espacios públicos abiertos para conocer los niveles de ruido a los que están expuestos los peatones y determinar si dichos niveles se encuentran dentro de los recomendados por organismos internacionales para proteger la salud y bienestar de las personas.
2. Realizar un estudio social, a través de la aplicación de encuestas en calles, para analizar el impacto que tiene el ruido urbano en los peatones.

Objetivos particulares

1. Realizar mediciones, en calles y plazas de dos zonas de la Ciudad de México, de los índices de ruido, para hacer un análisis temporal y espacial de éstos y de los espectros sonoros.
2. Analizar el sistema vial para proponer una categorización de éste.
3. Analizar la influencia del número de vehículos en la contaminación sonora.
4. Comparar, de forma general, los resultados de los niveles sonoros que se obtuvieron en la Ciudad de México, con los resultados de estudios realizados en otros países.
5. Diseñar una encuesta para evaluar el impacto que tiene el ruido urbano en los peatones, a través de los siguientes factores medidos: la satisfacción con el entorno, el gusto por los sitios de estudio, algunos efectos y creencias relacionadas con el ruido, estrategias para afrontar la contaminación sonora, la percepción del nivel de ruido y la molestia producida por el ruido.
6. Realizar mediciones del nivel de ruido durante la aplicación de las encuestas para correlacionar esta información con la

respuesta de molestia y percepción del nivel de ruido de los encuestados.

7. Conocer la influencia que tienen variables demográficas en las respuestas de los encuestados.

Referencias

- [1] Boullosa RR, Pérez Ruíz SJ. An exploratory study of Community noise levels in México city. *Appl Acoust* 1987;22:271-280.
- [2] Onu MU. Road traffic noise in Nigeria: measurements, analysis and evaluation of nuisance. *J Sound Vibr* 2000;233(3):391-405.
- [3] Zannin PHT, Calixto A, Diniz FB, Ferreira JAC. A survey of urban noise annoyance in a large Brazilian city: the importance of a subjective analysis in conjunction with an objective analysis. *Environmental Impact Assessment Review* 2003;23:245-255.
- [4] NASA. Fields JM. 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; 2001.
- [5] Raimbault M, Lavandier C, Bérengier M. Ambient sound assessment of urban environments: field studies in two French cities. *Appl Acoust* 2003;64:1241-1256.
- [6] Yang W., Kang J. Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces. *Appl. Acoust.*, 2005; 66: 211–229.
- [7] WHO. Directory of resources on transport, health and environment in developing countries. *European Charter of Pedestrians' Rights*. European Parliament, 1988.
- [8] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). II conteo de población y vivienda 2005.
- [9] SETRAVI. 1er informe 2007, Secretaría de Transporte y Vialidad del Distrito Federal. Disponible en: <http://www.setravi.df.gob.mx>
Consultada el 22 de marzo de 2008

Aspectos físicos y subjetivos relacionados con el sonido

Introducción

Preguntas como ¿qué es el sonido?, ¿cómo es cuantificado y medido?, ¿cómo se propaga?, ¿cómo puede ser representado?, ¿cómo es la interacción del sonido con nuestro sistema auditivo?, entre otras serán objeto de análisis en este capítulo.

El objetivo de este capítulo introductorio es presentar una descripción de conceptos básicos, que son necesarios para entender el tema sobre ruido que se desarrolla en el trabajo de investigación reportado en esta tesis.

Las acciones, derivadas de una política ambiental de reducción o control del ruido, tienen como propósito principal lograr el bienestar y la salud humana; consecuentemente, el estudio del ruido no se puede realizar con independencia del factor humano. Por tal razón, en este capítulo, además de explicar algunos conceptos desde el punto de vista de la física del sonido; también se revisan aspectos fundamentales del sistema auditivo humano y de la interacción entre éste y el sonido.

Al final del capítulo se describen, brevemente, las características tanto de los instrumentos de medición que fueron utilizados por los investigadores en los inicios del estudio del ruido urbano, como del instrumento que actualmente es más empleado por éstos para realizar mediciones de un ambiente sonoro.

1.1 Física del sonido

¿Qué es el sonido?

Es la vibración mecánica que se propaga a través de un medio que puede ser sólido, líquido o gaseoso y que es detectada por el oído humano. En el caso del aire, en la figura 1, se muestra un dibujo, a modo de ejemplo, de como se genera y se propaga el sonido.

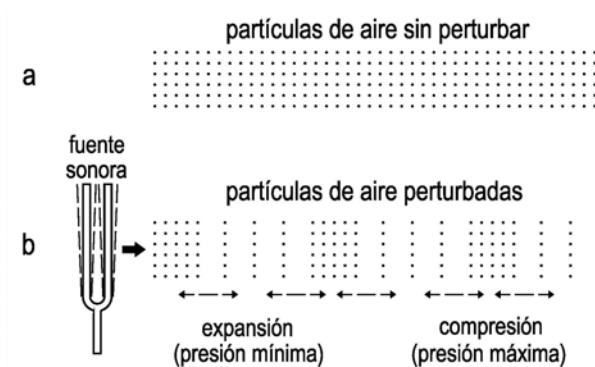


Figura 1. Ejemplo de generación y propagación del sonido en el aire.

El elemento generador de sonido se denomina fuente sonora (cuerdas vocales, instrumento musical, motor eléctrico, etc.); en la figura 1 la fuente sonora es una barra metálica (*diapasón*), que al hacerla vibrar produce un tono determinado. Antes de generar sonido con el diapasón, las partículas de aire se encuentran en reposo y homogéneamente distribuidas, como se esquematiza en la figura 1-a. La generación del sonido ocurre cuando se hace vibrar la fuente; en ese momento se altera el

medio que la rodea, al perturbar las partículas de aire más próximas. Estas partículas de aire transmiten la vibración a las partículas de aire adyacentes y éstas a su vez a nuevas partículas contiguas (las partículas no se desplazan con el movimiento, solamente oscilan alrededor de su posición de equilibrio) generándose una compresión y expansión del aire (figura 1-b), en consecuencia, el movimiento no transmite materia sino energía.

La vibración que ha sido transmitida por las partículas de aire llega al oído, hace vibrar al tímpano y a través de un mecanismo complejo¹ se produce la sensación de audición.

A las variaciones de densidad del aire corresponden modificaciones de la presión. Una variación, en presión, arriba o abajo del valor de la presión atmosférica es llamada *presión sonora*². En la figura 2 se observan incrementos y disminuciones de *presión sonora* alrededor de su valor de equilibrio, que corresponde a la presión atmosférica P_0 (igual a 10^5 pascales). Dichas variaciones van asociadas a los procesos de compresión y expansión de volúmenes de aire, mencionados previamente.

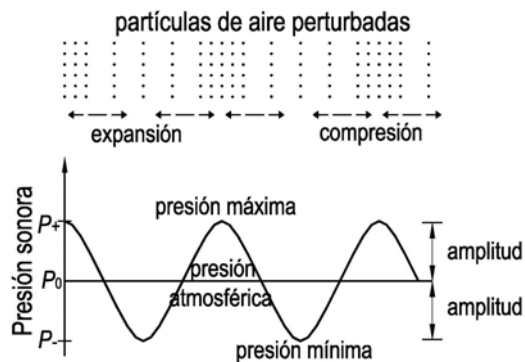


Figura 2. Representación esquemática de la presión sonora.

Características de las ondas sonoras

Las ondas sonoras están caracterizadas por las siguientes variables: amplitud de la presión sonora, velocidad de propagación, frecuencia, periodo y longitud de onda.

Amplitud de la presión sonora

El valor máximo de la oscilación respecto a P_0 recibe el nombre de *amplitud* de la onda sonora (P), ésta puede ser positiva (P^+) o negativa (P^-) como se observa en la figura 2.

Velocidad del sonido

La velocidad de propagación del sonido (c) está en función de la elasticidad y densidad del medio de propagación. La velocidad del sonido en el aire se calcula con la siguiente ecuación [1].

$$c = \sqrt{\frac{1.4P_s}{\rho}} \text{ m/s} \quad (1)$$

donde:

c = velocidad del sonido, en m/s

P_s = presión atmosférica, en pascales (Pa)

ρ = densidad del aire, en kg/m^3

Considerando que la velocidad del sonido depende de la temperatura absoluta del medio en el que se propaga, la velocidad del sonido en el aire también se puede calcular con la siguiente ecuación [2]:

$$c = 20.1\sqrt{T} \text{ m/s} \quad (2)$$

donde:

T = temperatura absoluta del aire en grados Kelvin, igual a 273.2 más la temperatura en grados Celsius.

En la figura 3 se observan los valores de la velocidad del sonido en el aire, calculados con la ecuación 2, para temperaturas desde 0 hasta 40 grados centígrados.

¹ Vid Infra. La audición humana.

² Vid Infra. Medición del sonido.

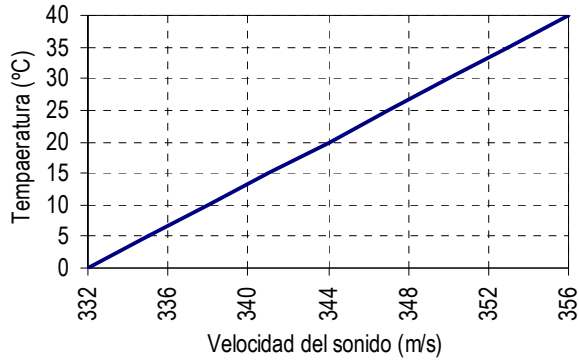


Figura 3. Velocidad del sonido en el aire a diferentes temperaturas.

Frecuencia

El número de veces por segundo que las fluctuaciones de la *presión sonora* oscilan entre valores positivos y negativos se conoce como frecuencia f y se expresa en hertz (Hz). En la figura 4 se muestran oscilaciones de frecuencias de 1 y 3 Hz.

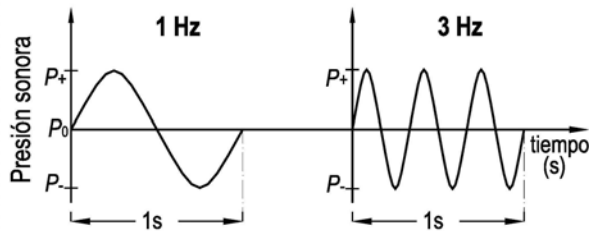


Figura 4. Ejemplos de oscilaciones de frecuencias de 1 y 3 Hz.

Los sonidos con frecuencias inferiores a 20 Hz se llaman infrasonidos; de 20 Hz a 20 kHz (de 16 Hz a 16 kHz [3]) son sonidos audibles y con frecuencias superiores a 20 kHz se llaman ultrasonidos. El campo audible, considerado de 20 Hz a 20 kHz, puede dividirse en tres secciones [4]:

- frecuencias bajas, de 20 a 360 Hz;
- frecuencias medias, de 360 a 1400 Hz y
- frecuencias altas, de 1400 a 20000 Hz.

Las partículas de aire vibran lentamente a frecuencias bajas, produciendo tonos graves; mientras que a frecuencias altas vibran rápidamente, originando tonos agudos.

El intervalo de frecuencias audibles se ha dividido en bandas de ancho variable para describir el contenido de frecuencias de los sonidos. Las bandas más utilizadas son las llamadas bandas de octava y bandas de tercios de octava, mostradas en la tabla 1 [5]. El ancho de la banda se elige para obtener un espectro apropiado, de acuerdo con el propósito del análisis.

Tabla 1. Intervalo de frecuencias audibles dividido en bandas de octava y tercios de octava.

Bandas de octava	Bandas de 1/3 de octava	Bandas de octava	Bandas de 1/3 de octava
	25		800
31.5	31.5	1000	1000
	40		1250
	50		1600
63	63	2000	2000
	80		2500
	100		3150
125	125	4000	4000
	160		5000
	200		6300
250	250	8000	8000
	315		10000
	400		12500
500	500	16000	16000
	630		20000

Periodo

El periodo es el *tiempo* en el que una onda sinusoidal forma un ciclo completo. Es el recíproco de la frecuencia de un tono puro. Por ejemplo: el periodo de 500 Hz es 0.002 s, el de 10 Hz es 0.1 s. En la figura 5 se representa el periodo de ondas sonoras de 1 y 3 Hz.

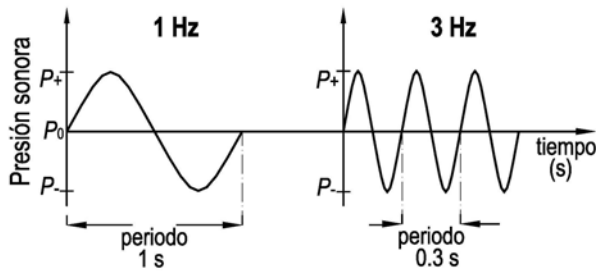


Figura 5. Periodo de ondas sonoras de 1 y 3 Hz.

Longitud de onda

Otra magnitud importante del sonido es la longitud de onda, definida como la distancia que viaja la onda sonora de un tono puro, durante un periodo completo.

En la figura 6, la longitud de onda, para ondas sonoras de 1 y 3 Hz, está indicada como la distancia entre los dos puntos alternados que tocan el eje del espacio.

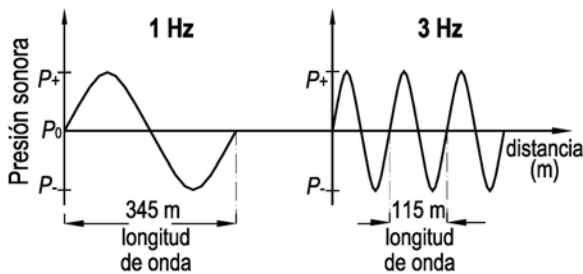


Figura 6. Longitud de onda de 1 y 3 Hz (22°C).

La longitud de onda está relacionada con la frecuencia y la velocidad del sonido por la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3)$$

donde:

λ = longitud de onda en m

c = velocidad de propagación del sonido en m/s

f = frecuencia en hertz

Si la velocidad del sonido es constante, la longitud de onda y la frecuencia tienen una relación inversa, como se observa en la figura 7. Es decir, conforme la frecuencia decrece, la longitud de onda incrementa, y si la frecuencia incrementa, la longitud de onda decrece.

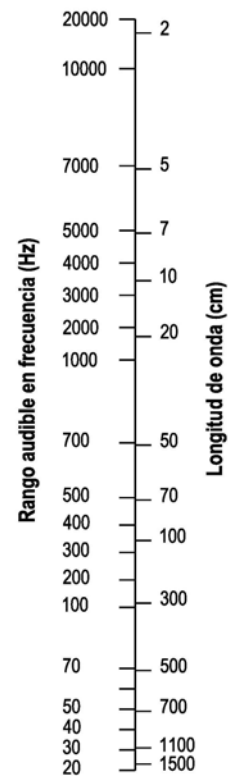


Figura 7. Frecuencia y longitud de onda asociada.

Medición del sonido

Las variables físicas que permiten cuantificar un campo sonoro son: la presión, la potencia y la intensidad sonora. El oído humano es sensible a un amplio intervalo de presiones, además la respuesta a los estímulos sonoros no es de forma lineal, sino logarítmica. Por estas razones, dichas variables se expresan en decibeles. Cuando una de estas variables es expresada en decibeles, el resultado es conocido como un *nivel*. Es así como se expresa entonces el nivel de presión sonora, el nivel de intensidad sonora y el nivel de potencia sonora.

Presión sonora

Una variación en la presión, arriba o abajo del valor de la presión atmosférica es llamada *presión sonora* (P). Se define como la fuerza que ejercen las partículas de aire por unidad de superficie, su unidad es el pascal (Pa). Debido a que el mecanismo auditivo humano responde a la presión sonora, ésta es una de las cantidades que usualmente se utiliza para medir un campo sonoro.

Intensidad sonora

La segunda cantidad comúnmente utilizada en mediciones acústicas es la *intensidad sonora* (I), definida como el flujo de energía sonora por unidad de tiempo y por unidad de superficie. La intensidad sonora se expresa en watts por metro cuadrado (W/m^2).

Potencia sonora

La potencia sonora (W) es una propiedad física de la fuente de ruido y no depende de nada más. Se define como la energía sonora por unidad de tiempo que produce una fuente sonora, en watts.

Decibeles y niveles

Los niveles sonoros se expresan como el logaritmo en base 10 de la razón entre el valor medido y una cantidad de presión, intensidad o potencia sonora de referencia, la unidad que resulta es llamada Bel, ésta, en la práctica ha resultado ser muy grande, por lo que el decibel (dB), que es una décima parte de un Bel, es de uso general.

Nivel de presión sonora

El nivel de presión sonora (L_p) en decibeles, para cualquier sonido, cuando la presión P es conocida, esta dado por la siguiente expresión:

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{P_{ref}} \right) \quad (4)$$

donde:

L_p = nivel de presión sonora en dB

P = presión sonora efectiva conocida en Pa

P_{ref} = presión sonora de referencia = 20 μ Pa

La presión sonora efectiva, también llamada *rms* (root mean square), es explicada a continuación. Los sonidos más comunes son perturbaciones de las partículas de aire, positivas y negativas, medidas a partir de un valor de presión en equilibrio (presión atmosférica). El valor promedio de esas perturbaciones de presión es cero, porque hay igual número de presiones positivas como de negativas. Por lo tanto el valor promedio de la presión no es una medida útil. Se debe emplear una medida que permita que los efectos de las presiones negativas sean sumados (más que restados) a las presiones positivas. Tal medida se obtiene de la siguiente forma:

El valor de la presión (P) en cada instante del tiempo se eleva al cuadrado. Los valores al cuadrado (P^2) son sumados y promediados entre el tiempo que duró la medición. Se obtiene la raíz cuadrada del valor anterior y el resultado es el valor de la presión efectiva. Al elevar al cuadrado las presiones negativas se convierte en cantidades positivas y al hacer la suma de todas las presiones cuadráticas el resultado será diferente de cero, por lo tanto la presión efectiva es una medida útil de la magnitud de las ondas sonoras.

La presión sonora de referencia (P_{ref}) tiene un valor de 20 μ Pa, que corresponde al umbral de audición en la frecuencia de 1 kHz.³

³ Vin infra. Umbrales de audición.

Ejemplos:

- a) Calcular el nivel de presión sonora para una onda sonora con amplitud de presión efectiva de 100 Pa.

Sustituyendo el valor de la presión efectiva en la ecuación 4 se obtiene:

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{100}{2 \cdot 10^{-5}} \right)$$

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} (5 \cdot 10^6) = 134 \text{ dB}$$

- b) El nivel de presión sonora del sonido de una sirena de ambulancia es de 105 dB. ¿Cuál es la presión sonora efectiva?

Sustituyendo el valor del nivel de presión sonora en la ecuación 4 se obtiene:

$$105 = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{2 \cdot 10^{-5}} \right)$$

$$\text{antilog } 5.25 = \text{antilog} \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{2 \cdot 10^{-5}} \right)$$

$$1.7 \cdot 10^5 = \frac{P}{2 \cdot 10^{-5}} \quad P = 3.5 \text{ Pa}$$

La tabla 2 muestra el nivel de presión sonora (NPS) en dBA⁴ y su sonoridad⁵ para algunos ejemplos de fuentes sonoras. La percepción subjetiva del nivel de presión sonora, que fue marcado con negritas en la segunda columna, se especifica en la tercera columna. El NPS de 40 dBA se ha indicado, de manera arbitraria, como el nivel de referencia para definir la sonoridad de los siguientes niveles, entre los que hay una diferencia de 10 dBA, que corresponde a una respuesta subjetiva del doble de sonoridad.

Tabla 2. Nivel de presión sonora de algunas fuentes sonoras y percepción subjetiva asociada.

Fuente sonora	NPS dB(A)	Percepción veces más ruidoso
¹ Umbral de dolor	130	
¹ Avión en despegue a 100 m	120	256
⁷ Barco, cuarto de máquinas	120	
⁴ Martillo neumático	100-110	128
² Sirena	100	64
³ Voz gritando a 1 m	90-100	32
⁵ Estación de metro	95	
⁶ Camión pesado o autobús	86	
³ Voz muy alta a 1 m	75-85	
⁶ Avión en vuelo a 2 km	75-80	
⁴ Ladrido de perros	80	16
⁴ Vaciado de aparatos sanitarios	75	
³ Voz alta a 1 m	65-75	
⁵ Aspiradora a 3 m	70-75	8
³ Voz normal	55-65	
⁴ Arrastre de muebles	65	
³ Televisión nivel medio	60	4
⁴ Pisadas	55	
⁴ Oficina privada	50	2
³ Voz baja a 1 m	45-55	
⁶ Área suburbana en la noche	40	Nivel de referencia
⁵ Susurro a 1 m	30-35	
² Bosque, viento lento	20	
¹ Umbral de audición	0	

Fuentes: ¹Howard [6], ²Möser [7], ³Sancho [8], ⁴Recuerdo [9], ⁵De la Colina [10], ⁶Cowan [11], ⁷Bies [12].

Nivel de intensidad sonora

El nivel de intensidad sonora (L_I) se obtiene con la siguiente ecuación:

$$L_I = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_{ref}} \right) \quad (5)$$

⁴ Vid Infra. Unidades de ponderación.

⁵ Vid Infra. Frecuencias audibles.

donde:

L_I = nivel de intensidad sonora en dB

I = intensidad sonora conocida

I_{ref} = intensidad sonora de referencia = 10^{-12} W/m²

Ejemplo:

Un altavoz, con un diámetro de 25 cm, radia 20 microwatts. ¿Cuál es el nivel de intensidad sonora en la bocina?

Cálculo: la intensidad sonora es la potencia por unidad de área, entonces primero se debe calcular el área en que está radiando el altavoz:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \left(\frac{0.25}{2} \right)^2 = 0.049 \text{ m}^2$$

Calcular la intensidad sonora:

$$I = \left(\frac{W}{A} \right) = \left(\frac{20 \cdot 10^{-3}}{0.049} \right) = 0.41 \text{ W/m}^2$$

Este resultado se sustituye en la ecuación 5:

$$L_I = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{0.41}{10^{-12}} \right) = 116 \text{ dB}$$

Nivel de potencia sonora

El nivel de potencia sonora (L_w) se obtiene con la siguiente ecuación:

$$L_w = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{W}{W_{ref}} \right) \quad (6)$$

donde:

L_w = nivel de potencia sonora en dB

W = potencia sonora conocida

W_{ref} = potencia sonora de referencia = 10^{-12} W

Ejemplos:

a) Determina el nivel de potencia sonora de una sirena de ambulancia que genera 0.1 W de energía sonora.

Sustituyendo el valor de la potencia sonora en la ecuación 6 se obtiene:

$$L_w = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{0.1}{10^{-12}} \right) = 10 \cdot \log_{10} (10^{11}) = 110 \text{ dB}$$

b) Determina la potencia sonora de una máquina cuyo nivel de potencia sonora es 125 dB.

Sustituyendo el valor del nivel de potencia sonora en la ecuación 6 se obtiene:

$$125 = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{W}{10^{-12}} \right)$$

$$\text{antilog } 12.5 = \text{antilog} \cdot \log_{10} \left(\frac{W}{10^{-12}} \right)$$

$$13.16 \cdot 10^{12} = \frac{W}{10^{-12}}$$

$$W = 3.16 \text{ W}$$

Una analogía que ayuda a entender la diferencia entre los niveles descritos es imaginar que el nivel de potencia acústica está relacionado con la cantidad total de calor producido por un horno, mientras que cualquiera de los otros dos niveles son análogos a la temperatura producida en un punto de la casa [13].

Debido a que la potencia sonora de una fuente es generalmente independiente de su localización, la especificación de la localización no se requiere para obtener el nivel de potencia sonora. Para obtener el nivel de la presión e intensidad sonora, sí se requiere conocer la localización de la fuente sonora debido a que estas medidas varían con la distancia de la fuente.

Suma y resta de decibeles

Cuando se combinan niveles sonoros de dos o más fuentes sonoras se debe hacer mediante las matemáticas de logaritmos. Sin embargo, para facilitar este trabajo se han desarrollado nomogramas, como el de la figura 8 [14],

que proporcionan resultados precisos para la suma y resta de dos niveles sonoros.

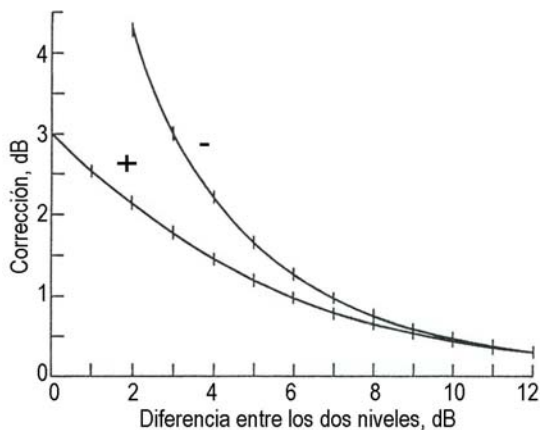


Figura 8. Nomograma para sumar y restar niveles sonoros.

En el caso de la suma de varias fuentes sonoras, con nivel de ruido idéntico, se puede utilizar ecuaciones sencillas como la siguiente [15].

$$\text{Nivel sonoro de una sola fuente} + 10 \cdot \log_{10}(n) \quad (7)$$

donde:

n = número de fuentes iguales

En la tabla 3 se muestran ejemplos de la aplicación de la ecuación 7.

Tabla 3. Corrección de decibeles para la suma de los niveles de varias fuentes sonoras idénticas.

Fuentes idénticas	dB sumados a una fuente	Fuentes idénticas	dB sumados a una fuente
2	3.0	8	9.0
4	6.0	10	10.0
5	7.0	20	13.0
6	7.8	50	17.0
7	8.5	100	20.0

En la tabla 3 se observa que cuando el número de fuentes sonoras es incrementado al doble, se debe agregar 3 dB al nivel sonoro de una fuente y cuando el número de fuentes es

incrementado por 10, se debe sumar 10 dB al nivel sonoro de una fuente.

Ejemplos de suma y resta de decibeles

Se muestran ejemplos para fuentes sonoras que tienen diferentes patrones de presión sonora. Es decir, que generan ondas sonoras diferentes y a diferentes frecuencias.

Caso 1. Si dos fuentes sonoras, que están ubicadas una junto a la otra y operando simultáneamente, emiten ruido a diferente nivel, 80 y 86 dB respectivamente. ¿Cuál es el nivel de ruido total?

Respuesta: la diferencia entre los dos niveles es de 6 dB, de acuerdo con el nomograma de la figura 8, se debe sumar 1 dB a la fuente más ruidosa para obtener el nivel de ruido total.

Caso 2. Si dos fuentes sonoras, que están ubicadas una junto a la otra y operando simultáneamente, emiten ruido al mismo nivel, 80 dB cada una. ¿Cuál es el nivel de ruido total?

Respuesta: la diferencia entre los dos niveles es de 0 dB, de acuerdo con el nomograma de la figura 8, se debe sumar 3 dB a una fuente para obtener el nivel de ruido total.

Caso 3. Si seis fuentes sonoras, que están ubicadas una junto a otra y operando simultáneamente, emiten ruido de 70 dB cada una. ¿Cuál es el nivel de ruido total?

Respuesta: de acuerdo con la ecuación 7, se debe incrementar a una fuente 8 dB. Por lo tanto el nivel de ruido total es de 78 dB.

Caso 4. El nivel del ruido de fondo más el nivel de una fuente sonora es de 60 dB. Si se apaga la fuente sonora, el ruido de fondo es de 55 dB, ¿Cuál es el nivel de la fuente sonora?

Respuesta: la diferencia entre los niveles es de 5 dB; la figura 8 indica que se debe restar 1.7 dB al nivel de ruido total para obtener el nivel de la fuente sonora, que es entonces de 58 dB.

Tipos y representación de sonidos

Los sonidos son de tipo determinista o aleatorio. Los primeros se pueden representar mediante una expresión matemática que indica la forma en que varía la presión sonora en función del tiempo. El sonido más simple de este tipo es un tono puro a una frecuencia dada, como por ejemplo el generado por un diapasón. En un ambiente urbano los sonidos más comunes son los aleatorios, se les denomina de esta forma porque contienen variaciones en la presión sonora y en el contenido de frecuencias en un intervalo dado, estos sonidos son generalmente conocidos como ruido.

El ruido puede clasificarse también como: continuo, intermitente o impulsivo (figura 9). El ruido continuo es relativamente constante; es decir, que tiene pequeñas fluctuaciones de nivel durante el periodo de observación. El ruido intermitente es aquel cuyo nivel crece y decrece rápidamente. El ruido impulsivo es de corta duración, que puede variar desde microsegundos hasta 50 ms [16], usualmente creado por una liberación de energía repentina; por ejemplo, el ruido de explosiones.

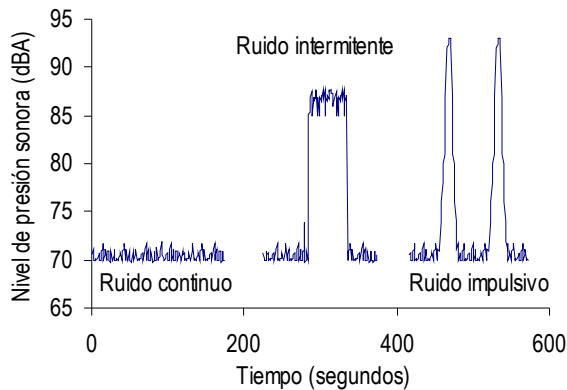


Figura 9. Ejemplos de ruido continuo, intermitente e impulsivo.

Cualquier tipo de sonido se puede visualizar al graficarlo en el dominio del tiempo o *señal sonora* y en el dominio de la frecuencia o *espectro sonoro*. En el primero se grafica la

presión sonora o amplitud en el eje de las ordenadas y en el de las abscisas el tiempo, no se distinguen las frecuencias presentes. El espectro de un sonido es la gráfica que relaciona la amplitud o presión sonora en el eje de las ordenadas, en función de todas las componentes en frecuencia graficadas en el eje de las abscisas.

Como ejemplo de la representación de los sonidos, en las figuras 10 y 11 se muestran, la señal y espectro sonoros respectivamente, de mediciones de ruido de tráfico vehicular realizadas entre las 9:00 y 11:00 horas. La figura 10 muestra valores cada segundo.

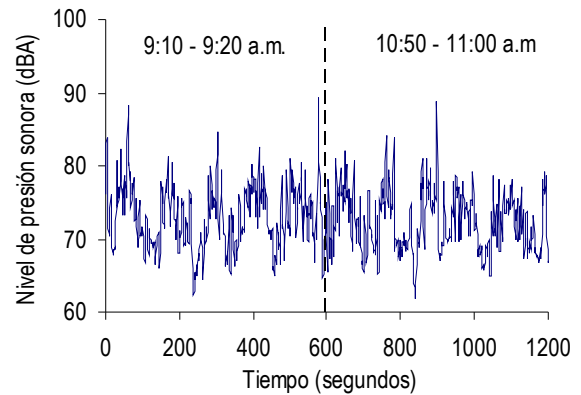


Figura 10. Señales sonoras correspondientes a ruido de tráfico vehicular.

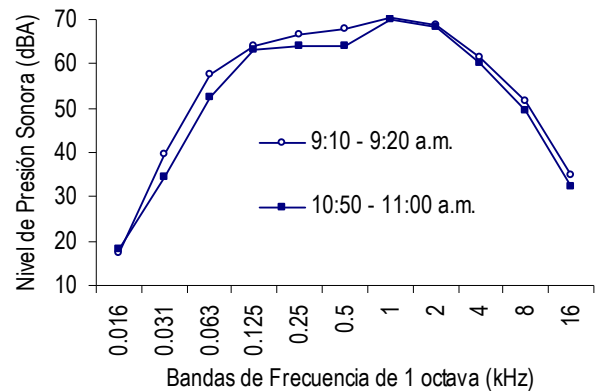


Figura 11. Espectros sonoros correspondientes a las señales sonoras de la figura 9.

Propagación del sonido en campo libre

En el exterior, el nivel del sonido generalmente decrece conforme éste se propaga. Se trata de un fenómeno complejo donde influyen varios factores [17,18]: la divergencia geométrica de las ondas sonoras, absorción de la energía acústica en el aire, atenuación por el efecto de la superficie del suelo, las reflexiones de los edificios y la difracción alrededor de obstáculos a lo largo del trayecto de propagación. Otros efectos se deben a las condiciones atmosféricas, principalmente aire y temperatura, especialmente a distancias, entre la fuente sonora y el receptor, mayores a 100 metros. La figura 12 ilustra algunos de los factores que influyen en la atenuación del sonido en exteriores [17].

De acuerdo con la norma internacional ISO 9613/2-1996 [18] la atenuación total A_T se calcula con la siguiente ecuación:

$$A_T = A_d + A_a + A_g + A_r + A_s + A_m \text{ dB} \quad (8)$$

donde:

A_d = atenuación por divergencia geométrica

A_a = absorción sonora en el aire

A_g = efecto de la superficie del suelo

A_r = reflexiones de los edificios

A_s = obstáculos

A_m = atenuación por factores adicionales

En ambientes urbanos las atenuaciones más significativas son A_d , A_g , A_r y A_s .

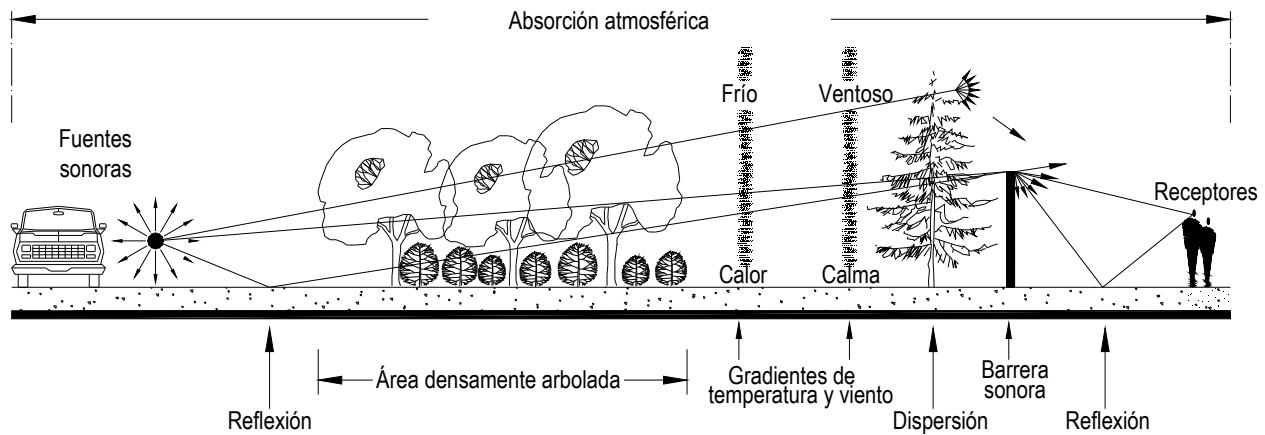


Figura 12. Principales efectos de la propagación sonora en el exterior.

Divergencia geométrica del sonido

El nivel sonoro producido por una fuente en un punto decrece con la distancia que los separa, a causa de la dispersión de la energía acústica. Esta disminución del nivel sonoro en función de la distancia depende de la naturaleza de la fuente, según sea puntual (un solo vehículo, un avión, una fábrica, etc.) o lineal (varios

automóviles). En espacio libre, el nivel sonoro decrece al duplicarse la distancia, 6 dB para una fuente puntual, mientras que para una fuente lineal decrece 3 dB [19].

Absorción atmosférica

Conforme el sonido se propaga a través de la atmósfera su energía se atenúa debido a la absorción del aire durante la propagación.

Esta absorción sonora depende principalmente de la frecuencia del sonido y de la humedad relativa y en menor medida de la temperatura. Sin embargo sólo tiene cierta importancia para frecuencias altas, y en especial a baja temperatura y humedad relativa. La atenuación atmosférica puede ser despreciada a distancias cortas desde la fuente, excepto para frecuencias mayores de 5000 Hz [20].

Atenuación por el efecto del suelo

Cuando la fuente sonora y el receptor se encuentran cerca del suelo, el sonido le llega al receptor de forma directa y de forma reflejada del suelo. La atenuación del sonido es el resultado de la interferencia entre el sonido directo y el reflejado, que depende principalmente del tipo de superficie del suelo, del ángulo de reflexión, de la diferencia entre la longitud del trayecto del sonido directo y la longitud del sonido reflejado y de la frecuencia del sonido.

Reflexión del sonido

Las superficies verticales, tales como las fachadas de los edificios, provocan que el sonido reflejado en ellas, refuerce el sonido directo que procede de la fuente sonora hacia el receptor. En esta situación, la atenuación por reflexión tiene un valor negativo; lo que representa un incremento en el valor sonoro.

Barreras sonoras

Una barrera sonora es cualquier obstáculo sólido situado entre la fuente sonora y el receptor. Las barreras pueden ser naturales, como por ejemplo los taludes de tierra y los edificios, o pueden ser colocadas específicamente para reducir el ruido.

La efectividad acústica de una barrera se determina a través de la medida de la pérdida de inserción, definida como la diferencia, del nivel sonoro medido antes y después de la instalación de la barrera. La pérdida de

inserción depende de varios parámetros, el que más influye es la frecuencia del sonido, las frecuencias altas son más atenuadas. En la construcción de una barrera se deben tomar en cuenta ciertos aspectos, como por ejemplo, evitar las grietas o huecos y que la masa sea de al menos 10 kg/m² [21].

Atenuación por condiciones meteorológicas

La propagación sonora cerca del suelo, para distancias entre la fuente y el receptor de menos de aproximadamente 100 metros, es prácticamente independiente de las condiciones atmosféricas. Para distancias mayores es un factor importante, debido al efecto de refracción, un cambio en la dirección de las ondas sonoras producido por los gradientes verticales de temperatura y viento. Estos gradientes pueden atenuar o reforzar el nivel sonoro, según el gradiente sea positivo o negativo o según la dirección del viento [22].

En condiciones de inversión de temperatura (gradiente positivo), cuando la tierra se ha enfriado, hay una región sobre el suelo donde la temperatura del aire incrementa con la altura. Debido a que la velocidad del viento aumenta con la temperatura, la parte superior de los frentes de onda se mueven más rápidamente que la parte inferior, produciendo una inclinación de los rayos sonoros hacia el suelo, incrementando el nivel sonoro. Si el gradiente de temperatura es negativo, el efecto es contrario, se crean unas zonas de sombra en las que el nivel sonoro es inferior. Los cambios en la temperatura y humedad pueden conducir a cambios en los niveles sonoros en las bandas de octava mayores a 1 kHz [23].

La acción del viento en la propagación del sonido es similar a la ocasionada por el gradiente negativo de la temperatura. En el caso del viento sólo se crea una zona de sombra en el lado desde el que sopla.

1.2 La audición humana

El sistema auditivo

Las principales estructuras anatómicas del oído humano se muestran en un corte esquemático en la figura 13 [24]. El oído se divide, para su estudio, en tres partes: el oído externo, oído medio y oído interno.

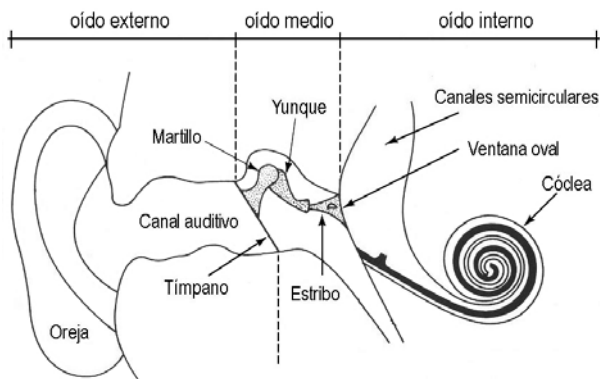


Figura 13. Corte esquemático del oído humano.

Oído externo

El oído externo comprende la parte visible, llamada oreja o pabellón auricular, y el canal auditivo. La oreja capta las ondas sonoras que se transmiten a través del canal auditivo hasta el tímpano. Al parecer la oreja impone una distorsión en el sonido que recibe, éste es interpretado por el oído interno de tal forma que infiere la dirección y la localización de la fuente sonora. Los seres humanos no podemos, como otros mamíferos, mover el pabellón auricular para mejorar la capacidad auditiva y la localización de la fuente sonora, esto se suple con el movimiento de toda la cabeza [25].

Oído medio

El oído medio es un conducto denominado cavidad timpánica, que comprende desde el tímpano hasta la ventana oval. En esta cavidad llena de aire se encuentra la cadena osicular, formada por tres huesos pequeños y móviles, llamados martillo, yunque y estribo. El tímpano es una membrana flexible que vibra

en respuesta a las ondas sonoras, esta vibración pasa a la cadena osicular, donde se amplifica, y es transmitida al oído interno a través de la ventana oval. El oído medio tiene dos funciones importantes [26, 27]:

- Transmitir los movimientos del tímpano hasta el medio líquido de la cóclea, ubicada en el oído interno, sin pérdidas de energía significativas. La energía sonora es significativamente reducida cuando pasa de un medio aéreo a un líquido. El oído medio logra recuperar la energía perdida mediante la amplificación de la señal sonora más de 20 veces entre el tímpano y la ventana oval.
- Proteger al sistema auditivo de sonidos muy fuertes. El oído medio tiene dos músculos, el tensor del tímpano y el músculo estapedial. Estos músculos se contraen automáticamente como respuesta ante sonidos con nivel de presión sonora mayor que, aproximadamente, 75 dB. Mediante este mecanismo de protección, se reduce la eficiencia con la que las vibraciones son transmitidas desde el tímpano hasta el oído interno y se provee una atenuación del sonido de aproximadamente 12 a 14 dB. Sin embargo la protección solamente es para sonidos con frecuencias por abajo de 1 kHz. Este efecto es llamado reflejo acústico. La contracción de los músculos toma entre 60 y 120 ms. Por tanto, en ruidos impulsivos, como en el caso del sonido producido por un arma de fuego, el reflejo es muy lento para proteger al sistema auditivo.

Oído interno

El oído interno tiene tres partes: el vestíbulo, los canales semicirculares y la cóclea. El vestíbulo está conectado con el oído medio a través de las ventanas oval y circular, que están selladas para impedir que escape el líquido que llena el oído interno. Los canales semicirculares no tienen una función en el proceso de la audición.

La cóclea es un tubo hueco en espiral relleno de dos líquidos diferentes, que consta de tres rampas enrolladas, timpánica, vestibular y media; la primera y la última están separadas por la membrana basilar, en la que se localiza el órgano de Corti, que contiene células sensoriales delgadas y flexibles llamadas células pilosas. La figura 14 muestra una fotografía de estas células en estado sano [28].

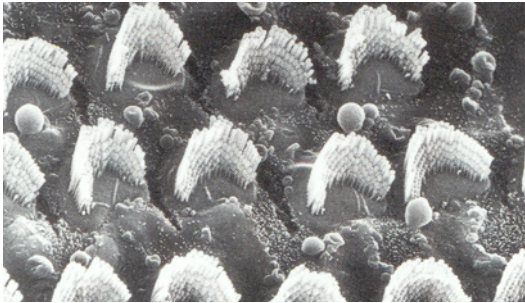


Figura 14. Fotografía de células pilosas sanas.

Una vez que la onda sonora ha alcanzado la ventana oval provoca que los líquidos de la cóclea vibren, la vibración estimula las células pilosas, que transmiten las señales al nervio auditivo, y éste lleva la información al cerebro, dando así lugar a la percepción del sonido.

Las células pilosas no se regeneran de forma natural, cuando se han afectado, como se muestra en la figura 15 [28], el daño es irreversible.

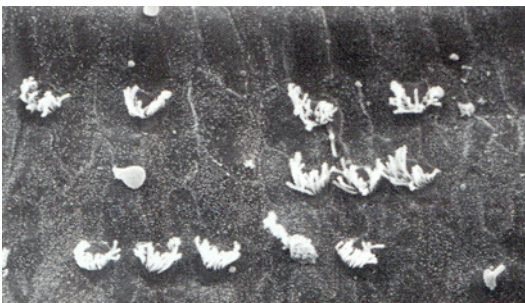


Figura 15. Fotografía de células pilosas dañadas.

Umbrales de audición y de dolor

La sensibilidad del oído varía sobre un amplio intervalo de niveles de presión sonora, aunque

es diferente para cada persona. Los valores que limitan este intervalo se llaman umbral auditivo y umbral de dolor, respectivamente.

El umbral de audición es una referencia de la presión acústica mínima que el oído puede detectar. A la frecuencia de 1kHz, este valor es del orden de $20 \mu\text{Pa}$ (20^{-5} Pa). El umbral de dolor está definido por el nivel cuando la presión sonora produce una sensación de molestia o dolor y se encuentra próximo a los 100 Pa. Entre estos umbrales hay una relación, en escala lineal de presiones, de aproximadamente un millón a 1, por lo que su aplicación no es práctica. Esta escala es convertida a una escala manejable, que va de 0 dB ($20\mu\text{Pa}$) a 130 dB (100 Pa), indicando los umbrales de audición y dolor, respectivamente.

Frecuencias audibles

El sistema auditivo humano percibe un amplio intervalo de frecuencias, como se observa en la figura 16 [29]. Los límites de este intervalo corresponden a una persona sana de aproximadamente 20 años de edad. Conforme la edad aumenta, el límite superior decrece aproximadamente 1 kHz por década [30].

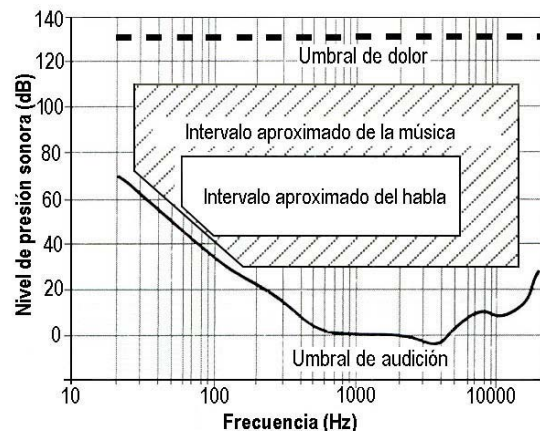


Figura 16. Niveles audibles en función de la frecuencia.

Del análisis de la figura 16, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- a) El oído humano no tiene la misma sensibilidad para toda la banda de frecuencias audibles. La zona donde es más sensible se encuentra entre 1 y 5 kHz, aproximadamente. El oído es poco sensible a bajas frecuencias para niveles bajos de presión sonora. El nivel de presión sonora de un sonido grave tiene que ser más elevado que el correspondiente a un sonido de frecuencias medias, para que ambos produzcan la misma sonoridad.
- b) Para frecuencias inferiores a 1000 Hz, aproximadamente, el umbral de audición asciende de manera regular con el decrecimiento de la frecuencia. Para frecuencias superiores a 5000 Hz, aproximadamente, el crecimiento del umbral es mucho más repentino e irregular. El umbral de dolor no varía en gran cantidad con la frecuencia.

La respuesta del oído a la frecuencia y a la amplitud de la presión sonora es de la siguiente forma. El tono o sensación de altura es una característica de la frecuencia; por lo que, un sonido se percibe como más grave cuanto menor es su frecuencia, o más agudo si la frecuencia es mayor. La sonoridad, o sensación de intensidad, es una característica de la presión sonora, cuanto más alto es el valor de la presión más intenso parece el sonido; sin embargo, la sonoridad no varía linealmente con la variación del nivel de presión, como se muestra en la tabla 4 [31].

Tabla 4. Respuesta subjetiva a cambios de niveles sonoros.

Nivel de presión sonora (dB)	Percepción
NPS + 3	Apenas perceptible
NPS + 5	Claramente perceptible
NPS + 10	Dos veces más ruidoso
NPS + 16	Tres veces más ruidoso
NPS + 20	Cuatro veces más ruidoso

1.3 Medidas para evaluar el ruido urbano

En los casos en que la evaluación del ruido está relacionada con la percepción humana, se emplean tres tipos de medidas del ruido [32]. La primera, es una medida del ruido que no está en función del tiempo, solamente toma en cuenta la sensibilidad del sistema auditivo humano a la frecuencia e intensidad del sonido. Los niveles sonoros con ponderación A, B, C y D, (la letra indica la *unidad de ponderación*), se encuentran en esta categoría de medida. La segunda medida combina el nivel sonoro con el tiempo para crear una *escala*. En esta categoría se encuentran, por ejemplo: el nivel excedido en un periodo de tiempo, llamado nivel sonoro estadístico, y el nivel integrado en un periodo de tiempo, conocido como nivel sonoro continuo equivalente. En la tercera medida, llamada *índice*, se especifica claramente el periodo de tiempo y se consideran otros factores que pueden afectar la reacción de la gente, de acuerdo con las circunstancias o tiempo, bajo los que es escuchado el ruido. Ejemplos de índices son el nivel día-noche y el nivel día-tarde-noche.

Las unidades de ponderación, escalas e índices más usados en la evaluación del ruido urbano, generalmente llamados parámetros, son descritos a continuación.

Unidades de ponderación

A través de los años, se han definido unidades de ponderación que se han usado para medir ruido en diferentes intervalos de nivel sonoro. Originalmente fueron propuestas las ponderaciones A, B y C, y posteriormente, fue agregada la ponderación D. Las ponderaciones B y D, que se usaban para evaluar sonidos de intensidad media y muy alta, respectivamente, actualmente están en desuso debido a que se ha probado que la ponderación A es adecuada para diversas situaciones de evaluación del impacto del ruido sobre las personas.

La ponderación C es usada para situaciones donde los sonidos son de intensidad alta, arriba de 85 dB, o los sonidos tienen gran cantidad de componentes en frecuencias bajas [33]. Esta ponderación es generalmente usada para medir ruidos impulsivos, tales como una detonación producida por arma de fuego.

En la nueva norma internacional para sonómetro⁶ IEC 61672:1:2003 [34] se ha introducido la ponderación Z, señal sin peso, que en esencia es la ponderación lineal. Esta ponderación tiene una respuesta plana a las diferentes frecuencias. La figura 17 muestra las curvas de la respuesta en frecuencia de las ponderaciones A, C y Z. La tabla 5 muestra los valores de corrección que se deben aplicar a niveles lineales para obtenerlos en ponderación A y C en las bandas centrales de frecuencias de 1 octava [35].

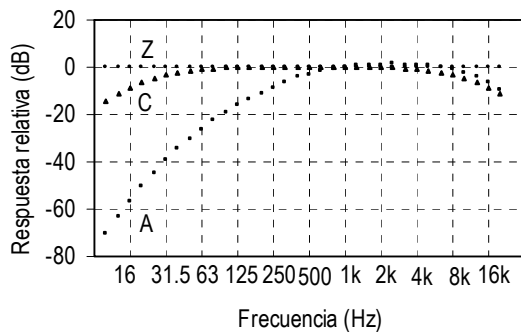


Figura 17. Respuesta en frecuencia para las unidades de ponderación A, C y Z.

La escala de ponderación A corresponde, aproximadamente, a la forma en que el oído responde a la sonoridad de los sonidos de baja intensidad; es decir, los sonidos a bajas frecuencias son filtrados o ignorados, como lo hace el oído. Esta escala en la actualidad es aplicada a todos los niveles de ruido y es usada en mediciones que relacionan la respuesta del hombre ante el ruido: por ejemplo en el daño auditivo y en la molestia. Para indicar la

ponderación aplicada, el nivel de presión sonora se especifica en unidades de decibeles junto con la letra que especifica la ponderación.

Tabla 5. Corrección en decibeles para las ponderaciones A y C.

Frecuencia central de bandas de 1 octava (Hz)	Valor de corrección (dB)	
	A	C
31.5	-39.4	-3.0
63	-26.2	-0.8
125	-16.1	-0.2
250	-8.6	0
500	-3.2	0
1000	0	0
2000	1.2	-0.2
4000	1	-0.8
8000	-1.1	-3.0
16000	-6.6	-8.5

Escalas

Las escalas más utilizadas para medir el ruido urbano, son el nivel sonoro continuo equivalente y el nivel sonoro estadístico.

Nivel sonoro continuo equivalente (Leq)

Constituye una medida de la presión sonora que integra la energía en un periodo de tiempo, usualmente expresada en dBA. Este nivel sonoro se obtiene con la siguiente ecuación:

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{P^2}{P_{ref}^2} dt \right) \text{ dBA} \quad (9)$$

donde:

T = tiempo total de medición. Puede ser especificado como mejor convenga, en segundos, minutos u horas

P = presión sonora instánea

$P_{ref} = 20 \mu Pa$ = presión sonora de referencia

⁶ Vid Infra. Instrumentos de medición.

Debido a que el nivel sonoro continuo equivalente considera la magnitud y la duración del ruido, esta medida ha llegado a ser una de las más usadas en la evaluación del ruido urbano y la molestia provocada por éste. Sin embargo, su uso es inadecuado en algunas circunstancias: por ejemplo, cuando ocurren eventos de nivel alto y de corta duración, como se observa en la figura 18 ($L_{max}=98.4$ y $L_{max}=100$). La energía sonora de estos eventos máximos se promedia con la energía de otros eventos, de menor nivel sonoro, entonces el nivel sonoro continuo equivalente ($L_{eq}=77.7$) puede desestimar la molestia provocada por tales eventos máximos.

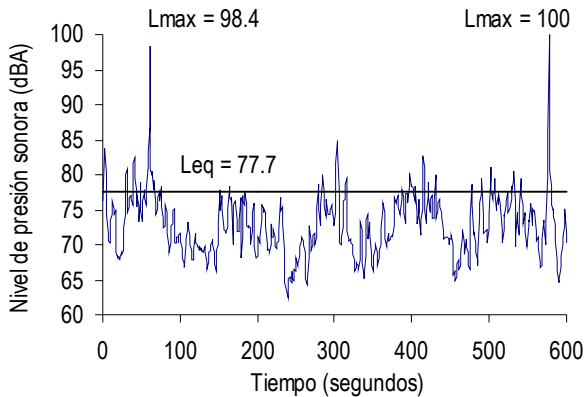


Figura 18. Ejemplo de señal sonora que muestra eventos sonoros máximos (L_{max}) y su nivel sonoro equivalente (L_{eq}).

Nivel sonoro estadístico (L_n).

El ruido urbano, generalmente, contiene niveles sonoros que varían con el tiempo, como se muestra en la figura 19. Para cuantificar estadísticamente dichas fluctuaciones y el carácter intermitente de algunos ruidos (por ejemplo el paso de un avión) se usan los niveles sonoros estadísticos (L_n).

El nivel sonoro estadístico representa el nivel sonoro excedido $n\%$ del tiempo de medición. Por ejemplo, en las figuras 19 y 20 el L_{10} es igual a 78.2 dBA, lo que significa que el nivel de presión sonora medido excedió 78.2 dBA el

10% del tiempo de medición. La figura 19 también muestra que durante el 50% y 90% del tiempo medido el nivel sonoro excedió 72.6 dBA y 67.5 dBA, respectivamente.

Los niveles sonoros estadísticos más comunes son: L_1 , L_{10} , L_{50} , L_{90} y L_{99} . El L_1 y L_{10} son usados generalmente para representar eventos sonoros intensos de corta duración. El L_{50} es usado generalmente como indicador del nivel sonoro promedio. El L_{90} y L_{99} son usados frecuentemente para representar el nivel sonoro mínimo. El L_{90} es usado como una medida del ruido de fondo.

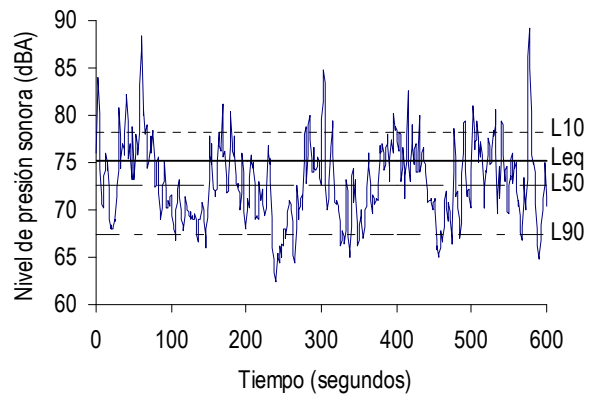


Figura 19. Niveles sonoros estadísticos (L_{10} , L_{50} y L_{90}) y nivel sonoro equivalente (L_{eq}) de la señal sonora mostrada.

Los niveles sonoros estadísticos pueden obtenerse de la distribución acumulativa de los niveles sonoros, como se muestra en la figura 20.

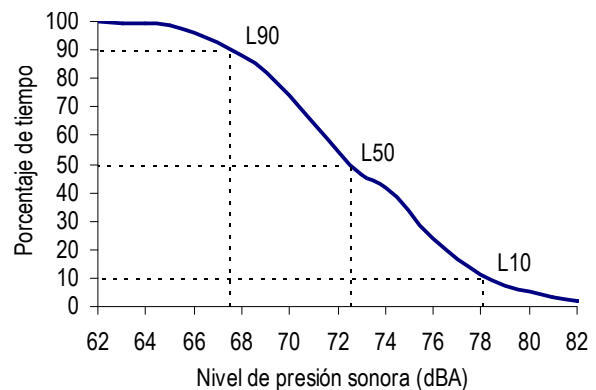


Figura 20. Distribución acumulativa de niveles sonoros.

Índices

El nivel sonoro equivalente día-noche y el nivel sonoro día-tarde-noche son los índices más usados actualmente para evaluar el ruido urbano. El primero fue propuesto por la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos de América para la evaluación del ruido ambiental [36]. El segundo ha sido propuesta por la Comunidad Europea para evaluar la molestia producida por el ruido urbano [37].

Estas medidas, generalmente expresadas en dBA, están basadas en el nivel sonoro continuo equivalente.

Nivel de sonido equivalente día-noche (Ldn)

Es el nivel de sonido equivalente de 24 horas continuas; pero los niveles sonoros registrados durante el período nocturno son incrementados en 10 dB, debido a que durante la noche las personas tienen mayor sensibilidad al ruido. El nivel de sonido equivalente día-noche se obtiene con la siguiente ecuación:

$$L_{dn} = 10 \log \frac{15 \left(10^{L_d/10} \right) + 9 \left(10^{(L_n+10)/10} \right)}{24} \quad (10)$$

donde:

L_d = nivel de sonido equivalente durante el periodo diurno de 15 horas, desde las 7 : 00 a.m. hasta las 10 : 00 p.m.

L_n = nivel de sonido equivalente durante el periodo nocturno de 9 horas, desde las 10 : 00 p.m. hasta las 7 : 00 a.m.

Nivel de sonido equivalente día-tarde-noche (Lden)

Es similar al anterior; pero se agrega un factor de 5 dB al nivel sonoro que ocurre en el periodo vespertino y un factor de 10 dB al nivel del periodo nocturno.

$$L_{den} = 10 \log \frac{12 \left(10^{L_d/10} \right) + 4 \left(10^{(L_e+5)/10} \right) + 8 \left(10^{(L_n+10)/10} \right)}{24} \quad (11)$$

donde:

L_d = nivel de sonido equivalente durante el periodo diurno de 12 horas, desde las 7 : 00 a.m. hasta las 7 : 00 p.m.

L_e = nivel de sonido equivalente durante el periodo vespertino de 4 horas, desde las 7 : 00 p.m. hasta las 11 : 00 p.m.

L_n = nivel de sonido equivalente durante el periodo nocturno de 9 horas, desde las 10 : 00 p.m. hasta las 7 : 00 a.m.

La duración de cada periodo, en que son divididas las 24 horas en estos indicadores, es una decisión que depende principalmente de los hábitos sociales de la población; que, a su vez, están influenciados por la herencia cultural y el clima [38].

1.4 Instrumentos de medición

Un poco de historia

Las primeras mediciones de ruido urbano realizadas en la década de los años veinte del siglo XX se llevaron a cabo con un instrumento llamado audiómetro. En estas mediciones, se requería del oído humano para comparar el ruido a medir con un ruido estandarizado de frecuencia e intensidad conocidas [39].

Los instrumentos para medir niveles sonoros, sin la intervención del oído humano, fueron desarrollados en la década de los años treinta [40], aunque se consideraban equipos portátiles, como el que se observa en la figura 21 (equipo utilizado en mediciones sonoras que servirían para desarrollar proyectos sostenibles para los tendidos ferroviarios) [41], algunos llegaron a tener un peso de hasta 50 kilogramos y un volumen de 0.40 m³ aproximadamente [40].



Figura 21. Mediciones realizadas en Chicago, Estados Unidos en 1930.

Los sonómetros

Entre los diferentes tipos de instrumentos que existen para medir niveles sonoros, el que se usa con mayor frecuencia actualmente es el sonómetro. Este instrumento está diseñado para captar el sonido aproximadamente como lo hace el oído humano y proporcionar mediciones del nivel de presión sonora.

En 1932 la Sociedad Americana de Acústica promovió la estandarización de los sonómetros y en 1936 se sentaron las bases para la fabricación normalizada de éstos [42]. A partir de entonces estos instrumentos han tenido un desarrollo constante. Actualmente, una de las características de los diferentes modelos de sonómetros en el mercado, es una reducción considerable en tamaño y peso, como se observa en la figura 22, donde el instrumento mostrado pesa 650 g (incluyendo las baterías recargables) y mide 300 x 93 x 50 mm (incluyendo el micrófono) [43].

De acuerdo con la norma internacional IEC (International Electro-technical Commission) 61672:2003, los sonómetros se clasifican, dependiendo de su precisión, en tipo 1 y tipo 2. Aunque la tolerancia en la precisión depende de la frecuencia, generalmente se asume que una medición tendrá una incertidumbre de ± 1 dB ó ± 1.5 dB, si se realiza con un sonómetro tipo 1 ó 2, respectivamente [34].



Figura 22. Sonómetro marca Brüel & Kjær modelo 2270.

Los sonómetros se componen, en términos generales, de un micrófono, un dispositivo de procesamiento de datos y una unidad de lectura. El micrófono convierte la señal sonora en eléctrica, ésta pasa por varias etapas para convertirse en datos de los niveles sonoros, que se pueden observar en la pantalla del sonómetro o pueden ser enviados a una unidad de lectura externa.

Los modelos de sonómetros más recientes están equipados con diversas funciones, que permiten realizar una gran cantidad de mediciones y cálculos de parámetros sonoros. Por ejemplo, tienen detectores simultáneos de velocidad de integración “fast”, “slow” e “impulse”,⁷ almacenan los niveles sonoros

⁷ Para el sistema auditivo humano, los sonidos pueden parecer continuos debido al tiempo de integración audible, que es inherentemente largo, mucho más largo que el tiempo de los ciclos acústicos. De forma similar, los sonómetros, tienen la opción de medir el sonido, de tal manera que parezca continuo (eligiendo un tiempo de integración apropiadamente largo). Los sonómetros tienen las opciones de velocidad de integración: “slow”, “fast” e “impulse”, respectivamente tienen un tiempo de integración promedio por lectura de: 1.0 s (considerablemente más largo que el tiempo de promediación auditivo, es usado cuando el nivel de la señal fluctúa ± 3 dB en un periodo de tiempo), de 0.125 s (considerado como similar al del sistema auditivo, se emplea cuando se requiere monitorear eventos discretos para obtener una indicación clara de niveles máximos) y 0.035 s (usado para evaluar la respuesta humana a ruidos impulsivos que tienen menos de 1s de duración) [44,45].

registrados por periodos definidos previamente, determinan diversos parámetros de ruido y hacen análisis de frecuencia en tiempo real en bandas de octava y tercios de octava, entre otras funciones.

Algunas características relevantes del sonómetro más reciente de la empresa B&K, modelo 2270 [46], que se observa en la figura 22, son las siguientes:

- a) Intervalo dinámico de niveles sonoros de hasta 120 dB (diferencia entre el nivel más alto y el más bajo, que puede ser medido con precisión).
- b) Registro automático de datos desde 1 s hasta 24 horas.
- c) Ponderaciones de decibeles A, B, C y Z.
- d) Análisis de frecuencia en tiempo real en bandas de octava y tercios de octava (en este caso el instrumento se conoce como analizador portátil).
- e) Capacidad de medición en dos canales, lo que permite hacer mediciones en dos posiciones del micrófono al mismo tiempo.
- f) Realiza el registro de varios parámetros simultáneamente, tales como: el nivel de presión sonora instantáneo, el nivel máximo, el nivel pico, el Leq, Ldn, Lden, Ldía, Ltarde y Lnoche.
- g) Cámara digital integrada en el cuerpo del instrumento.
- h) Permite el registro de mensajes de voz a través de otro micrófono.
- i) Los datos pueden ser visualizados en la pantalla del sonómetro en el momento de la medición o, posteriormente, pueden imprimirse directamente o pasarse a una computadora en formato compatible con hojas de cálculo. La transferencia de los datos de medición, grabaciones de voz y fotografías puede hacerse a través de conexión USB o LAN.

Calibración del equipo de medición

Al realizar mediciones de ruido, el equipo de medición puede ser afectado por la temperatura, la presión del aire o la humedad, por esto es necesario verificar la precisión del equipo para que proporcione datos confiables. Para lograr este objetivo se requiere calibrar el equipo de medición mediante un calibrador o pistófono (figura 23 [47]).

La calibración consiste en verificar la sensibilidad del instrumento a una señal sonora de una frecuencia y nivel específicos. La señal sonora, que es generada por el calibrador, comúnmente es un tono puro de 94 dB a una frecuencia de 1 kHz [48].

Dicha señal sonora se aplica al micrófono del instrumento, entonces, si es necesario, éste se ajusta para que la lectura del nivel sonoro sea la misma que la especificada por el calibrador.

La calibración se debe realizar antes y después de un conjunto de mediciones para verificar que la diferencia en los niveles sonoros correspondientes se encuentre entre un intervalo específico permisible.

Los instrumentos de medición también requieren de una revisión periódica para confirmar el cumplimiento de sus especificaciones sobre la precisión del instrumento. Esta revisión se realiza en laboratorio y requiere de equipo sofisticado.

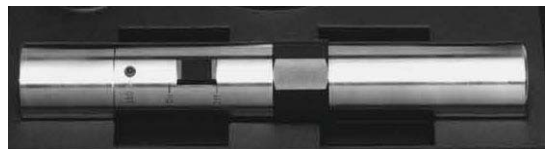


Figura 23. Pistófono marca Brüel & Kjær modelo 4228.

Referencias

- [1] Beranek LL, Vér IL (Eds). Noise and vibration control engineering. USA: John Wiley & Sons; 1992, p 5.
- [2] Howard DM, Angus J. Acoustics and Psychoacoustics, 2nd. ed. Great Britain: Focal Press; 2001, p 6.
- [3] Möser M. Engineering acoustics. Germany: Springer; 2004, p 1.
- [4] Sancho Vendrell FJ, Llinares Galiana J, Llopis Reyna A. Acústica arquitectónica y urbanística. España: Universidad Politécnica de Valencia; 1996, p 113.
- [5] Bies DA, Hansen CH. Engineering Noise Control: theory and practice, 2nd. ed. Great Britain: E & FN SPON; 1998, p 35.
- [6] Howard DM, Angus J. op. cit. p 82.
- [7] Möser M. op. cit. p 6.
- [8] Sancho Vendrell FJ, Llinares Galiana J, Llopis Reyna A. op. cit. p 268.
- [9] Recuero M. Ingeniería acústica. España: Paraninfo; 1994, p 425-427.
- [10] De la Colina T, Moreno Arranz CA. Acústica de la edificación, 2a. ed. España: Fundación Escuela de la Educación a Distancia; 2000, p 9.
- [11] Cowan JP. Handbook of environmental acoustics. New York: VNR; 1994, p 37.
- [12] Bies DA, Hansen CH. op. cit. p 31.
- [13] Beranek LL, Vér IL. op. cit. p 14.
- [14] Bies DA, Hansen CH. op. cit. 1st, ed. p 23.
- [15] Cowan JP. op. cit. p 32.
- [16] Bies DA, Hansen CH. op. cit. p 111.
- [17] Beranek LL. Vér IL. op. cit. p 114.
- [18] García A (Ed.). Environmental Urban Noise. Great Britain: Wit Press; 2001, p 20.
- [19] Sancho Vendrell FJ, Llinares Galiana J, Llopis Reyna A. op. cit. p 315.
- [20] García A. op. cit. p 23.
- [21] Ibid. p 25.
- [22] Ibid. p 28.
- [23] Ray EF. Measurement uncertainty in conducting environmental sound level measurements. Noise Control Eng J 2000;48(1):8-15.
- [24] Irwin JD, Graf ER. Industrial noise and vibration control. USA: Prentice Hall; 1979, p 33.
- [25] Bies DA, Hansen CH. op. cit. p 44.
- [26] Cowan JP. op. cit. p 23.
- [27] Howard DM, Angus J. op. cit. p 67.
- [28] Hougaard S, et al. Sound and Hearing, 2nd. ed. Denmark: WIDEX; 1995, p 38
- [29] Howard DM, Angus J. op. cit. p 80.
- [30] South T. Managing noise and vibration at work. Great Britain: Elsevier; 2004, p 1.
- [31] Sancho Vendrell FJ, Llinares Galiana J, Llopis Reyna A. op. cit. p 94.
- [32] García A. op. cit. p 29.
- [33] Bies DA, Hansen CH. op. cit. p 72.
- [34] South T. op. cit. p 40.
- [35] Irwin JD, Graf ER. op. cit. p 49.
- [36] Gierke HEv. Noise – How much is too much? Noise Control Eng J 1975;5(1):24-34.
- [37] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the Assessment and Management of Environmental Noise.
- [38] García A. op. cit. p 39.
- [39] Free EE. Practical methods of noise measurement. J Acoust Soc Am 1930;2(1):18-29.
- [40] Scout HH. Historical development of the sound level meter. J Acoust Soc Am 1957;29(12):1331-1333.
- [41] Alcalde J. Los Secretos del sonido. Revista Muy Interesante, 2004.
- [42] American tentative standards for sound level meters Z24.3-1936. J Acoust Soc Am 1936;8(2):147-152.
- [43] Página electrónica de la empresa Brüel & Kjær: <http://www.bksv.com>
- [44] WHO. Berglund B, Lindvall T (Eds). Community noise. World Health Organization, Stockholm: Stockholm University and Karolinska Institute; 1995.
- [45] Cowan JP. op. cit. p 42.
- [46] Sonómetro B&K modelo 2270. Hoja de datos del producto, disponible en: <http://www.bksv.com/doc/bp2199.pdf>
- Pistófono B&K modelo 4228. Hoja de datos del producto, disponible en: <http://www.bksv.com/doc/bp0881.pdf>
- [47] García A. op. cit. p 44

El ruido urbano

Introducción

El ruido urbano es uno de los problemas ambientales que la humanidad está padeciendo actualmente en gran medida. Diversos estudios han mostrado que el ruido tiene efectos físicos y psicológicos que impactan en la salud y bienestar de las personas, produciéndose además costos económicos para la sociedad. Por todo esto, organismos internacionales han considerado que el ruido debe ser un tema ambiental de investigación prioritaria, sobretodo en las grandes ciudades.

El análisis del ruido ambiental, desde diferentes perspectivas, ha sido complejo. Particularmente el de la reacción humana a un ambiente sonoro, debido a que influyen diversas variables, acústicas y no acústicas. Actualmente, parte de la investigación en este campo, se está enfocando en el desarrollo de 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 éste es percibido.

El propósito de este capítulo es mostrar el problema del ruido urbano desde el punto de vista de la afectación en la salud, bienestar y economía de la sociedad. Así como revisar la evolución que ha tenido la investigación en torno al análisis y la evaluación del ruido en espacios urbanos.

2.1 Definición del ruido urbano

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 [1]. Cuando se evalúa el impacto en la salud y en el bienestar del ser humano; el ruido es usualmente clasificado, bien como ruido ocupacional, bien como ruido ambiental [2], según el entorno que se esté considerando.

El ruido ocupacional es el que se genera en condiciones de trabajo industrial. Éste, que afecta a millones de trabajadores en el mundo, no será considerado aquí. El ruido ambiental es el que se genera en los espacios comunitarios y domésticos. El ruido se propaga por las áreas exteriores de una comunidad y puede afectar a los ciudadanos tanto en espacios públicos abiertos como en espacios cerrados. Este ruido, que también es identificado como ruido urbano, 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 [3]. Cabe precisar que puede existir una mezcla de los ruidos laboral y ambiental en un mismo sitio; sin embargo, generalmente la afección en las personas es distinta.

Numerosas fuentes de ruido han sido identificadas en un ambiente urbano [4], donde, las principales son los medios de transporte, y entre estos, el más importante y generalizado es el vehicular (por ejemplo: carros, autobuses, camiones y motocicletas). Otras fuentes sonoras que pueden causar considerable emisión de ruido son la construcción, la industria y trabajos públicos. En este mismo ambiente, existen fuentes sonoras; tales como sirenas de ambulancias, policía y bomberos o señales acústicas producidas por sistemas de seguridad, que, aunque son esporádicas, también afectan negativamente a las personas. El ruido producido por actividades recreativas tiene, de igual forma, una importancia social considerable. En este grupo se puede mencionar, como ejemplo, voces de niños jugando en un parque o plaza, 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, son aquellas que se encuentran en el ámbito doméstico, por ejemplo: sistemas de bombeo, equipo 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.

2.2 Efectos del ruido urbano en la comunidad

El problema del ruido, como contaminante ambiental, no es nuevo. En el siglo VI antes de Cristo, en la ciudad griega de Síbaris, se estableció lo que podría considerarse como uno de los primeros ejemplos de norma aplicada al ruido en una comunidad. Allí, los artesanos, cuyo trabajo era ruidoso, debían laborar fuera de la ciudad [5]. 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 [6]. En la Edad Media, en algunas ciudades europeas, no se permitía usar carruajes, ni cabalgar durante la noche, para asegurar el reposo de la población [7].

Es un hecho que el ruido en aquellas ciudades antiguas no se compara con el ruido que existe en las ciudades del siglo XXI; sin embargo desde entonces ha sido importante considerar los efectos que éste tiene en la comunidad.

Efectos del ruido urbano en la salud y bienestar

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 [8-11].

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 [10], donde se señala que el ruido ambiental puede tener efectos tales como: interferencia con la comunicación, perturbación del sueño, efectos en la salud mental, afecciones psicofisiológicas (estrés y efectos cardiovasculares), en el desempeño de tareas, en la productividad, en el comportamiento social y molestia, entre otros. La exposición al ruido ambiental normalmente no causa pérdida auditiva, salvo en casos de exposición a niveles excepcionalmente elevados, o debido a una exposición prolongada. Este mismo organismo [12] recomendó, como indicadores de la salud humana, 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. Los dos primeros efectos 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.

Dichos organismos internacionales y algunos autores [7,13,14] 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. Así mismo, en muchos países, se ha implementado una legislación sobre niveles de ruido permitidos en los espacios interiores y exteriores que el hombre habita.

Una amplia cantidad de los estudios, que han analizado los efectos del ruido, se han centrado en zonas residenciales. Algunos resultados de tales estudios son los siguientes. El ruido provoca en los residentes, por ejemplo: 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 [3]. 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 20 kg/m^2 es de aproximadamente 30 dB, el de uno de 100 kg/m^2 es de 40 dB, el de una puerta sólida está entre 15-20 dB [15].

En un estudio sobre los efectos del ruido aéreo [3] se reportó que, para un nivel de presión sonora equivalente de 65 dB 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; además, 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 35 dBA [7].

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 [12]. Esta afección es reportada en viviendas expuestas a ruido que proviene del 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 [7] son los siguientes: el ruido no debe exceder 30 dBA en el interior de los dormitorios y 45 dBA 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 [3]. Para áreas de trabajo en la vivienda se recomiendan niveles sonoros de entre 35 y 40 dB [16].

El mayor efecto en la comunidad causado por el ruido urbano es la molestia, que ha sido definida como “un sentimiento de desagrado asociado con cualquier agente o condición que se sabe o se cree que afecta de manera adversa” [17]. 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 55 dBA y 50 dBA respectivamente [10]. La OCDE ha sugerido que se considere que, a partir de 55-60 dBA en promedio, durante el período diurno, el ruido puede causar molestia y por encima de 65 dBA pueden surgir perturbaciones de los modelos de comportamiento y síntomas de daño grave [13].

De acuerdo con la OMS [7] 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. Por ejemplo, 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 55 dBA (nivel promedio de 24 horas) [18]. En 1994 se estimó que aproximadamente el 25% de la población europea estaba expuesto a ruido con un nivel promedio superior a 65 dBA 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% [10]. En Alemania se estimó, en 1999, que aproximadamente el 15% de la población estaba expuesta a niveles de ruido mayores de 65 dBA en promedio durante el día [12]. En Suecia fue reportado en el año 2000 que el 25% de la población estaba expuesta a ruido mayor de 55 dBA de nivel promedio en un período de 24 horas [19]. 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 55 dBA y el 67% a niveles mayores de 45 dBA durante el período nocturno [20].

Aunque el ruido del transporte vehicular en ciudades de países en desarrollo no ha sido reconocido como un problema mayor, algunos estudios [21-25] y la OMS [7] 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 ha sido señalado como 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. Sin embargo, ha sido difícil comparar la información hasta ahora obtenida en diferentes países sobre este indicador, debido a la utilización de diferentes métodos para su obtención. Dentro del marco del proyecto Development of Environment and Health Indicators for the EU Countries, la OMS [12] 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 [26], 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 económicos del ruido urbano

Los efectos de la exposición al ruido urbano generan costos para la sociedad, que han sido evaluados mediante modelos económicos.

Estos modelos utilizan principalmente el efecto de molestia para realizar sus estimaciones. Los costos que se han calculado, principalmente, son los generados por las siguientes situaciones: a) la protección comunitaria y privada (barreras acústicas, aislamiento sonoro en ventanas, etc.), 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: (1) el método de preferencia revelada y (2) el método de preferencia declarada. La técnica de mayor uso empleada por estos dos métodos es, respectivamente, el precio hedónico y la evaluación contingente. Ambas se sustentan en el concepto económico llamado Willingness To Pay (disposición a pagar), en este caso, se trata de la disposición a pagar 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, y 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 [27,28].

Los resultados de la mayoría de los estudios hedónicos se proporcionan con el índice llamado Noise Depreciation Sensitivity Index (NDSI), que muestra el porcentaje promedio de depreciación de la vivienda por decibel incrementado en el nivel sonoro. Aunque algunas investigaciones reportan sus resultados sobre los costos nacionales del ruido, en porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB), los estudios de evaluación contingente muestran sus resultados principalmente en términos del PIB y del costo económico total al país por año.

Algunos ejemplos de estos tipos de estudios son los siguientes. 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 [29]. Los valores del NDSI están en el intervalo de entre 0.08% y 2.30%. El costo nacional del ruido en términos del PIB se encontró entre 0.025 y 2.27%. El DETR señala que, aunque la literatura revisada muestra 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. Además, hace énfasis en que, 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.

Diversos estudios han mostrado que un porcentaje importante de personas estarían dispuestas a pagar dinero o a un incremento en los impuestos para reducir la contaminación por ruido. Por ejemplo, de acuerdo con un estudio realizado en Francia en el año 2000 [30], aproximadamente el 38% de las personas encuestadas estaban dispuestas a pagar más impuestos para reducir el ruido, siendo la cantidad de 73 euros por familia y año, lo que estaban dispuestos a pagar en promedio. Un estudio realizado en España en el año 1999 [31] estimó que el valor medio de la cantidad dispuesta a pagar variaba entre aproximadamente 26 y 29 euros por casa, por año. Otro estudio, realizado también en España, publicado en el año 2006 [32], reportó los siguientes resultados: aproximadamente el 54% de las personas encuestadas preferían vivir en un ambiente silencioso, aunque la propiedad fuera de menor valor económico. Para el 80% de las personas era más importante vivir en una casa tranquila que vivir cerca del lugar de trabajo. El 50% de las personas estaban dispuestas a pagar por una

reducción del ruido, la cantidad de 7.22 euros por persona y año, en promedio. En el estudio de Francia, y en el de España publicado en el año 2006, se reportó que, a mayor nivel de molestia provocada por el ruido, mayor es la cantidad de dinero que las personas estaban dispuestas a pagar para la reducción del ruido.

De acuerdo con la OMS, la aplicación de un análisis de costo-beneficio para el ruido comunitario, es extremadamente complejo y debería ser usado en la toma de decisiones con cierta precaución [10]. A este respecto, la Directiva Europea 2002/49/EC [26] señala que uno de los requerimientos mínimos de los planes de acción para la lucha contra el ruido, debe ser la información financiera referente a los costos y beneficios de la implementación de tales planes.

2.3 Evaluación del 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 éste producía en la salud y el bienestar de los habitantes [33,34]. 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 (algunos estudios en esta área también incluyen una evaluación cuantitativa del ambiente sonoro [35]).

Evaluación cuantitativa del ambiente sonoro

A lo largo de varias décadas se han realizado estudios enfocados en el análisis objetivo del ambiente sonoro en zonas urbanas, que han

tenido alguno o varios de los siguientes propósitos [4,26,36]:

- Determinar la exposición al ruido ambiental a través de mapas de ruido.
- 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 de la comunidad al ruido.
- 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.

Dependiendo de los objetivos de tales estudios, éstos varían en profundidad y detalle.

Los niveles de ruido, en un principio, fueron obtenidos a partir de mediciones en los sitios de estudio, posteriormente éstos se han podido deducir a través de métodos numéricos.

Uno de los primeros estudios de medición del ruido ambiental a gran escala fue realizado en 1930 en la ciudad de Nueva York [37]. 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 involucraban 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 [38,39].

Actualmente los equipos de medición de ruido ambiental son de manejo simple; las señales sonoras se pueden registrar fácilmente en el sitio de estudio y almacenar para su análisis posterior. Sin embargo, las mediciones *in situ* tienen ciertos inconvenientes: en algunos casos pueden consumir mucho tiempo y ser costosas, debido a que 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. Con todo, en diversos países se han invertido recursos económicos para llevar a cabo estudios que analizan las condiciones del ruido ambiental en sus ciudades [40].

Los niveles de ruido, 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 (por ejemplo, la distancia fuente-receptor, la topografía del terreno, los obstáculos artificiales y naturales y las condiciones meteorológicas). Conociendo esta información, es posible estimar los niveles sonoros a través de modelos teóricos, que 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 años cincuenta, cuando el ruido de los medios de transporte fue reconocido como un problema de contaminación ambiental en algunos países. Desde aquellos años se han desarrollado numerosos modelos para estimar el ruido en las ciudades, poniéndose 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 [41]. Los modelos recientes hacen un análisis más amplio de la propagación y atenuación del sonido, incluyendo efectos como la potencia de la fuentes sonora, la 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 [42,43].

El estudio de la propagación del sonido también se ha realizado considerando las características urbano-arquitectónicas de un sitio de estudio dentro de una ciudad. La mayoría de los trabajos, en esta área, 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 [44,45], éstos se centraron 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: (1) es necesario considerar los elementos que conforman las fachadas de las edificaciones, así como las irregularidades en éstas y en la superficie del terreno, y (2) los niveles sonoros dependen también de las dimensiones de la calle y de la altura de los edificios.

Los modelos desarrollados posteriormente han

ampliado el conocimiento sobre el tema de la propagación y atenuación del sonido en calles urbanas. Los resultados de algunos estudios [46-49] han proporcionado 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, que 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

El mayor número de trabajos realizados en esta área se han centrado en el análisis de la respuesta de las personas al ruido en zonas

habitacionales, como fue mostrado en un documento que identificó 521 estudios de este tipo, publicados en idioma inglés entre los años 1943 y 2000 [35].

La relación entre el ruido y un efecto dañino que provoca éste en el ser humano, ha sido llamada relación dosis-respuesta, relación dosis-efecto, relación exposición-efecto o relación exposición-respuesta. Esta última terminología, de acuerdo con la OMS [50], es la más adecuada cuando se estudia el ruido comunitario. Esta relación ha sido ampliamente analizada desde la década de los sesenta [35]. Para su explicación, desde entonces, se ha puesto considerable atención en la investigación de los siguientes temas: la medida con la que se expresa el nivel del ruido, el tipo de fuentes sonoras, las escalas usadas en encuestas para la evaluación de la reacción de las personas y las variables no acústicas que influyen en dicha relación.

El estudio del primer tema mencionado propició el desarrollo y uso de una amplia variedad de índices de ruido, que representan una medida del nivel de ruido, cuyas características se deben a supuestos o factores que se tomaron en cuenta en su diseño [51], como por ejemplo: 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) la duración del evento sonoro, el número de eventos, el contenido de frecuencias, la variación del nivel con el tiempo, la presencia de tonos puros en el ruido, la existencia de ruido de fondo, entre otros.

Existe un número extenso de índices o medidas que han sido propuestos para evaluar la reacción al ruido [51-54]. Por ejemplo, entre los más conocidos para evaluar la respuesta al ruido producido por aviones se encuentran: Composite Noise Rating (CNR), Noise

Exposure Forecast (NEF), Noise and Number Index (NNI) y para el ruido del transporte vehicular: Traffic Noise Index (TNI) y Noise Pollution Level (NPL). Algunas medidas de estas ya no están en uso. Otras han tenido una evolución, de acuerdo con los intentos de los investigadores, por encontrar aquellas que se relacionen mejor con la respuesta humana y cuya medición con instrumentos sea fácil.

Actualmente los índices comúnmente usados para caracterizar la exposición al ruido urbano son los niveles que integran la energía sonora en un periodo de tiempo, los niveles estadísticos y el nivel máximo. Algunos organismos [10,26,55] han recomendado ampliamente el uso del primer tipo de medida para evaluar la molestia causada por la exposición al ruido urbano (relativamente estable). Sin embargo, su uso ha sido cuestionado [56,57], debido a que este tipo de medidas están basadas 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. Con esto, 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 sonoro y de larga duración. Debido a que estas medidas evalúan la exposición global al ruido durante un período largo de tiempo, no se tiene 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 niveles 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 [37] y trataron de predecir si la población

expuesta al ruido podría quejarse o tomar acciones legales [58]. Un gran número de estudios posteriores, identificados como socio-acústicos, han tenido las siguientes características en común [59-61]: a) se estudia el efecto de la molestia más que cualquier otro (porque se considera que es el más importante en términos del número de personas afectadas), b) los niveles de ruido se miden, o se calculan, en el exterior de las edificaciones, c) las zonas principalmente estudiadas son habitacionales (escasos estudios consideran otro tipo de espacio), d) las fuentes de ruido más estudiadas son los medios de transporte, e) el ambiente ruidoso es considerado relativamente estable y f) la respuesta al ruido es evaluada considerando 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 mayoría de este tipo de estudios tiene un diseño común, que está basado en encuestas de opinión, aplicadas directamente a las personas en su vivienda, enviadas por correo o realizadas por teléfono. Se pregunta a los encuestados, por ejemplo, sobre si (y cuánto) molesta el ruido ambiental, si interfiere con actividades dentro de la vivienda, creencias relacionadas con el ruido, entre otras preguntas, con el propósito de correlacionar las respuestas con las características físicas del ruido.

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 [35].

Este tipo de estudios han sido la herramienta para el desarrollo de funciones que muestran la relación entre la molestia expresada por los encuestados y el ruido incidente en la fachada más expuesta de la vivienda; donde, la variable

independiente es el nivel de ruido (en unidades de Ldn, por ejemplo) y la variable dependiente es la molestia expresada en % de personas molestadas (%A) o altamente molestadas (%HA). En el anexo A se muestran varios ejemplos de estas funciones, que se han desarrollado desde hace varias décadas.

A este respecto, Schultz [62] 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 éstos obtuvo una sola curva (donde el %HA es función del Ldn), 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 [63,64] y él [65] respecto al criterio utilizado para obtener tal 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 10 dB 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 [66], el otro que compara ruido de trenes con el de transporte terrestre y aéreo [67]–, hacen la misma sugerencia que Kryter.

En 1991 se amplió el análisis de Schultz con un número mayor de estudios y se obtuvo esencialmente la misma curva [68]. Sin embargo, los resultados de un estudio realizado en 1998 [69], con base en los datos utilizados en los trabajos antes citados y en información nueva, mostraron que el ruido del transporte vehicular es menos molesto que el producido por el transporte aéreo y el de trenes menos que los anteriores. Los autores concluyeron que si se usa el Ldn como indicador de la exposición al ruido, deben emplearse diferentes funciones

para estimar la molestia provocada por los diferentes medios de transporte.

Si bien los trabajos citados, que muestran coeficientes de correlación relativamente altos (hasta 0.8 en promedio), 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 Ldn. En una revisión de 39 estudios sobre la relación exposición-respuesta, realizados en 10 países [70], 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 [10], este porcentaje está entre el 10% y el 30%. Esta relación débil ha sugerido que las respuestas de los individuos dependen no sólo de atributos físicos del ruido, sino también de características socioculturales, contextuales o personales [71-75]. Como se muestra en los siguientes resultados de un análisis de diversos estudios socioacústicos realizados previamente en Europa, América del Norte y Australia (en conjunto suman 49701 respuestas) [74].

- 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.

Importante conocimiento ha sido obtenido de 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 para su solución; tal es el caso del Comité Internacional de Efectos Biológicos del Ruido (ICBEN) [75], que ha llevado a cabo investigaciones con el propósito de desarrollar, para estudios sociales, una medición estandarizada, de la reacción al ruido percibido en un ambiente residencial. Con este propósito,

el ICBEN desde 1993 empezó a trabajar en una propuesta de preguntas y escalas de respuestas estandarizadas en diferentes idiomas, analizando los siguientes aspectos:

- a) Qué tipo de pregunta era más conveniente usar (abierta o cerrada).
- b) A través de qué efecto (molestia, perturbación, etc.) era más adecuado describir la reacción al ruido.
- c)Cuál era la palabra más apropiada para referirse al ambiente acústico (ruido o sonido).
- d) La especificación de las condiciones de la vivienda (día/noche, dentro/fuera, ventanas abiertas o cerradas, etc.).
- e) El tipo de escalas de respuestas (numérica o verbal) y el número de categorías de ésta.

Después de 7 años de investigación, el Comité desarrolló un método para lograr su objetivo y 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 [76]. Las palabras que forman esta escala son: extremadamente, muy, medianamente, ligeramente y absolutamente nada.

De acuerdo con el ICBEN, la utilización de preguntas estándar con escalas normalizadas permitirá 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 (por ejemplo los efectos en la salud, en la molestia, en la perturbación de las actividades). Sin embargo, una tendencia importante en el estudio de 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 [77]. La investigación, que se está realizando con esta perspectiva, 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. Así mismo, 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. De acuerdo con este concepto, 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 aceptable, sino que debería ser un ambiente que promueva reacciones positivas.

El ICBEN ha señalado que 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 [78].

Para lograr tal objetivo, ha sido necesario el desarrollo de 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. Por ejemplo, se han propuesto criterios para clasificar los sonidos, entre los que destacan el llamado semántico [79], que distingue categorías de sonidos definidas por el grado de: a) presencia humana, b) animales y elementos naturales, c) actividades y d) objetos. Otra clasificación distingue los sonidos en: a) naturales (por ejemplo, flujo de agua, viento, animales), b) artificiales (música, transporte, etc.) y c) sociales (voces de personas) [80].

Aunado a esto, dentro de la comunidad científica, dedicada al estudio del ruido urbano, se observa mayor interés por el estudio del ambiente sonoro en otro tipo de espacios, diferentes al habitacional, tales como parques naturales y urbanos, áreas de recreación al aire libre, plazas, jardines y en general todos aquellos espacios públicos abiertos que la comunidad utiliza en una ciudad [80-84].

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 índices 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 tanto abiertas como 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 mencionados arriba. Las encuestas también incluyen preguntas para conocer aspectos demográficos de los encuestados y analizar la influencia de éstos en las respuestas proporcionadas.

El nuevo enfoque, en la investigación del ruido urbano, analiza también la comodidad de un sitio desde un punto de vista multisensorial, que evalúa, además del aspecto auditivo, el visual [82,85-87]. Debido a que éstos son factores importantes en la percepción de un ambiente urbano interactúan uno con otro, como lo han mostrado los resultados de los siguientes estudios. En laboratorio se analizó la incidencia que tiene el efecto de imágenes visuales (de la urbanización) en las preferencias auditivas [86], concluyéndose que cuanto mayor es el grado de urbanización que muestran las imágenes, más negativa (en términos de agradable y relajante) es la evaluación del sonido presente (no sonidos sociales). En la evaluación de los sonidos sociales no influye la aportación de la información visual, probablemente porque al escuchar este tipo de sonidos, se demanda mayor capacidad de atención. Otro estudio [87], que analizó la incidencia de la imagen en la respuesta de tolerancia y molestia hacia el ruido, mostró que los contextos agradables desde el punto de vista visual incrementaban la aceptación del sonido y disminuían la sensación de molestia.

Cabe mencionar que otra teoría interesante, que podría apoyar la del paisaje sonoro, ha sido planteada recientemente para los espacios públicos abiertos [84]. Esta teoría, que se basa en la recuperación de la atención (a través del descanso de la fatiga mental), propone que es importante el papel que juega la interpretación del ambiente sonoro (de los espacios públicos abiertos) en la experiencia de recuperación de la atención de un individuo.

Conclusiones

Los medios de transporte, las construcciones, las obras públicas, las alarmas de emergencia, las actividades recreativas y muchas otras fuentes sonoras, han provocado que, actualmente, el ruido se incluya en la lista de contaminantes ambientales, que está afectando a un gran número de personas expuestas e éste en las ciudades.

Durante muchos años la investigación en torno al ruido urbano estuvo enfocada principalmente en el problema técnico, sin involucrar aspectos subjetivos. No obstante, durante los últimos años, numerosos estudios han tratado de explicar la reacción de las personas al ruido ambiental. Aunque el tema es complejo y las investigaciones se han realizado desde diferentes perspectivas, existe consenso en que la intensidad del ruido es una variable necesaria para analizar la respuesta al ambiente sonoro; pero ésta, por sí sola, no la define, pues en ella, también influyen variables personales.

Una gran cantidad de dichas investigaciones, se han centrado en el análisis de ambientes exclusivamente habitacionales; pero el ruido está presente en prácticamente todos los espacios que el hombre utiliza para desarrollar sus actividades y en todos los momentos del día. Por esta razón, es importante analizar otro tipo de espacios que el hombre usa en su vida cotidiana de tránsito o de estar por la ciudad, por ejemplo, los espacios públicos abiertos, que es un importante elemento de las áreas urbanas.

Mientras que la relación exposición-respuesta al ruido ha sido frecuentemente evaluada en términos de molestia o contaminación ambiental, también se ha observado un creciente interés por investigar aspectos positivos de los sonidos que se encuentran en las ciudades. Desde esta nueva perspectiva es posible evaluar la experiencia subjetiva, el significado y relevancia que tienen los sonidos

para las personas y definir cuáles son las características de un ambiente sonoro favorable que promueva reacciones positivas en los usuarios de un espacio determinado.

Ninguno de los estudios, realizados con diferentes tipos de enfoques, ha podido determinar con exactitud el mecanismo de la relación exposición-respuesta al ambiente sonoro. Sin embargo, los resultados que hasta ahora se han obtenido, muestran que las acciones que se tomen para abatir este problema no deben 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 negativa al ruido.

Con todo, la información científica, desde un punto de vista práctico, puede ser de utilidad para quienes están implicados en la toma de decisiones en diferentes campos, como por ejemplo, en el de la salud, la planificación y el diseño urbano.

Si bien, en tiempos antiguos, cuando las fuentes sonoras no eran tan numerosas en las ciudades, ya se tomaban medidas para controlar el ruido. En las ciudades modernas, donde este tema se ha convertido en un fenómeno complejo, ha sido necesario un llamado, por parte de organismos internacionales, para atender este problema de manera prioritaria con el propósito de evitar o reducir los efectos negativos en la salud y bienestar de las personas, así como los costos económicos que éste genera.

Referencias

- [1] Cohen S, Weinstein N. Nonauditory effects of noise on behavior and health. En: Evans GW (Ed). *Environmental Stress*. USA: Cambridge University Press; 1982, p 45-73.
- [2] WHO. Concha-Barrientos M, Campbell-Lendrum D, Steenland K. *Occupational noise: Assessing the burden of disease from work-related hearing impairment at national and local levels*. World Health Organization, *Environmental Burden of Disease Series*, No. 9, Geneva 2004.
- [3] Guski R. Community response to environmental noise. En: García A (Ed). *Environmental Urban Noise*. Great Britain: WIT Press; 2001, p 111-148.
- [4] Branbilla G. Physical assessment and rating of urban noise. En: García A (Ed). *Environmental Urban Noise*. Great Britain: WIT Press; 2001, p 15-61
- [5] Embleton TFW. Tutorial on sound propagation outdoors. *J Acoust Soc Am* 1996;100(1):31-47.
- [6] Shaw EAG. Noise environments outdoors and the effects of community noise exposure. *Noise Control Eng J* 1996;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).
- [7] WHO. *Guidelines for community noise*. World Health Organization, Geneva, Switzerland; 1999.
- [8] OECD. *Human health and the environment*, Chapter 21. France; 2001.
- [9] OECD. *Environmental indicators, development, measurement and use*. France; 2003.
- [10] WHO. Berglund B, Lindvall T (Eds). *Community noise*. World Health Organization, Stockholm: Stockholm University and Karolinska Institute; 1995.
- [11] WHO. *Development of Environment and Health Indicators for European Union Countries: Results of a Pilot Study*. World Health Organization, Bonn Germany; 2004.
- [12] WHO. *Technical meeting on noise and health indicators. Second meeting - Results of the testing and piloting in Member Status*. World Health Organization, Bonn Germany; 2003.

- [13] Comisión Europea. Política futura de lucha contra el ruido, Libro Verde. Bruselas; 1996.
- [14] Vallet M. Effects of noise on health. En: García A (Ed). Environmental urban noise. Great Britain: WIT Press; 2001, p 64-109.
- [15] Behar A. El ruido y su control. México: Trillas; 1994.
- [16] Bies DA, Hansen CH. Engineering Noise Control: theory and practice, 2nd. ed. Great Britain: E & FN SPON; 1998, p 35.
- [17] Berglund B, Harder K. Annoyance perception of sound and information extraction. *J Acoust Soc Am* 1994;95(3):1501-1509.
- [18] EPA. National Ambient Noise Survey. EPA 550/9-82-410. Washington, D.C. U.S. Environmental Protection Agency Office of Noise Abatement and Control (ONAC), 1982.
- [19] Öhrström E, Skanberg A, Svensson H, Gidloff-Gunnarsson A. Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness. *J Sound Vibr* 2006;295:40-59.
- [20] Skinner CJ, Grimwood CJ. The UK noise climate 1990–2001: population exposure and attitudes to environmental noise. *Appl Acoust* 2005;66:231-243.
- [21] Boullosa RR, Pérez Ruíz SJ. An exploratory study of Community noise levels in México city. *Appl Acoust* 1987;22:271-280.
- [22] Onu MU. Road traffic noise in Nigeria: measurements, analysis and evaluation of nuisance. *J Sound Vibr* 2000;233(3):391-405.
- [23] Zannin PHT, Calixto A, Diniz FB, Ferreira JAC. A survey of urban noise annoyance in a large Brazilian city: the importance of a subjective analysis in conjunction with an objective analysis. *Environmental Impact Assessment Review* 2003;23:245-255.
- [24] Ali SA. Investigation of the dose-response relationship for road traffic noise in Assiut, Egypt. *Appl Acoust* 2004;65:1113-1120.
- [25] Sommerho J, Recuero M, Suárez E. Community noise survey of the city of Valdivia, Chile. *Appl Acoust* 2004;65:643-656.
- [26] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the Assessment and Management of Environmental Noise.
- [27] Bjørner TB. Combining socio-acoustic and contingent valuation surveys to value noise reduction. *Transportation Research part D* 2004;9:341-356.
- [28] Wardman M, Bristow A, Arsenio E. Applying Stated Preference Methods to the Valuation of Noise: Some Lessons to Date. Proceedings of the 2005 Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Rio de Janeiro, Brazil.
- [29] Navrud S. The state-of-the-art on economic valuation of noise. Report to the European Commission DG Environment; 2002.
- [30] Lambert J, Poisson F, Champelovier P. Valuing benefits of a road traffic noise abatement programme: a contingent valuation survey. Proceedings of the 17th International Congress on Acoustics, Rome; 2001.
- [31] Barreiro J, Sánchez M, Viladrich-Grau M. How much are people willing to pay for silence? A contingent valuation study. *Applied Economics* 2005;37:1233-1246.
- [32] Martín MA, Terrero A, González J, Machimbarrena M. Exposure-effect relationships between road traffic noise annoyance and noise cost valuations in Valladolid, Spain. *Appl Acoust* 2006;67:945-958.
- [33] Laird DA. The effects of noise: A summary of experimental literature. *J Acoust Soc Am* 1930;1(2):256-262.
- [34] Winne SW. New York city's noise abatement commission. *J Acoust Soc Am* 1930;2 (1):12-17.
- [35] NASA. Fields JM. 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; 2001.
- [36] Stathis TC. Community noise levels in Patras, Greece. *J Acoust Soc Am* 1981;69(2):468-476.
- [37] Galt RH. Results of noise surveys. Part I Noise-out of-doors. *J Acoust Soc Am* 1930;2(1):30-58.
- [38] Meyer AF. The Need for Standards on noise. *J Acoust Soc Am* 1972;51(3):800-802.
- [39] Kryter KD. Acoustical Society of America Policy on Noise Standards. *J Acoust Soc Am* 1972; 51(3):803-806.
- [40] OECD. Pollution abatement and control expenditure in OECD countries. ENV/EPOC/SE(2003).
- [41] Steele C. A critical review of some traffic noise prediction models. *Appl Acoust* 2001;62:271-287.

- [42] Makarewicz R. Air absorption of traffic noise. *J Sound Vibr* 1991;161(2):193-202.
- [43] Kragh J. News and needs in outdoor noise prediction. Proceedings of the 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, The Hague, Holland.
- [44] Aylor D, Parlange JY. Reverberation in a city street. *J Acoust Soc Am* 1973;54(6):1754-1756.
- [45] Bullen R, Fricke F. Sound propagation in a street. *J Sound Vibr* 1976;46(1):33-42.
- [46] Kang J. Sound propagation in street canyons: Comparison between diffusely and geometrically reflecting boundaries. *J Acoust Soc Am* 2000;107(3):1394-1404.
- [47] Picaut J. Numerical modeling of urban sound fields by a diffusion process. *Appl Acoust* 2002;63:965-991.
- [48] Hossam El Dien H., Woloszyn P. Prediction of the sound field into high-rise building facade due to its balcony ceiling form. *Appl Acoust* 2004;65:431-440.
- [49] Ismail M.R, Oldham DJ. A scale model investigation of sound reflection from building facades. *Appl Acoust* 2005;66:123-147.
- [50] WHO. Technical meeting on exposure-response relationships of noise on health. 19-21 September 2002 Bonn, Germany.
- [51] Crocker MJ. Noise Control. En: Crocker MJ (Ed). *Handbook of Acoustics*. USA: Wiley-Interscience Publication; 1998, p 771-774.
- [52] Bishop DE. Correlations between different community noise measures. *Noise Control Eng J* 1973;1 (2):74-78.
- [53] Eldren KM. Assessment of community noise. *Noise Control Eng J* 1974;3(2):88-95.
- [54] Hayashi C, Kondo S, Kodama H. Psychological assessment of aircraft index. *J Acoust Soc Am* 1978; 63(3):815-822.
- [55] HUD. The Noise Guidebook. The US Department of Housing and Urban Development, HUD-953-CPD, Washington, DC. (1985). Disponible en: <http://www.hud.gov/offices/cpd/environment/training/guidebooks/noise/>. Consultada el 11 de abril de 2006.
- [56] Fidell S, Pearsons KS. Community response to environmental noise. En: Crocker MJ (Ed). *Handbook of Acoustics*. USA: Wiley-Interscience Publication; 1998, p 907-915.
- [57] Rylander R, Björkman M. Planning consequences of the maximum dB (A) concept-a perspective. *J Sound Vibr* 2002;250(1):175-179.
- [58] Luz GA, Rasper R, Schomer PD. An analysis of community complaints to noise. *J Acoust Soc Am* 1983;73 (4):1229-1235.
- [59] Gierke HEv. Noise – How much is too much? *Noise Control Eng J* 1975;5(1):24-34.
- [60] Fidell S. Nationwide urban noise survey. *J Acoust Soc Am* 1978;64(1):198-206.
- [61] Finegold LS, Finegold MS. Development of Exposure-Response Relationships between Transportation Noise and Community Annoyance. Proceedings of the Japan Net-Symposium on Annoyance, Stress and Health Effects of Environmental Noise, Tokyo Japan; 2002.
- [62] Schultz TJ. Synthesis of social surveys on noise annoyance. *J Acoust Soc Am* 1978;64(1):377-404.
- [63] Kryter KD. Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise. *J Acoust Soc Am* 1982;72(4):1222-1242.
- [64] Kryter KD. Rebuttal by Karl D. Kryter to comments by T. J. Schultz. *J Acoust Soc Am* 1982;72(4):1253-1257.
- [65] Schultz TJ. Comments on K. D Kryter's paper, Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise. *J Acoust Soc Am* 1982; 72(4):1243-1252.
- [66] Hall FL, Birnie SE, Taylor SM, Palmer JE. Direct comparison of community response to road traffic noise and to aircraft noise. *J Acoust Soc Am* 1981;70(6):1690-1698.
- [67] Fields JM, Walker JG. Comparing the relationships between noise level and annoyance in different surveys: a railway noise vs aircraft and road traffic comparison. *J Sound Vibr* 1982; 81:51-80.
- [68] Fidell S, Barber DS, Schultz TJ. Updating a dosage-effects relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. *J Acoust Soc Am* 1991;89(1):221-233.
- [69] Miedema HME, Vos H. Exposure-response relationships for transportation noise. *J Acoust Soc Am* 1998;104(6):3432-3445.
- [70] Job RFS. Community response to noise: A review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction. *J Acoust Soc Am* 1988;83(3):991-1001.

- [71] Fidell S, Schults T, Green D.M. A theoretical interpretation of the prevalence rate of noise-induced annoyance in residential populations. *J Acoust Soc Am* 1988;88(6):2109-2113.
- [72] Green DM, Fidell S. Variability in the criterion for reporting annoyance in community noise surveys. *J Acoust Soc Am* 1991;89(1):234-243.
- [73] Fields JM. Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas. *J Acoust Soc Am* 1993;93(5):2753-2763.
- [74] Miedema HME, Vos H. Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. *J Acoust Soc Am* 1999;105(6):3336-3344.
- [75] Fields J.M, et al. Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: research and a recommendation. *J Sound Vibr* 2001;242(4):641-679
- [76] García A, García AM, Arana M, Vela A. Evaluación de la molestia producida por el ruido ambiental. *TecniAcústica*99; 1999, Ávila, España.
- [77] Raimbault M, Dubois D. Urban soundscapes: Experiences and knowledge. *Cities* 2005;22 (5):339-350.
- [78] Gjestland T. Current research topics and problems: the role of ICBEN. *J Sound Vibr* 2002, 250 (1): 5-8.
- [79] Guyot F, Nathanail C, Montignies F, Masson B. Urban sound environment quality through a physical and perceptive classification of sound sources: a cross-cultural study. Proceedings of the ForumAcusticum 2005, Budapest, Hungary.
- [80] Ge J, Hokao K. Research on the sound environment of urban open space from the viewpoint of soundscape – a case study of Saga Forest Park, Japan. *Acta Acustica/Acustica* 2004;90:555-563.
- [81] Raimbault M, Lavandier C, Bérengier M. Ambient sound assessment of urban environments: field studies in two French cities. *Appl Acoust* 2003;64:1241-1256.
- [82] Yang W., Kang J. Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces. *Appl. Acoust.*, 2005; 66: 211–229.
- [83] Rychtarikova M, Vermeier G, Domecka M. The application of the soundscape approach in the evaluation of the urban public space. Proceedings of the Acoustics'08, Paris, France.
- [84] Payne SR. Are perceived soundscapes within urban parks restorative? Proceedings of the Acoustics'08, Paris, France.
- [85] Carles JL, López Barrio I, DE Lucio JV. Sound influence on landscape values. *Landscape and urban planning*, 1999; 43: 191-200.
- [86] Viollon S, Lavandier C, Drake C. Influence of visual setting on sound ratings in an urban environment. *Appl Acoust* 2002;63:493-511.
- [87] Barrio IL, Guillén JD. Calidad acústica urbana: influencia de las interacciones audiovisuales en la valoración del ambiente sonoro. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano* 2005;6(1):101-117.

Factores que influyen en la molestia provocada por la exposición al ruido urbano

Introducción

Dentro de la comunidad científica dedicada al estudio del ruido urbano, existe un consenso general sobre el hecho de que, en términos del número de personas afectadas, excepto para niveles altos de exposición sonora, uno de los efectos adversos más importantes que produce el ruido ambiental en las personas, es la molestia.

Así mismo, se comparte la conclusión de que el estudio de este efecto es complejo, debido a que está determinado por factores acústicos, relacionados especialmente con las fuentes sonoras y por factores no acústicos, ligados principalmente con características personales y sociales de los individuos.

En este capítulo se hace una revisión de la investigación que se ha reportado en la literatura, sobre la influencia que ejercen los factores acústicos y no acústicos en la respuesta de molestia.

De los factores acústicos se destacarán, en particular, aquellos que están relacionados con: (1) las características físicas de la fuente de ruido, (2) factores relacionados con el contexto y (3) factores relacionados con la naturaleza de la fuente sonora. Los factores no acústicos están clasificados en tres categorías principales: (1) de actitud, (2) socio-demográficos y (3) circunstanciales.

3.1 El concepto de molestia

La molestia ha sido definida, de manera general, como un sentimiento de desagrado asociado con cualquier agente o situación que se cree que afecta negativamente a un individuo o a un grupo de individuos [1]. La molestia provocada por ruido, en particular, tiene diversas connotaciones, que han sido mostradas en algunas investigaciones recientes [2-4], éstas indican que se trata de un concepto psicológico, que puede estar asociado con diversos sentimientos o reacciones generados por una evaluación negativa de las condiciones ambientales, por ejemplo con: perturbación, insatisfacción, preocupación, desagrado, irritación, agobio, exasperación, incomodidad, inquietud, angustia y odio, entre otros.

Guski *et al.* [3] identificó, en diversos trabajos de investigación, los siguientes enfoques que se le han dado al concepto de molestia provocada por ruido:

- La molestia es el resultado de una emoción; es decir, que las personas experimentan los estímulos de manera afectiva y los efectos que éstos producen son llamados agrado y desagrado. De esta forma, la molestia es considerada como un proceso afectivo elemental relacionado con la fuente de estimulación.

- En otros casos, la molestia causada por eventos ruidosos ha sido considerada como una reacción secundaria, que es producida por la perturbación de ciertas actividades; por ejemplo, la perturbación de la comunicación.
- La molestia como una actitud. Aún cuando no se tiene conocimiento sobre un tema, se tiene una actitud hacia éste, que se expresa en una escala continua entre *bueno* y *malo*, a veces derivada de tradiciones socioculturales o por mera asociación con el nombre del tema.
- La molestia ha sido considerada como una reacción, que está influenciada por el conocimiento que se tiene del ruido en cierta situación; por ejemplo, el conocimiento del efecto que tiene el ruido de aeronaves sobre el sueño o el aprendizaje.
- La molestia es el resultado de decisiones racionales. Las personas contrapesan una cosa sobre otra, que puede contribuir al hecho de que el grado de molestia individual varía moderadamente con la carga física de ruido.

En el campo de estudio del ruido urbano, el concepto de molestia es ampliamente utilizado como una medición subjetiva de la reacción de la comunidad al impacto sonoro. Se expresa como la cantidad de personas, de una muestra aleatoria de una población con exposición sonora similar, que se consideran ellas mismas molestadas por el ruido.

Si bien el efecto de molestia no es de los más graves que provoca el ruido, es de los más fáciles de evaluar; por tal razón se ha usado ampliamente para dar una imagen de la situación de ruido, en un lugar específico [5]. Los estudios sobre este tema [6], analizan la relación entre el nivel de molestia y el nivel de ruido, deduciendo, en algunos casos, relaciones llamadas *dosis-respuesta*, que permiten determinar la proporción de personas molestas en función del nivel sonoro.

Aunque las relaciones de este tipo [7-9], indican que hay un incremento en la molestia

con el incremento del nivel de presión sonora, se ha mostrado que existe una gran variabilidad en la reacción individual a exposiciones con igual nivel sonoro. La exposición al ruido puede explicar, en promedio, hasta el 67% de la variación en la molestia expresada por la comunidad; sin embargo, en la predicción de la respuesta individual este porcentaje es mucho menor [10], pues solamente un porcentaje pequeño (menos del 20%) de la variación de la respuesta individual es explicada por la exposición al ruido.

Estos resultados han mostrado que, en el estudio de la reacción al ruido, es importante el análisis de factores no acústicos ligados con características personales y sociales de los individuos.

3.2 Factores que influyen en la molestia

La mayoría de los trabajos que se han publicado sobre la molestia, y que serán comentados en este apartado, tienen las siguientes características en común: a) el tipo de *exposición sonora* que ha sido especialmente investigada, en términos de espacio y tiempo, es la que ocurre en zonas habitacionales sobre un periodo de tiempo largo (meses), b) las fuentes sonoras principalmente estudiadas son *los medios de transporte* aéreo y terrestre y c) la molestia causada por *eventos individuales* generalmente no ha sido usada para describir la respuesta de la comunidad al ruido.

I. Factores acústicos

Los resultados de diversos estudios han mostrado que los principales factores acústicos que afectan la respuesta de la comunidad al ruido, son aquellos relacionados con: (1) las características físicas del ruido, (2) el ruido del contexto y (3) la naturaleza de la fuente sonora.

1. Factores relacionados con las características físicas del ruido

Los factores relacionados con las características físicas del ruido que afectan la respuesta de molestia, son: a) el nivel sonoro promedio, b) el número de eventos sonoros, c) el nivel sonoro máximo y d) los eventos sonoros impredecibles.

a) Nivel sonoro promedio

En los estudios de los efectos del ruido en las personas se han empleado como descriptores del ruido, principalmente, los índices basados en el concepto de igual energía. Estos índices constituyen una medida que *integra la energía sonora* en un periodo de tiempo, por ejemplo el Nivel de Presión Sonoro Equivalente (Leq), el Nivel Sonoro equivalente Día-Noche (Ldn) desarrollado por la US Environmental Protection Agency a principios de la década de 1970 [11] y el Nivel Sonoro equivalente Día-Tarde-Noche (Lden) propuesto recientemente por la Unión Europea [12].

Algunos resultados de este tipo de estudios, que han proporcionado información relevante para preservar la salud y bienestar de las personas, son los siguientes. Miedema y Vos [9] muestran que los efectos de la molestia y la perturbación del sueño son los más importantes en la salud si el Ldn (de los medios de transporte) está por abajo de 70 dB. Además, indican que por abajo de 40-45 dB el porcentaje de personas altamente molestadas es cero e incrementa a niveles mayores monótonicamente como una función del Ldn. En este mismo sentido, Lambert *et al.* [citado en 13] concluyen que niveles Leq (del transporte vehicular) por abajo de 55 dBA no provocan molestia; sin embargo, un estudio previo de Gierke, sobre el ruido alrededor de aeropuertos [11] y un análisis posterior, de varios estudios (ruido de diferentes fuentes sonoras) realizado por Fields [14] indican que el efecto de molestia también existe en

ambientes con niveles sonoros bajos, de Ldn menores de 55 dB. Otros datos relevantes que menciona Lambert *et al.* [citado en 13] son los siguientes: entre 55 y 60 dBA las personas más sensibles comienzan a sentir molestia y por arriba de 65 dBA se observan respuestas del comportamiento que muestran perturbación causada por el ruido. Bertoni *et al.* [citado en 13] sugiere que, en un ambiente urbano, un Ldn entre 60 y 62 dBA es el umbral sobre el cual la relación entre el ruido (del transporte vehicular) y la molestia llega a ser más fuerte. De acuerdo con la OMS [2], la incomodidad física en el oído se puede empezar a sentir con niveles sonoros de 80 dBA (Leq) y señala que por arriba de este nivel, en espacios exteriores, se puede reducir la actitud cooperativa y aumentar la actitud agresiva.

Aunque los índices que se basan en el concepto de igual energía, permiten hacer una descripción general del ambiente sonoro, éstos no consideran los efectos de grandes fluctuaciones del nivel sonoro durante el periodo de estudio. Por esta razón, algunos autores han sugerido que, para describir la respuesta de la comunidad al ruido, también es conveniente considerar el número de eventos sonoros, el nivel máximo y los eventos sonoros impredecibles.

b) Número de eventos sonoros

Schultz [7] sugiere que solamente algunos eventos sonoros, como por ejemplo las sirenas de vehículos de emergencia, el paso de un avión, tren o vehículo pesado, son probablemente los únicos que podrían introducirse en las viviendas con suficiente intensidad para atraer la atención de las personas y generarles molestia.

Evidencia más reciente al respecto ha sido mostrada por De Muer *et al.* [15], quienes indican que sólo el ruido que se nota (el que motiva que la atención se enfoque por un instante en el sonido) puede causar molestia;

sin embargo la ocurrencia de esto depende de varias condiciones, como son: el nivel del sonido, el grado de alerta o atención del receptor, la actividad que se está realizando, la sensibilidad de la persona al ruido en general y la cantidad de habituación que puede haber ocurrido.

De acuerdo con dos estudios realizados por Rylander y Bjorkman [16,17], solamente el número de eventos sonoros de 70 dBA o de mayor nivel deberían ser considerados cuando se estima el riesgo de molestia.

La relación entre el número de eventos sonoros y la respuesta de molestia no es lineal, debido a que el número de eventos es importante solamente hasta cierta cantidad de éstos. En este sentido, Field [18], basado en información de investigaciones realizadas previamente sobre el ruido de aviones y trenes, encontró evidencia de que la molestia decrece conforme el número de eventos sonoros supera los 150 por día, aproximadamente. El trabajo de Rylander and Bjorkman, realizado en áreas cercanas a aeropuertos considerados de tamaños medio y chico [16], muestra que el número de eventos sonoros parece ser el factor más importante porque no existe influencia del nivel sonoro máximo. El número de eventos sonoros es de importancia hasta aproximadamente 70 por día, porque un incremento adicional no lleva a un incremento de la molestia.

c) Nivel sonoro máximo

Los resultados de T. Sato *et al.* [19] muestran que el número de eventos sonoros (del transporte vehicular) no es el factor más importante que influye en la molestia, sino el nivel sonoro máximo. Por lo que limitar el número de vehículos no es una medida adecuada para reducir el efecto de molestia; es de mayor utilidad enfocar las medidas de control de ruido en los vehículos más ruidosos, que además constituyen un pequeño porcentaje del total de vehículos que transitan en una

ciudad. Como lo muestra un estudio previo [17], solamente el 6% de los vehículos contabilizados durante el estudio excedió 70 dBA y menos del 1% excedió 75 dBA.

En este mismo sentido, Rylander and Bjorkman [16] recomiendan que para aeropuertos grandes (donde el número de eventos sonoros puede ser mayor a 70 por día), las guías para el control del ruido deberían basarse en el nivel sonoro máximo, de esta forma las medidas pueden ser aplicadas contra los aviones considerándolos individualmente.

d) Eventos sonoros impredecibles

Recientemente Bite *et al.* [20] ha señalado que se puede ofrecer una mayor explicación de la molestia provocada por ruido si se utilizan índices que tomen en cuenta eventos sonoros impredecibles. Propone un índice basado en el hecho de que muchas personas expuestas al ruido reportan que se habitúan o que no ponen atención al ruido por un período largo de tiempo y sólo llegan a ser concientes del ruido, o más molestados por éste, cuando son perturbados por eventos particulares, que son más notables que el resto, por una razón u otra. Dicho indicador toma en cuenta la variación del nivel máximo de los eventos individuales en una secuencia de éstos, la variación del tiempo de duración de cada evento y el tiempo entre eventos sucesivos.

Finalmente, cabe mencionar que otras características del ruido, no menos importantes que las anteriores; pero menos estudiadas, como por ejemplo la regularidad, el espectro sonoro de la energía, el número y duración de los periodos de tranquilidad, los componentes tonales, ruidos impulsivos, entre otras, también contribuyen al efecto de molestia [13,21,22].

2. Factores relacionados con el ruido del contexto

Desde hace varias décadas, se han investigado las siguientes hipótesis respecto al tema del ruido del entorno: a) la reacción de molestia provocada por un ruido es reducida si otros ruidos están presentes en el entorno y b) la respuesta de molestia se modifica cuando se perciben cambios en la zona de exposición al ruido o en la fuente sonora.

Respecto a la primera hipótesis, Fields [23], al analizar las respuestas de varios estudios realizados previamente por otros autores (que incluyen 51 fuentes de ruido), determinó que, en zonas residenciales, la reacción de las personas a un ruido llamado *target noise* (por ejemplo el de aeronaves) es poco afectada por la presencia de una segunda fuente sonora, llamada ruido ambiente (que no es necesariamente la suma total de todos los otros ruidos de fondo, por ejemplo el ruido del tráfico vehicular). Sin embargo, para otros autores, el nivel de ruido de fondo es un factor importante en la estimación de la molestia ocasionada por la exposición a ruidos intrusivos (por ejemplo de aeronaves). Al respecto, Powell y Rice [24] señalan que un incremento de 32 a 46 dB en el ruido de fondo reduce la respuesta de molestia en una cantidad equivalente a una reducción de 5 dB en el nivel de ruido de aviones. Los resultados de Lim *et al.* [25] sobre la molestia causada por la exposición al ruido de aviones, muestran que la respuesta de molestia en zonas con bajo nivel de ruido de fondo es mayor que en zonas con altos niveles de este ruido, aunque el nivel de ruido de los aviones sea el mismo.

En cuanto a la segunda hipótesis, diversos autores han analizado la variación de la molestia cuando ocurren cambios en la zona de exposición al ruido o en la fuente sonora. Zannin, *et al.* [26], mostraron que, aunque los datos de mediciones indicaban una disminución en los niveles del ruido, las

personas percibían un incremento en el ruido urbano, siendo el tráfico vehicular la principal causa de molestia. De acuerdo con los autores, las fuentes sonoras del vecindario (como por ejemplo: animales, sirenas, templos religiosos, clubes nocturnos, construcciones, juguetes y aparatos eléctricos) pudieron contribuir significativamente en la percepción del incremento del nivel del ruido urbano.

Esta hipótesis también ha sido analizada a través de estudios de tipo longitudinal. Los resultados de Öhrström [27] mostraron un notable decremento de la molestia, al implementarse una reducción del flujo vehicular en una avenida principal. Esta reducción condujo a un decremento en el nivel de ruido de 67 a 55 dBA (Leq durante 24 horas), misma que llevó a una reducción de la molestia de 51% a sólo 7% de personas muy molestas. El autor sugiere que la reducción de la molestia, no sólo fue consecuencia de la disminución del ruido, sino también por los cambios estéticos en la zona y con la mejoría de la satisfacción con ésta. En otro estudio del mismo tipo, realizado por Nilsson y Berglund [28], se analizó la molestia antes y después de la colocación de una barrera en una carretera para proteger un área habitacional. Los resultados mostraron que las casas cercanas a la barrera tuvieron una reducción de aproximadamente 70 a 62.5 dBA (Lden). En promedio la molestia disminuía con el incremento de la distancia entre la fuente sonora y el receptor hasta aproximadamente 100 metros; sin embargo, se observó que el decremento del porcentaje de personas altamente molestas como de molestas (como función de la distancia entre la fuente sonora y el receptor) fue mayor sin la barrera que con la barrera. A este respecto, Jonah *et al* [29] señala que, en una situación donde el ruido (del tráfico vehicular), es reducido a través de barreras; pero el volumen vehicular permanece constante, las personas pueden sentirse aún molestadas por otros efectos del tráfico,

por ejemplo por los humos del escape y por el peligro de accidentes. Por esto, los autores sugieren que, en la evaluación del efecto de la barrera se observa una reducción escasa de la respuesta negativa, respecto a la que se esperaba como consecuencia de la reducción del ruido.

3. Factores relacionados con la naturaleza de la fuente

Desde hace varias décadas se han llevado a cabo estudios, utilizando información nueva o de estudios previos, sobre la respuesta de la comunidad al ruido, para analizar la hipótesis de que dicha respuesta no varía para diferentes fuentes sonoras. Así, en 1978 Schultz [7], apoya esta hipótesis. Con base en varios estudios sobre la molestia causada por el ruido de aviones, trenes y automóviles, realizados en diferentes países, sintetiza una sola curva para estimar la molestia debida al ruido del transporte de todo tipo. Sugiriendo con esto que el ruido, de los diferentes medios de transporte, afecta a la gente de la misma forma. Esta conclusión, desde entonces, ha sido cuestionada en diversos estudios realizados posteriormente.

Los resultados de Hall *et al.* [30] contradicen los de Schultz, al mostrar que existe una diferencia entre las respuestas de la comunidad al ruido de aeronaves y al ruido del transporte vehicular (cuando cada uno es medido con el Ldn). A un mismo nivel de ruido, se observa un mayor porcentaje de personas altamente molestada por el ruido de aeronaves. La diferencia en la molestia es equivalente a aproximadamente 8 dB a un Ldn de 55 dB, incrementando a aproximadamente 15 dB a un Ldn de 65 dB. Los autores sugieren el uso de funciones diferentes para estimar la respuesta de la comunidad al ruido de diferentes tipos de transporte.

Kryter [31] señala que Schultz subestimó y sobreestimó significativamente la cantidad de

molestia, asociada con el ruido de aviones y con el ruido del transporte terrestre, respectivamente. Los resultados de su trabajo muestran que el ruido del transporte terrestre causa menos molestia que el ruido de aeronaves, cuando ambos tienen el mismo Ldn. La diferencia entre la molestia expresada para estos dos medios de transporte, que es equivalente a aproximadamente 10 dB en Ldn, es atribuida a factores acústicos. Por ejemplo, para el mismo valor de Ldn, el patrón del ruido en el tiempo es muy diferente para cada tipo de fuente sonora. Además, el ruido del transporte vehicular, que generalmente tiene un nivel de intensidad pico mucho menor que el ruido de aviones, frecuentemente estará por abajo de los niveles que pueden causar molestia dentro y alrededor de la vivienda, comparado con el ruido de aviones. Estos resultados están de acuerdo con los de Miedema y Vos [9], quienes al analizar información de estudios previos sobre la molestia, proponen funciones diferentes para el ruido de aviones, vehículos automotores y trenes. Estos autores concluyen que, arriba de 40-45 dB, el porcentaje de personas altamente molestadas a un Ldn dado, depende del modo de transporte que causa la molestia. El ruido de aviones es más molesto que el del transporte vehicular y éste más que el de trenes.

Otro trabajo, que ha confirmado la diferencia entre las respuestas de molestia, expresada para diferentes tipos de fuente sonora, es el de Knall y Schumer [32]. Comparando los resultados de un estudio sobre el ruido de trenes y automóviles, encontraron que, a altos niveles de ruido, se necesitaban 4.4 dBA Leq más de ruido de tráfico para alcanzar la misma cantidad de molestia provocada por el ruido de trenes. Para niveles de ruido más bajos esta diferencia era reducida a 1.8 dBA en promedio. Estos resultados difieren de otros, que han sido reportados por Yano [33], Kurra *et al.* [34] y Morihara *et al.* [35].

En estudios realizados en Japón, estos autores muestran que la molestia debida al ruido de trenes es casi la misma o ligeramente mayor que la causada por el tráfico vehicular. Los autores han sugerido que estos resultados se pueden atribuir a: aspectos culturales o sociales [33], a que el sistema de trenes es el principal medio de transporte público [34], a que las casas en Japón están situadas más cerca del camino de los trenes que en Europa, por ejemplo [35].

II. Factores no acústicos

Los principales factores no acústicos que influyen en la respuesta de la comunidad al ruido, han sido clasificados por los especialistas [13,14] en tres categorías principales: (1) variables de actitud, (2) variables socio-demográficas y (3) variables circunstanciales.

1. Variables de actitud

Las variables de actitud que han sido principalmente analizadas en la literatura sobre el tema, son: a) el miedo relacionado con la fuente sonora, b) creencias sobre la prevención o control del ruido y sobre la importancia de la fuente sonora, c) la sensibilidad al ruido, d) la interferencia de las actividades, e) la percepción del entorno y f) la habituación.

a) Miedo al daño relacionado con la fuente sonora

Aunque se ha reportado que el miedo es un factor que influye en la respuesta de molestia provocada por el ruido de cualquier medio de transporte [14], esta actitud se ha observado con mayor frecuencia en estudios sobre el ruido de aeronaves [9,36,37].

El miedo al desplome de aeronaves puede provocar que la gente ponga más atención al ruido de aviones que a otra fuente sonora y como consecuencia expresan mayor molestia [9]. En un estudio de 1974 [citado en 36] se

reportó que el miedo era la variable no acústica más importante mencionada en estudios sobre el ruido de aeronaves, además que ésta correlacionaba más fuerte con la molestia individual que la variable acústica.

Miedema y Vos [37] señalan que a un mismo nivel sonoro, las personas que expresan sentir miedo asociado con la actividad que causa el ruido son más molestadas, comparado con las personas que no expresan tal sentimiento. Además, muestran que la diferencia entre el nivel de miedo más bajo y el nivel más alto es equivalente a una diferencia de, al menos, 19 dB Ldn. Concluyen que no está claro si la relación del miedo con la molestia depende la experiencia actual del miedo o se debe a una predisposición común hacia la molestia por ruido y hacia el miedo. Estos autores han señalado que el miedo y la sensibilidad al ruido son los factores más importantes que influyen en la respuesta de molestia, apoyando las conclusiones de Fields [14], quien además encontró evidencia firme de que la molestia está asociada con la creencia de que el ruido puede ser prevenido.

De acuerdo con Gusky [36], el miedo de daño relacionado con la fuente sonora, probablemente puede ser reducido por medio de acciones visibles de las autoridades. Estas acciones pueden no tener un efecto acústico; sin embargo pueden reducir la molestia a través de la disminución del miedo.

b) Creencias sobre: la prevención o control del ruido y la importancia de la fuente sonora

Algunos autores han sugerido que la percepción que tienen las personas sobre la prevención o control del ruido por parte de las autoridades o por el dueño o responsable de la fuente sonora, puede influir positivamente o negativamente en sus respuestas de molestia hacia el ruido generado por la fuente sonora [15,29,36,38].

Schomer [38] se refiere a esta situación como la influencia de las *relaciones públicas* entre las autoridades o quien provoca el ruido y la comunidad. Menciona que las personas aceptan más el ruido si ellos creen que las autoridades están preocupadas por su bienestar y están haciendo todo lo que razonablemente pueden hacer para mitigar el ruido. El autor señala que este factor permite un ajuste en el nivel sonoro medido (relacionado con la molestia) de ± 5 dB, dependiendo de la calidad de las relaciones.

De acuerdo con Jonah *et al.* [29], la percepción que tienen las personas sobre la indiferencia de las autoridades ante el problema del ruido y la creencia de que el ruido es fácil de reducir, influyen para que las personas respondan de forma negativa al ruido del tráfico.

Job [10] concluye que la sensibilidad y la actitud hacia el ruido (medida generalmente a través del concepto de *relaciones públicas*) explican más variación de la respuesta al ruido que el nivel sonoro. La actitud de la gente podría ser reducida, de acuerdo con Gusky [36], por las siguientes acciones de las autoridades: a) información clara sobre la situación acústica y su desarrollo, b) la aceptación de la existencia de efectos dañinos del ruido, c) información clara sobre programas de abatimiento del ruido y d) una disposición para comunicar y cooperar con los residentes.

Otra creencia, que ha sido analizada en algunos estudios, es aquella sobre la importancia de la fuente sonora, porque ésta es esencial o necesaria para el área local o para la comunidad, porque las personas dependen económicamente de las actividades que causan el ruido o porque hacen uso frecuentemente de algún medio de transporte que causa el ruido. Fields [14] reporta que la evidencia es débil para probar la hipótesis de que la molestia es menor en las personas que creen en tal importancia. Miedema y Vos [37] señalan que las personas que están convencidas de tal

importancia muestran menos molestia que las personas que no están convencidas.

c) Sensibilidad al ruido

El concepto de *sensibilidad al ruido* ha tenido diferentes definiciones en la literatura, algunas de estas son las siguientes: a) una característica estable (no sólo un estado temporal o situacional) de la personalidad, que se refleja en las actitudes hacia una amplia gama de sonidos ambientales [38], b) "... estados internos (fisiológico, psicológico, de actitud, o relacionado al estilo de vida o actividades realizadas) de un individuo, los cuales incrementan su grado de reacción al ruido en general" [citado en 39], c) susceptibilidad al ruido o sonido y susceptibilidad a la molestia (no necesariamente al ruido) [40] y d) una actitud hacia el ruido en general [citado en 41].

De acuerdo con Zimmer y Ellermeier [38], la sensibilidad al ruido refleja componentes de *actitud* o de evaluación en la respuesta al ruido, más que una predisposición sensorial; es decir, que la sensibilidad reportada por los individuos no está relacionada con su agudeza auditiva. Estos resultados han sido confirmados por Miedema y Vos [42], quienes reportan que las personas que han sido consideradas como sensibles al ruido, son aquellas que tienen una *actitud negativa* hacia los ruidos en general o que reportan reacciones fuertes a situaciones de ruido específicas. Los autores sugieren que estas personas (a diferencia de las que no lo son) tienen una predisposición a discriminar condiciones ambientales y evaluarlas.

Diversos estudios han concluido que la sensibilidad al ruido tiene un efecto importante sobre la respuesta de molestia provocada por ruido y en algunos casos se ha señalado como el principal factor (no acústico) que afecta dicha respuesta. Por ejemplo Kryter [31] estimó que, no obstante el nivel de ruido fuera inferior a 50 dB (Ldn), un cuatro por ciento de las personas evaluarían el ruido (generado por aeronaves) como extremadamente molesto.

El autor identifica a estas personas como supersensibles al ruido. Fields [14] encontró evidencia firme de que la molestia está asociada, principalmente, con el miedo, con la creencia de la prevención del ruido y con la sensibilidad. Así mismo, Job [10] concluyó que las variables sensibilidad hacia el ruido y actitud hacia la fuente sonora, explican más variación de la reacción (molestia, perturbación, insatisfacción) hacia el ruido, que la exposición a éste. Miedema y Vos [37] reportaron que las personas que se describen como sensibles al ruido son más molestadas, al mismo nivel de ruido, que aquellas que reportan no serlo. La diferencia, en la molestia provocada por el ruido, entre las personas no sensibles y las altamente sensibles (tres categorías), es igual a la diferencia causada por un cambio de cerca de 11 dB (Ldn) de exposición al ruido.

Ellermeier *et al.* [39] ha enfatizado que, conceptualmente, la sensibilidad al ruido es claramente distinguible de la molestia provocada por el ruido. Tal diferencia, señala, puede observarse a través de sus relaciones con el nivel de ruido de exposición; la molestia muestra una clara correlación positiva, pero la sensibilidad no. Aunque la sensibilidad y la molestia son factores aislados, el primero modifica el efecto del nivel de ruido de exposición en la respuesta de molestia [42], efecto que se ha observado a todos los niveles de exposición al ruido [41].

Zimmer y Ellermeier [38] señalan que la medición de la sensibilidad al ruido es insatisfactoria. Por lo que, al igual que Miedema y Vos [42], recomiendan evaluarla mediante cuestionarios construidos con múltiples preguntas, que midan el mismo atributo, de esta forma se producirán resultados precisos, confiables y válidos, lo que no se logra con una sola pregunta corta y directa sobre el grado de sensibilidad al ruido.

d) Interferencia de las actividades

Otro factor que influye parcialmente en la magnitud de la molestia, es la interferencia de las actividades provocada por el ruido. Tales actividades pueden ser, por ejemplo: la comunicación oral, la lectura, la escritura, la concentración en trabajo mental, escuchar radio o televisión, actividades de relajación y dormir.

Algunos estudios que han analizado la influencia de este factor en la molestia son los siguientes. Los resultados de Osada y Toshida [43] muestran que el efecto más fuerte en la molestia es el nivel de ruido, seguido de la interferencia de las actividades: leer, conversar y dormir. Yano *et al.* [44], al analizar las respuestas de molestia expresadas por personas de Japón y Suecia, reporta que existe una correlación significativa entre la perturbación de actividades y la respuesta de molestia. Sin embargo, en estos países las actividades que se perturban son diferentes, mientras que en Japón se perturban las actividades que se realizan en el interior de las viviendas, en Suecia se perturban aquellas actividades de descanso en balcones o jardines. Los autores sugieren que estas diferencias se deben a la presencia de diferencias culturales.

En otro tipo de estudio, realizado en laboratorio, Kurra, *et al.* [45] investigaron la influencia que tiene la distracción de la actividad de leer y de escuchar (provocada por el ruido de diferentes medios de transporte), en la respuesta de molestia. Reportaron que a un nivel de ruido inferior de 45 dBA tal molestia es similar; sin embargo, arriba de este nivel es mayor la molestia durante la tarea de escuchar que aquella expresada durante la actividad de leer. Además, el efecto del tipo de fuente sonora solamente es significativo para la actividad de escuchar. Evidencia reciente sobre la influencia de esta variable en la respuesta de la molestia, ha sido mostrada por Michaud *et al.* [46], quienes reportaron que el ruido del

transporte vehicular interfiere, frecuentemente, con la habilidad: de dormir para un 14% de los encuestados, de escuchar para un 13% y de concentrarse en tareas de lectura y escritura para un 11%. La interferencia de estas actividades se observó, en mayor medida, en aquellas personas que expresaron ser muy molestados o extremadamente molestados por el ruido, comparado con aquellas personas que fueron poco, moderadamente o no molestados.

e) Percepción del entorno

Otro factor que afecta la respuesta de molestia provocada por el ruido es la percepción de diversas características, principalmente estéticas y ambientales, del entorno donde las personas habitan.

De acuerdo con López y Guillén [47], la valoración global del ambiente depende de la interacción de información sensorial diversa. Los autores constataron una incidencia significativa de la relación audio-visual en la valoración del ambiente, que depende de las diferencias en el nivel de agrado de los estímulos sonoro y visual. Con sus resultados confirman que sonido y contexto son dos variables fuertemente relacionadas. Estos resultados son apoyados por los de Öhrström [27], que muestran que al reducirse notablemente el ruido en una zona habitacional, hubo una disminución importante de la molestia que, de acuerdo con el autor, no sólo se consiguió por la disminución del ruido, sino también por los cambios estéticos en la zona y con la mejoría de la satisfacción con ésta.

La influencia de la percepción del entorno en la molestia, también ha sido comprobada por Zannin *et al.* [26], quien señala en su estudio que, aunque el ruido urbano había disminuido, la gente percibía un incremento de éste, probablemente por la molestia que causan las fuentes sonoras propias del vecindario (vecinos, animales, sirenas, templos, juguetes, etc.).

La molestia provocada por el ruido está afectada también por la presencia de otros contaminantes ambientales, como muestran los resultados de Klæboe *et al.* [48], cuanto mayor es el nivel de contaminación del aire, al cual las personas están expuestas, éstas serán probablemente más molestadas por el ruido del tráfico vehicular.

Otros aspectos del entorno, que pueden ser positivos, como la vegetación o el color y negativos, como el humo de los escapes de los vehículos y las vibraciones, también influyen en la respuesta de molestia provocada por el ruido [13].

f) Habitación

La OMS [2] define la habituación a un ruido como un *fenómeno mental* que existe en una persona cuando ésta no se percata o no está consciente de la presencia del ruido (como antes de que la habituación existiera). Sin embargo, la persona es capaz de percibir tal ruido cada vez que le ponga atención a éste; es decir, que la sensibilidad sensorial no se afecta. Aunque este organismo sugirió, desde 1995, que era esencial la investigación sobre este tema, pocos estudios que analizan la influencia de los factores personales en la respuesta de molestia, han incluido el análisis de esta variable.

Schulte-Fortkamp [citado en 13], a este respecto mencionan que la actitud consciente o inconsciente de las personas expuestas a una fuente de ruido durante un tiempo, se niegan a darle importancia y así se sienten menos molestados. Recientemente, Kuwano *et al.* [49], ha reportado que las personas que indican que les es más difícil habituarse al ruido tienden a ser más molestadas por el ruido. Quehl y Basner [50], estudian la adaptación psicológica, como un moderador no acústico de la molestia provocada por el ruido de aeronaves, y concluye que es un moderador personal efectivo, pues el porcentaje de personas molestadas fue significativamente mayor

cuando no existe tal adaptación. Los autores señalan que, mientras los políticos y las personas afectadas son de la opinión de que, con el tiempo, uno se puede adaptar a una situación de ruido y, por lo tanto, afrontarlo de manera más adecuada con esta estrategia, hasta la fecha casi no existe un fundamento empírico de tal proceso.

En este sentido, el modelo para evaluar la molestia provocada por ruido, desarrollado por De Muer *et al.* [15], incluye el concepto de habituación como un mecanismo de enfrentamiento al ruido.

El estudio de las estrategias para afrontar el ruido ha sido abordado por Guski [36], quien sugiere que éstas pueden ser efectivas para disminuir la molestia. Recomienda que, las personas o las autoridades responsables de una fuente de ruido, pueden ver este factor como un medio para reducir la molestia. Ruiz *et al.* [51] han estudiado la relación de un amplio número de estrategias para afrontar el ruido y la molestia provocada por ruido percibido dentro de las viviendas.

2. Variables socio-demográficas

Las variables socio-demográficas que han sido evaluadas en diversos estudios son: a) el sexo, la edad y el estatus marital, b) algunas variables relacionadas con la vivienda, c) el nivel de educación, ocupación y los ingresos y d) la cultura.

a) Sexo, edad y estatus marital

La investigación sobre la hipótesis de que las mujeres expresan mayor molestia ante el ruido que los hombres ha mostrado los siguientes resultados. Fields [14] señala que más del 90% de la evidencia que analizó indicó que los hombres y las mujeres reaccionan de forma similar al ruido en el ambiente residencial. Resultados que posteriormente fueron confirmados por Miedema y Vos [37] y por Fyhri y Klæboe [52]. Sin embargo, los

resultados de un estudio reciente, realizado por Michaud *et al.* [46], indican que la molestia provocada por el ruido del transporte vehicular fue significativamente mayor en las mujeres que en los hombres.

Respecto a la influencia que tiene la edad sobre la respuesta de molestia, Fields [14] indica que esta variable no tiene un efecto importante. Fyhri y Klæboe [52] señalan que aunque el porcentaje de personas que responde que no escucha algún ruido incrementa con la edad, no existe un efecto sistemático de la edad sobre la molestia. Resultados contrarios han sido obtenidos por otros autores. Miedema y Vos [37], quienes concluyen que al mismo nivel de exposición de ruido, personas relativamente jóvenes y relativamente viejas son menos molestadas que las de edades entre ellos. Los autores sugieren que puede haber una relación general entre la importancia de la calidad del ambiente del vecindario y la fase de la vida. Además indican que la poca molestia encontrada en personas mayores puede deberse al deterioramiento de los sentidos. Michaud *et al.* [46], reportan que las personas de entre 25 y 44 años de edad expresan mayor molestia que las personas de menor o mayor edad. Así mismo, Kuwano *et al.* [49] señalan en sus resultados que no encontraron diferencia entre las respuestas de los jóvenes (edad promedio de 19.2 años) y las de las personas mayores (la edad, de más del 90% de las personas fue de entre 60 y 79 años).

Acerca del estatus marital, los resultados de Fyhri y Klæboe [52] indican que éste (medido con las opciones: solteros, casados/cohabitando, separados, divorciados y viudos) no contribuye a explicar la molestia. Michaud *et al.* [46] evalúa esta variable con dos grupos de personas: las que tienen y las que no tiene pareja. Sus resultados muestran que aquellas personas que tienen una pareja expresan mayor molestia que los que no tienen.

b) Variables relacionadas con la vivienda

Algunas variables, relacionadas con la vivienda, que han sido analizadas, son: el tipo de ocupación (propia, rentada), el tiempo de residencia, el tipo (sola o en condominio), el tamaño y el número de personas en la vivienda.

Los resultados de Fields [14] muestran que no existe una relación entre la molestia y el tipo de ocupación (propia, rentada), el tiempo de residencia y el tipo de casa (sola o en condominio). Sin embargo, de acuerdo con Miedema y Vos [37] es mayor la molestia cuando la vivienda es propia que rentada, aunque el efecto de este factor es pequeño. Además, estos autores señalan que la molestia provocada por el ruido tiene una relación débil con el tamaño de la casa y que las personas que viven solas tienden a ser menos molestadas por el ruido que aquellas que viven en familias numerosas.

c) Nivel de educación, ocupación e ingresos

De acuerdo con Fields [14] y con Fyhri y Klæboe [52], ninguna de estas variables afecta la molestia. Michaud *et al.* [46] confirman que el nivel de educación no tiene efecto en la molestia; sin embargo, las personas con ingresos anuales definidos en la categoría media (3 categorías) expresan mayor molestia. Mientras que Miedema y Vos [37] señalan que las personas con mayor nivel de estudios y un estatus ocupacional alto expresan ligeramente mayor molestia.

d) Cultura

Algunos estudios han revelado la importancia de considerar el factor cultural cuando se analiza la reacción de las personas al ruido.

Job [10], al analizar estudios sobre la relación entre la exposición al ruido y la reacción a éste, realizados previamente en USA, Canada, Australia, UK, Bélgica, España, Suiza, Alemania, Suecia y Japón, concluye que dicha relación muestra una similitud notable entre las

diversas culturas. Conclusiones diferentes han sido mostradas por otros autores.

De acuerdo con los estudios de Namba y Kuwano [53], existen diferencias culturales en la impresión de los sonidos y en la actitud hacia el ruido. Por ejemplo, las personas de Alemania tienden a considerar el ruido de la construcción como más ruidoso que las personas de Japón; mientras que éstos consideran la música y la comunicación oral como más suave. Poca diferencia fue observada entre las evaluaciones de las personas de Japón, Estados Unidos y China. Los autores también han encontrado diferencias en la impresión del sonido de una campana, esta señal fue percibida como peligrosa por las personas de Japón y como algo seguro por las personas de Alemania.

Así mismo, Sato *et al.* [54] encontraron diferencias, al mismo nivel de ruido, en la respuesta de molestia provocada por el ruido del transporte vehicular, entre dos países cuya cultura es muy diferente, Suecia y Japón. Respecto a la perturbación de las actividades en el interior de las viviendas no hubo diferencias significativas entre estos países; sin embargo si se observaron diferencias en la perturbación de las actividades en el exterior de la vivienda (balcones y jardines). Los autores sugieren que este hecho se debe al estilo de vida de los dos países.

Los resultados de Yano [33] no muestran diferencias en las respuestas de molestia, de personas de Japón, provocada por el ruido de trenes y por el del tráfico vehicular. El autor sugiere que estos resultados son diferentes a los reportados en estudios realizados en países de Europa, debido a factores culturales o sociales.

Un estudio realizado recientemente por Yu y Kang [55] muestra que existen diferencias significativas entre el Reino Unido y Taiwan, en los siguientes aspectos: elección de la vivienda, la evaluación del ambiente habitable,

la notoriedad del ruido, la molestia provocada por el ruido, la perturbación de diversas actividades y la preferencia de los sonidos. Por ejemplo, en términos de molestia, en el Reino Unido, la fuente sonora que provoca más molestia es el tráfico vehicular en general, mientras que en Taiwan las fuentes sonoras más molestas son el transporte de dos llantas, las conversaciones, la música y el ruido de la televisión. Los autores señalan que el estudio comparativo revela la importancia de considerar factores culturales en la evaluación del ambiente sonoro urbano.

3. Variables circunstanciales

Las variables situacionales que han sido principalmente analizadas, son: a) el tiempo de exposición al ruido, b) el aislamiento sonoro de la vivienda y c) el clima.

a) Tiempo de exposición al ruido

La hipótesis de que la historia de exposición al ruido en la vida diaria afecta a la respuesta de molestia ha sido estudiada por algunos autores. Fields [14] concluye que el número de horas que las personas pasan en su vivienda no afecta a la respuesta de molestia provocada por el ruido percibido en ésta. El autor sugiere que esto puede reflejar, en parte, el hecho de que las personas que trabajan en la casa están expuestas a una cantidad de energía sonora (promedio durante 7 días a la semana) que no difiere en gran medida a la que están expuestas las personas que trabajan fuera de casa. Aunque de acuerdo con Jonah *et al.* [29] las personas que trabajan en labores ruidosas responden de manera más negativa al ruido del tráfico que aquellos que trabajan en labores tranquilas.

b) Aislamiento sonoro de la vivienda

Respecto a la hipótesis de que el aislamiento sonoro en la vivienda reduce la respuesta de molestia, Fields [14] indica que la evidencia que analizó apoya débilmente esta hipótesis.

Klæboe *et al.* [56] reporta que, los habitantes de departamentos con ventanas de un sólo vidrio, tienen un nivel de molestia comparable con residentes expuestos a niveles de ruido mayores en 2.5-3 dB y ventanas con doble vidrio.

c) El clima

Respecto a los efectos de las características climáticas del sitio donde las personas viven, en la respuesta de molestia, poco se conoce. Miedema *et al.* [57], en un estudio realizado con información de 41 estudios llevados a cabo previamente en diferentes países, concluye que el incremento de la temperatura está consistentemente asociada con el incremento de la molestia, sin embargo existe una indicación débil de que el incremento en la velocidad del viento y la precipitación pueden reducir la molestia. Los autores indican que quince grados centígrados de diferencia en la temperatura tiene aproximadamente el mismo efecto sobre la molestia que el que provoca 1 a 3 dB de diferencia en la exposición al ruido. Concluyen que el análisis no puede excluir ninguna de las posibilidades de que la temperatura tiene poco o ningún efecto o que ésta tiene un efecto importante.

Conclusiones

Los resultados de los numerosos estudios en torno a la molestia, realizados a partir de información nueva o del análisis de investigaciones desarrolladas previamente en diferentes ciudades e idiomas, muestran que se trata de un concepto complejo, debido principalmente a las diferencias en cómo los individuos reaccionan a un mismo ambiente sonoro.

En general, los autores coinciden en que los factores no acústicos que tienen un mayor efecto en la molestia están relacionados con la actitud de los individuos [por ejemplo: 10,14,37]. La sensibilidad, el miedo y la

creencia de que el ruido puede ser prevenido explican mayor variación de la respuesta de la molestia que otros factores. Los factores demográficos no tienen un efecto importante en la molestia. Sin embargo, se ha mencionado que existe un impacto indirecto de estos factores que no ha sido notado [52].

Aunque se han analizado múltiples factores, acústicos y no acústicos, que pueden influir en la reacción hacia el ruido, hasta el momento los resultados no son lo suficientemente precisos para determinar la importancia de cada uno de estos factores y su interdependencia. Se ha señalado que, a lo más, una tercera parte de la varianza de la molestia puede ser explicada por factores acústicos y otra tercera parte por factores personales o sociales [36].

La escasa explicación de la molestia provocada por el ruido que proporcionan dichos factores, muestra que aun se requiere un trabajo amplio para comprender mejor el mecanismo de esta variable. Sin embargo, con base en la información disponible hasta ahora, se ha sugerido [36] que los factores personales y sociales podrían considerarse como herramientas de gran utilidad para ayudar a reducir la molestia.

Referencias

- [1] Ouis D. Annoyance from road traffic noise: a review. *Journal of Environmental Psychology* 2001;21:101-120.
- [2] WHO. Berglund B, Lindvall T (Eds). *Community noise*. World Health Organization, Stockholm: Stockholm University and Karolinska Institute; 1995.
- [3] Guski R, Felscher-Suhr U, Schuemer R. The concept of noise annoyance: how international experts see it. *J Sound Vibr* 1999;223(4):513-527.
- [4] Ahrlin U. Activity disturbances caused by different environmental noises. *J Sound Vibr* 1988;27:599-603.
- [5] WHO. Technical meeting on noise and health indicators. Second meeting - Results of the testing and piloting in Member Status. Bonn Germany, 2003.
- [6] NASA. Fields JM. 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; 2001.
- [7] Schultz TJ. Synthesis of social surveys on noise annoyance. *J Acoust Soc Am* 1978;64(1):377-404.
- [8] Fidell S, Barber DS, Schultz TJ. Updating a dosage-effects relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. *J Acoust Soc Am* 1991;89(1):221-233.
- [9] Miedema HME, Vos H. Exposure-response relationships for transportation noise. *J Acoust Soc Am* 1998;104(6):3432-3445.
- [10] Job RFS. Community response to noise: A review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction. *J Acoust Soc Am* 1988;83(3):991-1001.
- [11] Gierke HEv. Noise – How much is too much? *Noise Control Eng J* 1975;5(1):24-34.
- [12] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the Assessment and Management of Environmental Noise.
- [13] Marquis-Favre C, Premat E, Aubrée D. Noise and its effects-A review on qualitative aspects of sounds. Part II: Noise and Annoyance. *Acta Acustica/Acustica* 2005;91:626-642.
- [14] Fields JM. Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas. *J Acoust Soc Am* 1993;93(5):2753-2763.

- [15] De Muer T, Botteldooren D, Lercher P. Event based noise annoyance modeling. *ForumAcusticum* 2005.
- [16] Rylander R, Björkman M. Annoyance by aircraft noise around small airports. *J Sound Vibr* 1997;205(4):533-537.
- [17] Björkman M, Rylander R. Maximum noise levels in city traffic. *J Sound Vibr* 1997;205(4):513-516.
- [18] Fields JM. The effect of numbers of noise events on people's reactions to noise: An analysis of existing survey data. *J Acoust Soc Am* 1984;75(2):447-467.
- [19] Sato T, Yano T, Björkman M, Rylander R. Road traffic noise annoyance in relation to average noise level, number of events and maximum noise level. *J Sound Vibr* 1999;203(5):775-784.
- [20] Pal Bite, Augusztinovicz F, Flindell IH. Unexpectancy in environmental noise assessment. *Forum Acusticum* 2005.
- [21] Vos J. Annoyance caused by simultaneous impulse, road-traffic, and aircraft sounds: A quantitative model. *J Acoust Soc Am* 1992;91(6):3330-3345.
- [22] Berglund B, Hassmén P, Preis A. Annoyance and spectral contrast are cues for similarity and preference of sounds. *J Sound Vibr* 2002;250(1):53-64.
- [23] Fields JM. Reactions to environmental noise in an ambient noise context in residential areas. *J Acoust Soc Am* 1996;104(4):2245-2260.
- [24] Powell CA, Rice CG. Judgments of aircraft noise in a traffic noise background. *J Sound Vib* 1975;38:39-50.
- [25] Lim C, Kim J, Hong J, Lee S. Effect of background noise levels on community annoyance from aircraft noise. *J Acoust Soc Am* 2008;123(2):766-771.
- [26] Zannin PHT, Calixto A, Diniz FB, Ferreira JAC. A survey of urban noise annoyance in a large Brazilian city: the importance of a subjective analysis in conjunction with an objective analysis. *Environmental Impact Assessment Review* 2003;23:245-255.
- [27] Öhrström E. Longitudinal surveys on effects of changes in road traffic noise—annoyance, activity disturbances, and psycho-social well-being. *J Acoust Soc Am* 2004;115(2):719-729.
- [28] Nilsson ME, Berglund B. Noise annoyance and activity disturbance before and after the erection of a roadside noise barrier. *J Acoust Soc Am* 2006;119(4): 2178-2188.
- [29] Jonah BA, Bradley JS, Dawson NE. Predicting individual subjective responses to traffic noise. *Journal of Applied Psychology* 1981;66(4):490-501.
- [30] Hall FL, Birnie SE, Taylor SM, Palmer JE. Direct comparison of community response to road traffic noise and to aircraft noise. *J Acoust Soc Am* 1981;70(6):1690-1698.
- [31] Kryter KD. Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise. *J Acoust Soc Am* 1982;72(4):1222-1242.
- [32] Knall V, Scheumer R. The differing annoyance levels of rail and traffic noise. *J Sound Vibr* 1983;87(2):321-326.
- [33] Yano T, Yamashita T, Izumi K. Comparison of community annoyance from railway noise evaluated by different category scales. *J Sound Vibr* 1997;205(4):505-511.
- [34] Kurra S, Morimoto M, Maekawa ZI. Transportation noise annoyance—a simulated-environment study for road, railway and aircraft noises, part 1: overall annoyance. *J Sound Vibr* 1999;220(2):251-278.
- [35] Morihara T, Sato T, Yano T. Comparison of dose-response relationships between railway and road traffic noises: the moderating effect of distance. *J Sound Vibr* 2004;277:559-565.
- [36] Guski R. Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. *Noise & Health* 1999;3:45-56.
- [37] Miedema HME, Vos H. Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. *J Acoust Soc Am* 1999;105(6):3336-3344.
- [38] Zimmer K, Ellermeier W. Psychometric properties of four measures of noise sensitivity: a comparison. *Journal of Environmental Psychology* 1999;19:295-302.
- [39] Ellermeier W, Eigenstetter M, Zimmer K. Psychoacoustic correlates of individual noise sensitivity. *J Acoust Soc Am* 2001;109(4):1464-1473.
- [40] Weinstein N.D. Individual differences in reaction to noise: a longitudinal study in a college dormitory. *Journal of Applied Psychology* 1978;63(4):458-466.

- [41] Kamp IV. The role of noise sensitivity in the noise–response relation: A comparison of three international airport studies. *J Acoust Soc Am* 2004;116(6):3471-3479.
- [42] Miedema HME, Vos H. Noise sensitivity and reactions to noise and other environmental conditions. *J Acoust Soc Am* 2003;103(3):1492-1504.
- [43] Osada Y, Yoshida T. Path analysis of the community response to road traffic noise. *J Sound Vibr* 1997;205(4):493-498.
- [44] Yano T, Sato T, Björkman M, Rylander R. Comparison of community response to road traffic noise in Japan and Sweden—part II: path analysis. *J Sound Vibr* 2002;250(1):169-174.
- [45] Kurra S, Morimoto M, Maekawa ZI. Transportation noise annoyance—a simulated-environment study for road, railway and aircraft noises, part 2: activity disturbance and combined results. *J Sound Vibr* 1999;220(2):279-295.
- [46] Michaud DS, Keith SE, McMurchy D. Annoyance and disturbance of daily activities from road traffic noise in Canada. *J Acoust Soc Am* 2008;123(2):784-792.
- [47] López Barrio I, Guillén Rodríguez JD. Calidad acústica urbana: Influencia de las interacciones audiovisuales en la valoración del ambiente sonoro. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano* 2005;6(1):101-117.
- [48] Klæboe R, Kolbenstvedt M, Clench-Aas J, Bartonova A. Oslo traffic study - part 1: an integrated approach to assess the combined effects of noise and air pollution on annoyance. *Atmospheric Environment* 34 (2000) 4727-4736.
- [49] Kuwano S, Morimoto M, Matui T. A questionnaire survey on noise problems with elderly people. *Acoust Sci & Tech* 2005;26(3):305-308.
- [50] Quehl J, Basner M. Annoyance from nocturnal aircraft noise exposure: Laboratory and field-specific dose–response curves. *Journal of Environmental Psychology* 2006;26:127-140.
- [51] Ruíz C, Hernández B, Hernández-Fernaund E. Estrategias de afrontamiento al estrés producido por el ruido percibido dentro de la vivienda. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano* 2004;5(1y2):133-152.
- [52] Fyhri A, Klæboe R. Direct, indirect influences of income on road traffic noise annoyance. *Journal of Environmental Psychology* 2006;26:27-37.
- [53] Namba S, Kuwano S. Environmental acoustic: psychological Assessment of noise. In: Neuhoﬀ JG (Ed). *Ecological Psychoacoustics*. USA: Elsevier Inc; 2004, p 175-189.
- [54] Sato T, Yano T, Björkman M, Rylander R. Comparison of community response to road traffic noise in Japan and Sweden—part I: outline of surveys and dose-response relationships. *J Sound Vibr* 2002;250(1):161-167.
- [55] Yu C, and Kang J. Effects of cultural factors on the environmental noise evaluation. *Inter noise 2006*. Honolulu, Hawaii, USA.
- [56] Klæboe R, Amundsen AH, Fyhri A, Solberg S. Road traffic noise – the relationship between noise exposure and noise annoyance in Norway. *Appl Acoust*, 2004;65:893–912.
- [57] Miedema HME, Fields JM, Vos H. Effect of season and meteorological conditions on community noise annoyance. *J Acoust Soc Am* 2005;117(5):2853-2865.

Legislación para el ruido urbano

Introducción

La legislación sobre el ruido ambiental se puede dividir en dos grandes categorías, la que se refiere a la emisión de ruido de productos (vehículos y maquinaria) y la legislación sobre niveles de ruido permitidos en los espacios interiores y exteriores que el hombre utiliza para realizar sus diversas actividades.

A escala internacional, durante varias décadas, la política de control de ruido ambiental estuvo enfocada principalmente en la legislación de emisión de ruido, concebida fundamentalmente con propósitos de mercado, más que como un instrumento de un programa de lucha contra el ruido. Sin embargo, en los últimos años, ha existido mayor interés por la política basada en criterios (definidos en guías o normas), que establecen niveles de ruido considerados como aceptables en diversas situaciones y tipos de espacios.

En México el problema del ruido se legisla desde una perspectiva de la emisión de ruido de las fuentes sonoras.

En este capítulo se explora el segundo tipo de legislación. Se muestran algunos ejemplos de guías y normas definidas por organismos internacionales y en algunos países del extranjero, donde se incluyen cinco ejemplos de América Latina. Así mismo, se describe brevemente la situación de México respecto a la normatividad existente sobre el ruido ambiental.

4.1 Organismos internacionales

Con el propósito de proteger la salud y bienestar de la población, algunos organismos internacionales, como la Organización Mundial de la Salud y la Organización para el Comercio y Desarrollo Económico, han sugerido niveles máximos de exposición al ruido en diversos tipos de espacios. Estas organizaciones constantemente están trabajando para generar conocimiento científico, que permita un mejor entendimiento del problema del ruido y mitigar sus efectos en los espacios habitables.

La Organización Mundial de la Salud

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha definido *la salud* como un “estado de completo bienestar físico, mental y social y no sólo la ausencia de una enfermedad o debilidad” [1]. Con base en esta definición, se ha considerado que el ruido, al tener efectos adversos en las personas, es un problema de salud. Por esto, la OMS, desde 1980, ha abordado el problema del ruido urbano, considerándolo actualmente como un tema ambiental de investigación prioritaria [1,2].

Este organismo publicó en 1999 el documento llamado *Guías para el ruido comunitario* [2], como una respuesta práctica a la necesidad de tomar acción frente al ruido urbano, así como a la necesidad de mejorar la legislación, manejo y orientación sobre este tema.

Las recomendaciones de tal documento están basadas en una amplia investigación internacional, desarrollada desde la segunda mitad del siglo XX, sobre los efectos del ruido en el ser humano, tales como: la interferencia con la comunicación, daño auditivo, molestia, efectos en el sueño, efectos cardiovasculares, desempeño, productividad, y comportamiento social, entre otros.

Las guías para el ruido de la OMS, mostrados en la tabla 1, son valores para orientar a las autoridades y también a los profesionales de la salud ambiental para proteger a la población de los efectos adversos del ruido en ambientes específicos [2]. En la tabla 1 se muestra, para

cada ambiente específico, el efecto crítico (deficiencia, temporal o de largo plazo, del funcionamiento físico, psicológico o social relacionada con la exposición al ruido), que podría ocasionar el ruido en estos espacios. Para cada efecto, se indican límites específicos del ruido para periodos diurnos y nocturnos. El tiempo, para el nivel de presión sonora continuo equivalente (Leq), durante el día y la noche es de 12 a 16 horas y de 8 horas, respectivamente. No se establece el tiempo para la tarde, pero generalmente el valor guía debe ser de 5 a 10 dB menos que en el día.

Tabla 1. Valores guía, establecidos por la OMS, para el ruido urbano en ambientes específicos.

Ambiente Especifico	Efecto(s) critico(s) sobre la salud	Leq (dBA)	Tiempo (horas)	Lmax (dB)
Exteriores (áreas residenciales)	Molestia grave en el día y al anochecer	55	16	-
	Molestia moderada en el día y al anochecer	50	16	-
Interior de la vivienda, dormitorios	Interferencia en la comunicación oral y molestia moderada en el día y al anochecer	35	16	-
	Trastorno del sueño durante la noche	30	8	45
Fuera de los dormitorios	Trastorno del sueño, ventana abierta (en exteriores)	45	8	60
Salas de clase e interior de centros preescolares	Interferencia en la comunicación oral, disturbio en el análisis de información y comunicación del mensaje	35	Durante clases	-
Dormitorios de centros preescolares, interiores	Trastorno del sueño	30	Durante el descanso	45
Escuelas, áreas exteriores de juego	Molestia (fuente externa)	55	Durante el juego	-
Hospitales, pabellones, interiores	Trastorno del sueño durante la noche	30	8	40
	Trastorno del sueño durante el día y al anochecer	30	16	-
Hospitales, salas de tratamiento, interiores	Interferencia en el descanso y la recuperación	#1	-	-
Áreas industriales, comerciales y de tránsito, interiores y exteriores	Deficiencia auditiva	70	24	110
Ceremonias, festivales y eventos de entretenimiento	Deficiencia auditiva (patrones: < 5 veces/año)	100	4	110
Discursos públicos, interiores y exteriores	Deficiencia auditiva	85	1	110
Música y otros sonidos a través de audífonos o parlantes	Deficiencia auditiva (valor de campo libre)	85 #4	1	110
Sonidos de impulso de juguetes, fuegos artificiales y armas	Deficiencia auditiva (adultos)	-	-	140 #2
	Deficiencia auditiva (niños)	-	-	120 #2
Exteriores de parques de diversión y áreas de conservación	Interrupción de la tranquilidad	#3	-	-

* El nivel máximo de presión sonora (Lmax) debe ser medido con un tiempo de integración de 125 ms (Fast).

#1: Lo más bajo posible.

#2: Presión sonora máxima (no el nivel máximo de presión sonora medido en Fast) medida a 100 mm del oído.

#3: Se debe preservar la tranquilidad de los parques y áreas de conservación y se debe mantener baja la relación entre el ruido intruso y el sonido natural de fondo.

#4: Con audífonos, adaptado a valores de campo libre.

La Organización para el Comercio y Desarrollo Económico

La importancia del ambiente, como un tema de política pública, fue reconocida por la Organización para el Comercio y Desarrollo Económico (OCDE) a finales de la década de 1960. Sin embargo fue hasta 1974, cuando esta organización empezó a promover recomendaciones para el control y disminución del ruido ambiental [3].

En 1978, algunas recomendaciones realizadas, a los países miembros de esta organización [4] fueron que:

- a) Deberían desarrollar programas completos para abatir el ruido y coordinar la normatividad existente con las acciones planeadas.
- b) En particular deberían desarrollar leyes para cubrir todas las fuentes de ruido y medios de acción.
- c) Considerar la implementación de procedimientos de compensación en casos de daño, resultado de niveles de ruido inaceptables.
- d) Asegurarse que la planeación del uso del suelo, incluyendo la planeación del transporte, incorpore requerimientos para abatir el ruido y que el abatimiento del ruido sea considerado desde el principio en proyectos públicos y privados.
- e) Asegurarse que nuevos proyectos que involucran actividades sensibles al ruido (tales como nuevas viviendas) no sean ubicadas en áreas que tienen altos niveles de ruido. Incluir medidas de disminución del ruido cuando se rehabiliten viviendas en áreas urbanas con altos niveles de ruido.
- f) Introducir medidas, que pueden ser de bajo costo y de rápida implementación, tales como campañas de reducción de ruido, información, educación, etiquetas en los productos mostrando el nivel de ruido.

Algunas de las recomendaciones realizadas en 1985 [5] fueron las siguientes:

- a) Complementar la normativa existente con incentivos y medidas diseñadas para promover la producción y uso de productos más silenciosos.
- b) Desarrollar medidas para financiar políticas de reducción del ruido, que pudieran limitar la presión en el gasto público.
- c) Proteger a los miembros de la población más expuestos a través de la gestión del tráfico, la construcción de barreras contra el ruido, el aislamiento de edificios, y prevenir la creación de nuevas situaciones ruidosas a través de la apropiada planeación del uso del suelo, especialmente en áreas urbanas.

En los reportes de 1996 y 2000, sobre los criterios ambientales para la prevención y control de la contaminación ambiental para un transporte sustentable [6,7], la OCDE establece que, un sistema de transporte sustentable, es aquel que cumple con objetivos, generalmente aceptados, de calidad ambiental y salud. Por esta razón, el ruido forma parte de uno de los seis criterios cuantitativos definidos por este organismo para lograr tales objetivos. Respecto a este tema, recomienda los niveles sonoros para ruido generado por el transporte [6], que se muestran en la tabla 2, aplicados a zonas urbanas, suburbanas y rurales.

Tabla 2. Límites del nivel sonoro, recomendados por la OCDE, para fuentes sonoras del transporte vehicular.

Área	Uso del suelo	Nivel sonoro Leq (dBA)
Urbana	Áreas residenciales	55 dBA (día)
		45 dBA (noche)
	Áreas mixtas	60 dBA (día) 50 dBA (noche)
Suburbana	Áreas industriales	65 dBA (día) 55 dBA (noche)
	Áreas de recreación	50 dBA (día) 40 dBA (noche)
Rural	Otras áreas	Igual que en la zona urbana
	Áreas de recreación	50 dBA (día) 40 dBA (noche)

4.2 Legislación en el extranjero

En este apartado se muestran algunos ejemplos, de la legislación sobre los niveles de ruido máximos permitidos en Australia, Egipto, España, Estados Unidos de América, Italia, Líbano y en América Latina: Argentina, Brasil, Chile, Perú y Venezuela.

Australia

En el sur de Australia el ruido está regulado por The Environment Protection (Noise) Policy 2007 [8], que establece, para diferentes tipos de uso del suelo, niveles de ruido que no deben excederse en el periodo diurno (de 7 a.m. a 10 p.m.) y nocturno (de 10 p.m. a 7 a.m.). Los niveles de ruido permisibles para cada uso de suelo en particular se muestran en la tabla 3.

La legislación también establece disposiciones para el control de ruidos generados por fuentes sonoras específicas, tales como: la construcción, ruido doméstico (producido por maquinaria fija y actividades domésticas que involucran el uso de maquinaria, herramientas o equipo no fijo), recolección de basura y maquinaria empleada en trabajos para la limpieza de la calle, sistema de alarma contra robos instalados en las edificaciones, y ventiladores dentro de las edificaciones. El nivel sonoro de estas fuentes resultará en ruido, con un impacto adverso en la comodidad del espacio habitable, si se exceden los niveles mostrados en la tabla 4.

La legislación australiana es clara en cuanto a los ruidos que están excluidos en esta política de protección ambiental, por ejemplo: la música o voces que resultan de actividades en las viviendas, ruido de escuelas, guarderías y lugares de culto, vehículos aéreos o ferroviarios, ruido causado por mascotas, el ruido de explosiones en trabajos de minería, sirenas de vehículos de emergencia y ruido fuera del intervalo audible humano.

Tabla 3. Niveles de ruido permisibles, establecidos por la legislación de Australia, para diversos tipos de uso de suelo.

Uso de suelo	Niveles de ruido permisibles Leq (dBA)	
	Día (7 a.m.-10 p.m.)	Noche (10 p.m.-7 a.m.)
Rural (habitabile)	47	40
Residencial	52	45
Industria rural	57	50
Industria ligera	57	50
Comercial	62	55
Industria general	65	55
Industria especializada	70	60

Tabla 4. Niveles de ruido, establecidos por la legislación de Australia, que no deben exceder fuentes sonoras específicas.

Fuente sonora	Nivel de la fuente sonora dBA	
	Continuo	Máximo
Construcción	45	60
Ruido doméstico		
a) Maquinaria fija	52 (día) 45 (noche)	
b) Actividad doméstica	45	60
Recolección de basura, maquinaria para limpieza de la calle		60
Ventiladores	Ruido de fondo +5 dBA	

Egipto

La ley ambiental número 4 de Egipto [9] establece niveles de ruido máximos permisibles para los lugares donde se desarrollan actividades laborales y para áreas con diferente tipo de uso de suelo.

En la legislación para áreas con diferente tipo de uso de suelo, los niveles de ruido permisibles, son aplicables a todo tipo de ruido en el ambiente con el propósito de evitar el efecto de molestia [10]. Para cada uso de suelo, la ley establece niveles sonoros para tres periodos del día, de 7:00 a.m. a 6:00 p.m., de 6:00 p.m. a 10:00 p.m. y de 10:00 p.m. a 7:00 a.m. Los niveles de ruido permisibles se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Niveles de ruido permisibles, establecidos por la legislación de Egipto, para diversos tipos de uso de suelo.

Uso de suelo	Limite permisible de ruido Leq (dBA)					
	Día 7 a.m a 6 p.m		Tarde 6 p.m a 10 p.m		Noche 10 p.m a 7 a.m	
	De:	A:	De :	A:	De :	A:
Áreas comercial, administrativa y central	55	65	50	60	45	55
Áreas residenciales con talleres y comercio o localizadas en vías principales	50	60	45	55	40	50
Áreas residenciales en la ciudad	45	55	40	50	35	45
Suburbios residenciales con flujo vehicular bajo	40	50	35	45	30	40
Áreas residenciales rurales, hospitales y jardines	35	45	30	40	25	35
Áreas industriales	60	70	55	65	50	60

España

En España, el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, tiene como objetivo establecer las normas necesarias para la ejecución de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas [11].

En este decreto se establecen para áreas acústicas, los niveles de ruido que no deben superarse para el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica. Dichas áreas se clasificarán, atendiendo al uso predominante del suelo, en los tipos que determinen las comunidades autónomas, las cuales habrán de prever, al menos, los siguientes:

- a. Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.
- b. Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.
- c. Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.
- d. Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en el párrafo anterior.
- e. Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera de especial protección contra la contaminación acústica.
- f. Sectores del territorio afectados a sistemas

generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen.

g. Espacios naturales que requieran una especial protección contra la contaminación acústica.

Los niveles de ruido, establecidos para cada área acústica, se indican para tres periodos temporales: día (Ld: 12 horas, de 7:00 a 19:00 horas), tarde (Le: 4 horas, de 9:00 a 23:00 horas) y noche (Ln: 8 horas, de 23:00 a 7:00 horas). Estos niveles, que muestran en la tabla 6, están referenciados a una altura de 4 m.

Tabla 6. Objetivos de calidad acústica, establecidos por la legislación de España, para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes.

Área acústica	Índices de ruido Leq (dBA)		
	Ld	Le	Ln
a	65	65	55
b	75	75	65
c	73	73	63
d	70	70	65
e	60	60	50
f (1)	Sin determinar		
g (2)	Sin determinar		

(1) En estos sectores del territorio se adoptarán las medidas adecuadas de prevención de la contaminación acústica, en particular mediante la aplicación de las tecnologías de menor incidencia acústica de entre las mejores técnicas disponibles, de acuerdo con el apartado a, del artículo 18.2 de la Ley 37/2003, de 17 de nov.

(2) Los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a los espacios naturales, por requerir una especial protección contra la contaminación acústica, se establecerán para cada caso en particular, atendiendo a aquellas necesidades específicas de los mismos que justifiquen su calificación.

Estados Unidos de Norteamérica

En los Estados Unidos de Norteamérica, la normatividad y guías aplicables al ruido ambiental, a nivel federal, han sido definidas por diversos organismos [12], como por ejemplo: the US Environmental Protection Agency (USEPA), the US Department of Housing and Urban Development (HUD), the Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA), the Department of Transportation Federal Aviation Administration (FAA), the Department of Transportation Federal transit Administration (FTA), the Department of Labor Occupational Safety and Health Administration (OSHA), entre otros. Se muestran en este apartado solamente los criterios de los dos primeros organismos mencionados, debido a su importancia por realizar estudios extensos sobre el tema del ruido ambiental y recomendar niveles sonoros máximos para espacios interiores y exteriores.

La Agencia de Protección Ambiental, con base en su interpretación de la información

científica disponible, publicó en 1974 el documento llamado *Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety* [13], donde identificó niveles sonoros (día noche anuales), suficientes para proteger la salud pública y bienestar de los efectos del ruido ambiental. Los valores de los niveles sonoros identificados por la USEPA se muestran en la tabla 7.

En otro documento de la USEPA [14], se enfatiza que es importante que los niveles indicados en la tabla 7 no sean mal interpretados. Debido a que dichos niveles fueron derivados sin tomar en consideración la viabilidad técnica o económica y contener un margen de seguridad para asegurar su valor protectivo, éstos no deben ser vistos como estándares, normas u objetivos. Más bien, éstos deben ser vistos como niveles, bajo los cuales no existe razón para sospechar que la población general estará en riesgo de cualquiera de los efectos del ruido identificados.

Tabla 7. Niveles sonoros, establecidos por la USEPA, como requisito para proteger la salud pública y bienestar con un adecuado margen de seguridad.

Efecto	Nivel (dBA)	Área
Pérdida auditiva	$Leq(24) < 70$	Todas las áreas
Interferencia de la actividad en el exterior y molestia	$Ldn < 55$	Exteriores de áreas residenciales, granjas y otras áreas, donde las personas pasan diversas cantidades de tiempo y otros espacios donde la tranquilidad es necesaria para su uso.
	$Leq(24) < 55$	Áreas exteriores donde las personas pasan cantidades de tiempo limitadas, como en los patios de escuelas, canchas de juegos, etc.
Interferencia de la actividad en el interior y molestia	$Ldn < 45$	Interior de áreas residenciales
	$Leq(24) < 45$	Otras áreas interiores con actividades humanas, como en escuelas, etc.

Nota. El nivel que tiene un efecto en la pérdida auditiva representa promedios anuales del nivel diario sobre un periodo de cuarenta años (promedios de energía sonora, no promedios aritméticos).

El Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano ha implementado una política ambiental contra el ruido para proteger las viviendas y otros tipos de uso de suelo sensibles a altos niveles de ruido, publicada en el documento de referencia llamado: *The Noise Guidebook* [15]. En este documento se

señala que el ruido ambiental, medido con el nivel sonoro día noche (Ldn), en un sitio en particular, estará en alguna de estas tres categorías:

a) Aceptable: el nivel sonoro día noche no excede 65 dBA. La exposición al ruido puede preocupar un poco; sin embargo las

edificaciones comunes permitirán que el ambiente interior sea aceptable y el ambiente exterior será razonablemente agradable para actividades de recreación y juego.

b) Normalmente inaceptable: el nivel sonoro día noche supera 65 dBA; pero no excede 75 dBA). La exposición a este ruido es significativamente más severa; pueden ser necesarias barreras de ruido para hacer aceptable el ambiente exterior o técnicas de construcción especiales para asegurar que las personas en el interior están suficientemente protegidas del ruido exterior.

c) Inaceptable: el nivel sonoro día noche supera 75 dBA. La exposición a este ruido es tan severa que el costo de la construcción para lograr que el ambiente interior sea aceptable, puede ser muy alto.

Aunque el HUD considera que un nivel día noche de 65 dBA o menor es aceptable para el exterior de las viviendas, una de sus metas, a

largo plazo, es que este nivel no exceda 55 dBA.

El HUD asume que una edificación común permite una atenuación del sonido de 20 decibeles, por lo que un límite de 45 dBA es su meta para el espacio interior. Recomienda que en el espacio interior y en los casos donde sea viable, se deben implementar medidas de atenuación para lograr el nivel de ruido deseado, además se debe poner énfasis en espacios interiores sensibles, tales como los dormitorios.

De acuerdo con este organismo, la severidad del impacto del ruido sobre el receptor está en función de: el tipo de actividad que se está realizando, el sitio donde se encuentra el receptor (exterior o interior) y el tipo de edificación (si el receptor se encuentra en el interior); por lo que las guías de ruido, son niveles sonoros compatibles con diversos tipos de uso del suelo (tabla 8).

Tabla 8. Guías de compatibilidad con el uso del suelo establecidas por el HUD.

Uso del suelo	Grado de aceptabilidad Ldn (dBA)			
	Claramente aceptable	Normalmente aceptable	Normalmente inaceptable	Claramente inaceptable
Residencial, salones de clases, bibliotecas, iglesias, hospitales, enfermerías, estadios (interior y exterior)	< 60	60-65	65-75	> 75
Alojamiento temporal	<65	65-70	70-80	> 80
Auditorios, salas de conciertos, conchas acústicas	< 50	50-60	60-70	> 70
Canchas deportivas, parques	< 55	55-65	65-75	> 75
Campos de golf, campos ecuestres, instalaciones recreativas acuáticas, cementerios	< 60	60-70	70-80	> 80
Edificios de oficinas, venta al por menor, cines, restaurantes	< 65	65-75	75-80	> 80
Venta al por mayor, algo de venta al por menor, industria, manufactura, servicios	< 70	70-80	80-85	> 85
Manufacturación, comunicación (sensible)	< 55	55-70	70-80	> 80
Granjas de ganado, cría de animales	< 60	60-75	75-80	> 80
Agricultura, minería, pesca	< 75	75-95	Sin dato	Sin dato
Paso público (por ejemplo: banquetas, pasos peatonales en las calles, glorietas, rampas, etc.)	< 75	75-85	85-95	Sin dato
Áreas naturales grandes de recreación	< 60	60-75	75-85	> 85

Italia

En Italia, la norma DPCM 1/3/91 Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno (límites máximos de exposición al ruido en los ambientes habitacionales y en el ambiente externo) [16], establece niveles sonoros máximos permisibles (tabla 9) para el periodo diurno (de 6:00 a 22:00) y para el nocturno (de 22:00 a 6:00) para áreas acústicas, definidas según el uso predominante de suelo del territorio. Dichas áreas son las siguientes:

I. Áreas particularmente protegidas. Entran en esta clase las áreas en las cuales la tranquilidad representa un elemento de base para el uso de ellas; hospitales, escuelas, áreas destinadas al reposo y al entretenimiento, áreas rurales residenciales, áreas de particular interés urbanístico, parques públicos, etc.

II. Áreas residenciales. Entran en esta clase las áreas urbanas donde prevalece el tráfico vehicular local, con baja densidad de población, con limitada presencia de actividad comercial y ausencia de actividad industrial y artesanal.

III. Áreas mixtas. Entran en esta clase las áreas urbanas donde prevalece el tráfico vehicular local o de paso, con densidad media de población, con presencia de actividad comercial y con ausencia de actividad industrial, áreas rurales con actividades donde se emplea maquinaria.

IV. Áreas de intensa actividad humana. Entran en esta clase las áreas urbanas donde prevalece

el tráfico vehicular intenso, con alta densidad de población, con elevada presencia de actividad artesanal, las áreas cercanas a caminos de gran comunicación y de líneas ferroviarias, las áreas portuarias, las áreas con limitada presencia de industria pequeña.

V. Áreas predominantemente industriales. Entran en esta clase las áreas con asentamientos industriales y con escasez de viviendas.

VI. Áreas exclusivamente industriales. Entran en esta clase las áreas exclusivamente con actividad industrial carece de asentamientos habitacionales.

Tabla 9. Límites máximos de exposición al ruido, establecidos por la legislación de Italia, para diversas áreas acústicas.

Tipo de área acústica	Limite permisible Leq (dBA)	
	Día (6:00-22:00)	Noche (22:00-6:00)
Áreas particularmente protegidas	50	40
Áreas residenciales	55	45
Áreas mixtas	60	50
Áreas de intensa actividad humana	65	55
Áreas principalmente industriales	70	60
Áreas exclusivamente industriales	70	70

Líbano

En el Líbano, la legislación que se refiere al ruido ambiental, establece límites del nivel sonoro para diversos tipos de uso del suelo [17]. Para cada uso de suelo, en la tabla 10 se muestran dichos límites sonoros, que están definidos para dos periodos temporales, durante el día (de 7:00 a.m. a 6:00 p.m.) y durante la tarde (de 6:00 p.m. a 10:00 p.m.).

Tabla 10. Límites de ruido ambiental, establecidos por la legislación de Líbano, para diversos tipos de uso de suelo.

Uso del suelo	Limite permisible Leq (dBA)	
	Día (7:00 a.m. a 6:00 p.m.)	Tarde (6:00 p.m. a 10:00 p.m.)
Comercial, administrativo o centro	55 - 65	50 - 60
Residencial/centros comerciales en autopistas	50 - 60	45 - 55
Áreas residenciales en la ciudad	45 - 55	40 - 50
Suburbios con poco tráfico	40 - 50	35 - 45
Áreas residenciales rurales, hospitales, parques	35 - 45	30 - 40
Industria pesada	60 - 70	55 - 65

América Latina

Argentina

La norma IRAM 4062/2001 “Ruidos molestos al vecindario. Método de medición y clasificación” [18], establece un método para medir y evaluar los niveles de ruido producidos por fuentes sonoras que trascienden al vecindario (excepto el ruido del tránsito) y que pueden producir molestias.

Esta norma permite determinar, en el lugar presuntamente afectado (exterior o interior), el nivel sonoro continuo equivalente del ruido en consideración y afectarlo de una serie de factores de corrección debido a sus características, con el objeto de obtener un *nivel de evaluación* para compararlo con el ruido de fondo y entonces determinar si el ruido en consideración es molesto o no molesto.

La norma establece tres horarios de referencia: diurno (entre las 8 h y las 20 h), nocturno (entre las 22 h y las 6 h) y de descanso (entre las 6 h y las 8 h y entre las 20 h y las 22 h).

El *nivel de evaluación* L_E para cada horario de referencia se determina con la siguiente ecuación: $L_E = L_{Aeq} + K$

donde:

L_{Aeq} = nivel sonoro continuo equivalente en dBA para el horario de referencia.

K = término de corrección por carácter tonal y/o impulsivo. Se agregan 5 dBA cuando se percibe: por lo menos un tono individual, componentes impulsivas o de impacto, o bien por la presencia de las dos condiciones anteriores.

Esta norma sigue el criterio de que un ruido puede provocar molestias siempre que su nivel exceda en un cierto margen al ruido de fondo preexistente. Por lo tanto, el método de evaluación del ruido se basa en la comparación

del *nivel de evaluación* en cada horario de referencia (L_E), con el *nivel de ruido de fondo* (L_f). Éste último incluye apropiadamente las influencias del tipo de zona y período del día y por lo tanto no se afecta con correcciones.

La norma establece que para evitar considerar un L_f no característico, se efectuará una comparación de éste con el nivel calculado (L_C), que toma en consideración distintos aspectos del medio.

El L_C se obtiene a partir de un nivel básico L_b y una serie de términos de corrección, de acuerdo con la siguiente ecuación: $L_C = L_b + K_z + K_u + K_h$

donde:

L_b = el nivel básico = 40 dBA

K_z = el término de corrección por tipo de zona en dBA. Según la tabla 11.

K_u = el término de corrección por ubicación en el espacio a ser evaluado en dBA. Según la tabla 12.

K_h = el término de corrección por horario en dBA. Según la tabla 13.

El procedimiento de calificación se basa en la diferencia entre el nivel de evaluación L_E y el nivel de ruido de fondo L_f o el nivel calculado L_C . Solamente cuando el L_f sea mayor que el L_C o cuando el L_f no puede ser medido se utilizará la diferencia entre L_E y L_C .

Se considerará que el ruido es molesto si:

$$L_E - L_f \text{ (o } L_C) \geq 8 \text{ dBA}$$

O bien, cuando el ruido a ser calificado contenga picos por encima de L_f o L_C , medidos con la constante de tiempo *rápida*, mayores de 30 dBA durante el día ó 20 dBA durante la noche o durante los períodos de descanso.

Tabla 11. Valores del término de corrección, Kz

Zona	Tipo	Kz (dBA)
Hospitalaria, rural (residencial)	1	-5
Suburbana con poco tránsito	2	0
Urbana (residencial)	3	5
Residencial urbana con alguna industria liviana o rutas principales*	4	10
Centro comercial o industrial intermedio entre los tipos 4 y 6	5	15
Predominantemente industrial con pocas viviendas	6	20

* Una zona residencial urbana con industria liviana que trabaja sólo durante el día será tipo 3.

Tabla 12. Valores del término de corrección, Ku

Ubicación en el espacio a ser evaluado	Ku (dBA)
Interiores: locales linderos con la vía pública	0
locales no linderos con la vía pública	-5
Exteriores: áreas descubiertas no linderas con la vía pública. Por ejemplo: jardines, terrazas, patios, etc.	5

Tabla 13. Valores del término de corrección, Kh

Período	Kh (dBA)
Días hábiles: de 8 h a 20 h	5
Días hábiles: de 6 h a 8 h y de 20 h a 22 h	0
Días feriados: de 6 h a 22 h	
Noche: de 22 h a 6 h	-5

Brasil

En Brasil existe legislación a escala municipal para regular el ruido urbano. Tal es el caso de la ley municipal 8583, 1995 establecida por la Agencia de Protección Ambiental de Curitiba Brasil, para legislar el ruido urbano y el confort público [19].

En esta ley se establecen los límites de ruido, para las cinco zonas urbanas en que ha sido dividida la ciudad. En cada zona se recomiendan niveles de ruido para tres periodos del día: de 7:00 a.m. a 7:00 p.m., de 7:00 p.m. a 10:00 p.m. y de 10:00 p.m. a 7:00 a.m.

Los límites de ruido permitidos en esta legislación, para cada zona en particular se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Niveles de ruido permisibles, establecidos por la legislación de Curitiba, Brasil, para diversas zonas urbanas.

Zona	Niveles de ruido permisibles Leq (dBA)		
	Día 7:00 a.m. 7:00 p.m.	Descanso 7:00 p.m. 10:00 p.m.	Noche 10:00 p.m. 7:00 a.m.
Residencial	55	50	45
Mixta	60	55	55
Servicios	65	60	55
Centro	70	60	60
Industrial	70	60	60

Chile

En Chile, como en Brasil, se ha promulgado legislación en los municipios del país para regular los ruidos urbanos. Sin embargo, en este caso la legislación está claramente dirigida a los ruidos molestos. Por ejemplo, la ordenanza número 80, sobre ruidos y sonidos molestos para la comuna de Santiago [20].

De acuerdo con esta ordenanza, los ruidos molestos son aquellos que emanen de fuentes fijas y no estacionarias o variables, que excedan los niveles máximos permisibles de presión sonora corregidos contemplados en la legislación vigente sobre ruidos molestos generados por diversas fuentes y, en general, todo ruido o sonido que ocasionen molestias al vecindario, tanto de día como de noche.

Esta legislación regula los ruidos molestos producidos en la vía pública, calles, plazas, paseos públicos y peatonales, en el espacio aéreo comunal, en las fábricas, talleres e industrias, en las salas de espectáculos, restaurantes, fuentes de soda, clubes nocturnos, discotecas, centros de reuniones, casas o locales de comercio de todo género, iglesias, templos y casas de culto y en todos los inmuebles y lugares donde se desarrollen actividades públicas o privadas, así como en las casas habitación, individuales o colectivas.

La ordenanza prohíbe especialmente:

a) El pregón de mercaderías y objeto de toda índole, rifas, billetes de lotería, etc.; asimismo, la propaganda de cualquier condición desde el interior de los locales a la vía pública, sea hecha de viva voz o por aparatos productores o difusores de sonidos.

b) El uso de altoparlantes y de cualquier instrumento musical capaz de producir ruidos calificados como molestos.

c) El funcionamiento de bandas de músicos o estudiantinas en las calles y vías públicas, salvo que se trate de las fuerzas armadas o de orden, municipales o de colegios y escuelas.

d) Se prohíbe el funcionamiento de toda fábrica, taller, bodega, industria o comercio que ocasione ruidos molestos de día o de noche.

e) La producción de ruido por altoparlantes o equipo de amplificación de sonido por ferias de diversiones, carruseles, ruedas giratorias, circos o de cualquier otro entretenimiento.

f) El funcionamiento de alarmas para prevenir robos, daños, actos vandálicos y otros similares instalados en vehículos, cuya duración supere los dos minutos y las instaladas en casas y otros lugares, más allá del tiempo necesario para que sus propietarios o usuarios se percaten de la situación, en todo caso, en un tiempo no superior a los diez minutos.

La ordenanza establece que los niveles de presión sonora corregidos que se obtengan de la emisión de una fuente fija emisora de ruidos, no podrá exceder los valores que se fijan en la tabla 15 para los siguientes tipos de zonas:

- Zona I: corresponde a habitacional y equipamiento a escala vecinal.
- Zona II corresponde a equipamiento a escala comunal y/o regional.
- Zona III: permite industria inofensiva.
- La zona IV: permite a industria inofensiva y/o molesta.

Tabla 15. Niveles máximos permisibles de presión sonora corregidos (NPC) en dBA lento, establecidos por la legislación de Santiago, Chile

Zona	De 7 a 21 horas	De 21 a 7 horas
I	55	45
II	60	50
III	65	55
IV	70	70

Perú

En Perú, al igual que en Brasil y Chile, se han decretado ordenanzas para las provincias del país. En la provincia de Lima, a diferencia de Santiago Chile, la legislación para el ruido urbano está dirigida a aquellos ruidos que son nocivos y molestos. Esta legislación, a través de la ordenanza número 015, para la supresión y limitación de los ruidos nocivos y molestos [21], establece que estos tipos de ruidos son aquellos que exceden los niveles mostrados en la tabla 16 y que se producen en la vía pública, viviendas, establecimientos industriales y/o comerciales, y en general en cualquier lugar público o privado.

Tabla 16. Niveles máximos permisibles de ruidos nocivos y molestos, establecidos por la legislación de Lima, Perú.

Zona	Niveles de ruido (dBA)		
	Ruidos nocivos	Ruidos molestos	
		De 07:01 a 22:00	De 22:01 a 07:01
Residencial	80	60	50
Comercial	85	70	60
Industrial	90	80	70

Algunas disposiciones importantes de esta ordenanza son las siguientes:

- Prohíbe el uso de bocinas, escapes libres, altoparlantes, megáfonos, equipos de sonido, sirenas, silbatos, cohetes, petardos o cualquier otro medio, que por su intensidad, tipo, duración y/o persistencia, ocasionen molestias al vecindario.
- En los casos en que sea permitida la crianza de animales domésticos, ésta deberá

igualmente adoptar las medidas necesarias para no causar ruidos nocivos o molestos.

- Prohíbe que los vehículos motorizados produzcan ruidos nocivos o molestos. Así mismo, prohíbe el uso de claxon o bocina, salvo casos de emergencia o fuerza mayor.
- En zonas circundantes hasta de 100 metros de la ubicación de centros hospitalarios, de cualquiera naturaleza, y cualquier que fuera la zonificación, la producción de ruidos no podrá exceder de 50 decibeles de 07.01 a 22.00 horas y de 40 decibeles de 22.01 a 07.00 horas. La producción de ruidos que exceda a 70 decibeles en estas zonas se considera nociva.

Algunas excepciones que contempla la ordenanza son las siguientes:

- Se exceptúan las señales que deben emitir para indicar su paso los vehículos de seguridad y emergencia.
- Se podrá suspender por periodos determinados las prohibiciones de la ordenanza, en ocasiones extraordinarias o excepcionales como Fiestas Patrias, Navidad, Año Nuevo y similares.

Cabe mencionar el caso de la municipalidad de San Borja, Perú, donde, la ordenanza Número 306-2004-MSB, sobre prevención y control de ruidos molestos es similar a la de Lima, en cuanto a que establece los mismos niveles máximos permisibles de ruido en zonas residenciales, comercial y de protección especial. Sin embargo sus prohibiciones son más estrictas, por ejemplo, queda prohibido:

- El uso de altoparlantes, radios y de cualquier instrumento musical, capaz de producir ruidos molestos al exterior como medio de propaganda de los negocios.
- Desde las 23:00 h y hasta las 06:30 h, en las vías públicas las conversaciones en alta voz sostenidas por personas que transiten o se encuentren estacionadas, frente a casas habitaciones; así como música, canciones y

algarabía, ya sea que los ejecutantes sean estacionarios, transeúntes o en vehículos.

- Proferir en alta voz expresiones deshonestas, injuriosas o mal intencionadas, que causan escándalo o puedan ser susceptibles de causarlo, o se presten a abusos o daños personales.
- Hacer estallar cohetes, petardos o todo otro material detonante, en cualquier época del año;
- El funcionamiento de orquestas o bandas en eventos, desfiles, caravanas o procesiones en la vía pública, salvo que estuvieren premunidos de un permiso especial de la municipalidad.
- Producir ruidos molestos por los vendedores ambulantes o estacionados, el proferir gritos o pregones, usar pitos, campanillas, cornetas, megáfonos u otros instrumentos sonoros;
- En el perímetro de 100 metros circundantes a zonas de protección especial, queda prohibido el uso de claxon u otro medio sonoro, que exceda el nivel permisible para dichas zonas; para ello, estas instituciones deberán tener la señalización respectiva de prohibición de ruido.
- El uso de bocinas y claxon para llamar la atención de las personas en búsqueda de pasajeros o clientes de taxis, transporte urbano, unidades de transporte escolar, mensajería, etc. así como en las cocheras o playas de estacionamiento público o privado.

Venezuela

En Venezuela, a través del decreto No. 2.217, se estableció la norma sobre el control de la contaminación generada por ruido [22].

Este decreto está dirigido al control de la contaminación producida por fuentes de ruido fijas o móviles. En el caso de las fuentes fijas aplica al ambiente no confinado ubicado fuera del local donde aquella opera y comprende cualquier instalación, proceso, equipo o artefacto capaz de producir ruido, que por su naturaleza o diseño se encuentre temporal o

permanentemente en un sitio determinado. El ruido provocado por situaciones de emergencia queda exceptuado de este decreto.

Los casos de ruido generado por actividades comerciales, domésticas y sociales, tales como, fiestas, uso de equipos de sonido, artefactos eléctricos, equipos de aire acondicionado, hidroneumáticos, etc., que causen molestias en el vecindario, están considerados como alteración del orden público y serán sometidos al conocimiento de las jefaturas civiles y autoridades municipales, según su competencia.

Se consideran niveles de ruido tolerables los indicados en la tabla 17, para las siguientes zonas:

- Zona I. Comprende sectores residenciales con parcelas unifamiliares e instalaciones, como hospitales y escuelas, que no estén ubicadas al borde de vías de alto tráfico de vehículos (vías cuyo tráfico promedio diario sea superior a 12.000 vehículos), ni en la vecindad de autopistas o de aeropuertos.
- Zona II. Comprende sectores residenciales con viviendas multifamiliares o apareadas, con escasos comercios vecinales, que no estén ubicadas al borde de vías de alto tráfico de vehículos, ni en la vecindad de autopistas o de aeropuertos.
- Zona III. Comprende sectores residenciales - comerciales, con predominio de comercios o pequeñas industrias en coexistencia con residencias, escuelas y centros asistenciales, ubicados cerca de vías de alto tráfico de vehículos o de autopistas.
- Zona IV. Comprende sectores comerciales e industriales donde predominan estos tipos de actividades. No se consideran apropiados para la ubicación de viviendas, hospitales ni escuelas.
- Zona V. Comprende los sectores que bordean las autopistas y los aeropuertos.

Tabla 17. Niveles de ruido tolerables, establecidos por la legislación de Venezuela.

Zona	Leq (dBA)		L10(dBA)	
	6:30 a.m.- 9:30 p.m.	9:31 p.m.- 6:29 a.m.	6:30 a.m.- 9:30 p.m.	9:31 p.m.- 6:29 a.m.
I	55	45	60	50
II	60	50	65	55
III	65	55	70	60
IV	70	60	75	65
V	75	65	80	70

4.3 Legislación en México

El tema del ruido aparece por primera vez en los periódicos de la ciudad de México en 1959, después de que investigadores universitarios dieron a conocer que en algunas zonas de la ciudad el ruido sobrepasaba el límite impuesto en países industrializados [23]. La participación en foros nacionales e internacionales sobre la importancia de este tema en México se empezó a dar, con mayor frecuencia, a partir de la década de los años setenta [24]. Sin embargo, el trabajo científico y el desarrollo de herramientas normativas para la lucha contra el ruido, hasta la fecha han sido escasos y limitados.

La política ambiental en México tiene una historia muy corta. Apenas en los años setenta, al crearse la Subsecretaría de Protección al Ambiente, se publica la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental [25]. Una década después se conforma una Ley Ambiental con un enfoque más amplio de protección al ambiente, la Ley Federal de Protección al Ambiente [26] y en 1988 se promulga la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente [27], así como leyes locales en las entidades federativas y reglamentos de la ley general. Esta legislación se ha centrado en la *emisión* de contaminantes en el aire, agua o suelo, donde se incluye, el ruido y otros contaminantes peligrosos.

Respecto al ruido, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección al Ambiente [27] establece, que es facultad de la federación la regulación de la prevención de la contaminación ambiental originada por ruido (y otros contaminantes), y que corresponden a los estados y municipios la prevención y el control de dicha contaminación proveniente de *fuentes fijas y móviles*. Este tipo de fuentes, que se especifican en el Reglamento para la protección del ambiente contra la contaminación originada por la emisión de ruido [28], son las siguientes:

- Fuentes fijas: todos tipo de industria, máquinas con motores de combustión, terminales y bases de autobuses y ferrocarriles, aeropuertos, clubes cinegéticos y polígonos de tiro; ferias, tianguis, circos y otras semejantes.
- Fuentes móviles: son aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, tractocamiones, autobuses integrales, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinaria con motores de combustión y similares.

Además, dicha ley establece que los criterios para proteger al ambiente se deben sujetar a los reglamentos y a las normas oficiales mexicanas en materias de ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica y olores, donde se establecerán los procedimientos, a fin de prevenir y controlar la contaminación y también se fijarán los *límites de emisión* respectivos.

Las normas oficiales mexicanas en materia de ruido, a las que se refiere esta ley, son las siguientes: NOM-079-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de los vehículos automotores nuevos en planta [29], NOM-080-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación [30], NOM-081-ECOL-1994, que establece los

límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas [31], NOM-082-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las motocicletas y triciclos motorizados nuevos en planta y la norma [32] y NOM-036-SCT3-2000, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido producido por las aeronaves de reacción subsónicas, propulsadas por hélice, supersónicas y helicópteros [33].

En el Reglamento para la protección del ambiente contra la contaminación originada por la emisión de ruido [28] y en la Norma NOM-081-ECOL-1994 [31] se establecen los límites máximos permisibles del nivel sonoro emitido por fuentes fijas (tabla 18).

Tabla 18. Límites máximos permisibles, establecidos por la legislación federal en México, del nivel sonoro emitido por fuentes fijas.

Horario	Límites máximos permisibles dBA
De 6:00 a.m. a 22:00 p.m.	68
De 22:00 p.m. a 6:00 a.m.	65

En el caso de la Ciudad de México, la única norma relacionada con el problema del ruido ambiental es la NADF-005-AMBT-2006, que tiene como objetivo establecer límites máximos permisibles de emisiones sonoras de aquellas actividades o giros que para su funcionamiento utilicen maquinaria, equipo, instrumentos, herramienta, artefactos o instalaciones que generen emisiones sonoras al ambiente [34]. Los valores de los límites de emisiones sonoras que establece esta norma, se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Límites máximos permisibles, establecidos por la legislación del Distrito Federal, México, de emisiones sonoras.

Horario	Límites máximos permisibles dBA
De 6:00 a.m. a 22:00 p.m.	65
De 22:00 p.m. a 6:00 a.m.	62

Por otro lado, en las normas técnicas complementarias para el proyecto arquitectónico del reglamento de construcciones del Distrito Federal [35], solamente establece disposiciones para el ruido generado por: a) los equipos de bombeo, de generación y de transformación eléctrica y la maquinaria en general, que produzcan una intensidad sonora mayor de 65 decibeles, medida a 0.50 m en el exterior del predio y b) los establecimientos de alimentos y bebidas y los centros de entretenimiento que produzcan una intensidad sonora mayor de 65 decibeles medido a siete metros en cualquier dirección fuera de los linderos del predio del establecimiento.

Discusión y conclusiones

El valor guía de ruido, que ha sido ampliamente difundido y contemplado en la legislación de todos los países que se mencionaron arriba, corresponde al de las áreas residenciales. Este valor, para la OMS, la OCDE, la USEPA y la legislación de la mayoría de los países que se mencionaron, no debe superar 55 dBA durante el día, para proteger a la población del efecto de molestia grave (OMS); para cumplir con objetivos de calidad ambiental y salud (OCDE) y para proteger la salud pública y bienestar (USEPA).

Solamente el HUD y la legislación de países como España, Egipto y Perú aceptan, un nivel criterio mayor de 55 dBA durante el día. De acuerdo con el HUD, un nivel criterio de 55 dBA solamente considera el aspecto de los riesgos en la salud; pero no toma en cuenta los costos económicos de su implementación y la viabilidad técnica. Por tal razón, este organismo y la OMS recomiendan que se adopte este nivel guía como meta a largo plazo.

La legislación en los países a escala internacional, establece límites de ruido compatibles con diferentes usos del suelo. Sin embargo, en general solamente incluyen el

espacio residencial, comercial e industrial. El único caso donde se especifica una amplia tipología de espacios es en los Estados Unidos, donde el HUD ha incluido, por ejemplo espacios peatonales y de recreación.

Es interesante observar que en los países de América Latina mencionados, el tema de la legislación del ruido ambiental ha sido atendido desde hace varias décadas. En algunos casos ésta es más exigente que en otros, por ejemplo, el nivel de ruido máximo permisible en la zona residencial, es de 55 dBA para el periodo diurno y 45 para el nocturno en Brasil, Chile y Venezuela. En Perú es de 60 dBA y 50 dBA respectivamente.

Algunos aspectos generales que llaman la atención de la legislación de los países de América Latina son, por ejemplo:

- a) La legislación está especialmente dirigida a los ruidos que pueden ser molestos (Argentina, Chile, Perú) o incluso nocivos (Perú).
- b) La legislación aplica en el sitio de afectación, que puede ser interior o exterior (Argentina, Chile, Perú).
- c) Se regulan los ruidos producidos en la vía pública, calles, plazas, paseos públicos y peatonales (Chile y Perú).
- d) La legislación prohíbe el ruido de fuentes sonoras concretas, por ejemplo:regoneros de mercancías, propaganda desde el interior de locales comerciales, música, alarmas que excedan cierto tiempo (Chile), el uso de claxon o bocina, salvo casos de emergencia o fuerza mayor (Perú).

Es un hecho que en los países de América Latina, donde el clima lo permite, las personas usan mayor tiempo los espacios públicos, generando ruido que puede ocasionar molestia. Sin embargo, la prohibición de la voz alta, música, canciones y algarabía, frente a las viviendas, en horario nocturno, también se ha contemplado en la legislación (Perú).

La legislación de los países mencionados establece límites de ruido que no deben superarse para evitar efectos en la salud y bienestar de las personas. Sin embargo, en Argentina se aplica otro criterio, que se basa en el supuesto del ruido de fondo.

En el caso de México, el panorama es diferente. Las normas mexicanas, a escala federal y local, que se han expedido para abordar el problema del ruido ambiental, si bien ayudan a reducir la contaminación sonora de fuentes individuales, no consideran al ruido ambiental como el resultado de la presencia de un conjunto de fuentes sonoras, tampoco contemplan el impacto que tiene este ruido en los espacios tanto exteriores como interiores, donde las personas realizan diversas actividades. Aunado a esto, los límites sonoros máximos permisibles que establecen las normas federal y local son superiores a los que recomienda la OMS para proteger a la población del efecto de molestia.

En el documento llamado libro verde [36] se menciona que en países de la Unión Europea, gracias al tipo de legislación enfocada en las emisiones sonoras de fuentes individuales y al avance tecnológico, se consiguió una reducción significativa del ruido de este tipo de fuentes sonoras. Por ejemplo, el ruido de los automóviles particulares y el de los camiones se redujo en un 85% y 90% respectivamente de la década de 1970 a la década de 1990. Sin embargo, también se señala en el documento que esos resultados estaban siendo anulados debido al aumento del volumen de tráfico de todos los medios de transporte y al desarrollo de las actividades de ocio y turismo, lo cual generó nuevos puntos y fuentes de ruido.

En México, el incremento en las fuentes sonoras también es un hecho, por lo que es necesario que la legislación mexicana, a nivel federal y local, cambie el enfoque sobre la política ambiental en materia de ruido. Es importante que esta política promueva

programas integrales de control y reducción de ruido, tal como se está haciendo a escala internacional, donde se están implementando medidas que no se basan solamente en la reglamentación sobre las emisiones de ruido, sino que también promueven criterios de calidad acústica o valores de orientación para la exposición al ruido, aplicados a situaciones o ambientes específicos, para evitar el impacto negativo en la salud y bienestar de las personas.

Por otro lado, es importante que la legislación mexicana, como en otros países de América Latina, legisle sobre fuentes sonoras concretas, que pueden ser molestas, por ejemplo: vendedores ambulantes, música en la vía pública, mascotas, el uso excesivo del claxon.

Tanto a escala internacional, como en México, la legislación del ruido ambiental, por sí sola, no logrará una reducción de los niveles de ruido en las ciudades, para ello es importante que se desarrollen programas de fomento de la cultura ambiental, de educación y se promueva el respeto a las reglas de convivencia.

Referencias

- [1] WHO. Berglund B, Lindvall T (Eds). Community noise. World Health Organization. Stockholm: Stockholm University and Karolinska Institute; 1995.
- [2] WHO. Guidelines for community noise. World Health Organization, Geneva, Switzerland (1999).
- [3] OECD, Environment Programme 2005-2006, Organisation for Economic Co-operation and Development. Disponible en: <http://www.oecd.org/env/>. Consultada el 15 de marzo de 2006.
- [4] OECD. Recommendation of the Council on Noise Abatement Policies, Organisation for Economic Co-operation and Development [C(78)73]. Disponible en: <http://www.oecd.org>. Consultada el 10 de junio de 2008.
- [5] OECD. Recommendation of the Council on Strengthening Noise Abatement Policies, Organisation for Economic Co-operation and Development [C(85)103]. Disponible en: <http://www.oecd.org>. Consultada el 10 de junio de 2008.
- [6] OECD. Pollution prevention and control environmental criteria for sustainable transport. Report on Phase 1 of the Project on Environmentally Sustainable Transport (EST), Report OCDE/GD(96)136, Paris, France (1996).
- [7] OECD. Environmentally Sustainable Transport, guidelines, International Conference, Vienna, Austria (2000).
- [8] Environment Protection (Noise) Policy 2007, version: 31.3.2008, South Australia. <http://www.parliament.sa.gov.au>. Consultada el 30 de enero de 2009.
- [9] Egyptian Environmental Law No. 4. Egyptian Ministry of Environment, Cairo, Egypt; 1994. Disponible en: <http://www.eeaa.gov.eg/english/main/law4.asp>. Consultada el 30/01/2009
- [10] Ali SA. Railway noise levels, annoyance and countermeasures in Assiut, Egypt, Appl Acoust 2005;66:105-113
- [11] RD 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. Disponible en: http://www.ruidos.org/Normas/RD_1367_2007.html#c4. Consultada el 30 de enero de 2009.
- [12] Cowan JP, Handbook of environmental acoustics. New York: VNR; 1994.
- [13] USEPA. Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety, US Environmental Protection Agency. Office of Noise Abatement and Control. EPA/ONAC 550/9-74-004, Washington, DC. (1974).
- [14] USEPA. Protective Noise Levels. Condensed Version of EPA Levels Document, US Environmental Protection Agency. Office of Noise Abatement and Control. Report EPA 550/9-79-100 (1979).
- [15] HUD. The Noise Guidebook. The US Department of Housing and Urban Development, HUD-953-CPD, Washington, DC. (1985). Disponible en: <http://www.hud.gov/offices/cpd/environment/training/guidebooks/noise/>. Consultada el 11 de abril de 2006.
- [16] DPCM 1/3/91, Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno, G.U. Rep. Ital. n. 57, 08/03/1991. Disponible en: <http://www.ispesl.it/osservatorio/pdf/Dpcm1mar1991.pdf>. Consultada el 30 de enero de 2009.
- [17] Lebanese MOE (Ministry of Environment): 1996, Resolution No. 1/52, Official Gazette issue No. 45, 12/9/1996. Citada en S. I. Korfali and M. Massoud, Assessment of community noise problem in greater Beirut area, Lebanon, Environmental Monitoring and Assessment 84, 203-218 (2003).
- [18] IRAM 4062. Tercera edición 2001-05-10. Ruidos molestos al vecindario. Método de medición y clasificación. Instituto Argentino de Normalización. Disponible en: http://www.ibnorca.org/CVN/cvn/apoyo/docs_apoyo/6.2.007.pdf. Consultada el 30 de enero de 2009.
- [19] Environmental Protection Agency, Curitiba, Lei Municipal 8583, 1995. En: P. H. Zanin, et al. Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil, Appl Acoust 2002;63:351-358.

- [20] Ordenanza No. 80. 30 de octubre de 1998, sobre ruidos y sonidos molestos para la comuna de Santiago, Chile. Disponible en: www.municipalidaddesantiago.cl/descargas/municipalidad/ordenanzas/orden_80-2.pdf. Consultada el 20 de marzo de 2009.
- [21] Ordenanza número 015, 12 de junio de 2002, para la supresión y limitación de los ruidos nocivos y molestos. Lima Perú. Disponible en: <http://www.munlima.gob.pe/direcciones/Web%20Dia%20Ruido/orden015.htm>. Consultada el 20 de marzo de 2009.
- [22] Decreto No. 2.217, 23 de abril de 1992. Normas sobre el control de la contaminación generada por ruido. Venezuela. Disponible en: www.pdulciudadguayana.org/leyes/15%20%20Normas%20Ruido.pdf. Consultada el 20 de marzo de 2009.
- [23] Bazan H. La Ciudad de Ayer, Diario El Universal, 16-04-2006. Disponible en: <http://www.el-universal.com.mx/columnas/57062.html>. Consultada el 5 de mayo de 2008.
- [24] Legorreta J. Transporte y contaminación en la Ciudad de México, Centro de Ecología y Desarrollo, México, 1995.
- [25] Ley federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental 1971.
- [26] Ley federal de protección al ambiente 1982.
- [27] Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección al Ambiente (LGEEPA) 1988, última reforma publicada DOF 05-07-2007.
- [28] Reglamento para la protección del ambiente contra la contaminación originada por la emisión de ruido. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/leyesyformas/Reglamentos%20del%20sector/REGLA_RUIDO.pdf. Consultada el 5 de mayo de 2008.
- [29] NOM-079-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de los vehículos automotores nuevos en planta y su método de medición. 12 de enero de 1995, México.
- [30] NOM-080-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación y su método de medición. 13 de enero de 1995, México.
- [31] NOM-081-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición. 13 de enero de 1995, México.
- [32] NOM-082-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las motocicletas y triciclos motorizados nuevos en planta, y su método de medición. 15 de diciembre de 1994, México.
- [33] NOM-036-SCT3-2000, que establece dentro de la República Mexicana los límites máximos permisibles de emisión de ruido producido por las aeronaves de reacción subsónicas, propulsadas por hélice, supersónicas y helicópteros, su método de medición, así como los requerimientos para dar cumplimiento a dichos límites. 19 de febrero de 2001, México.
- [34] Norma ambiental para el distrito federal NADF-005-AMBT-2006, que establece las condiciones de medición y los límites máximos permisibles de emisiones sonoras, que deberán cumplir los responsables de fuentes emisoras ubicadas en el Distrito Federal. 27 de septiembre de 2006.
- [35] Normas Técnicas Complementarias para el proyecto arquitectónico, Gaceta Oficial del Distrito Federal, 6 de octubre de 2004, Tomo II No. 103-BIS.
- [36] Comisión Europea. Política futura de lucha contra el ruido, Libro Verde. Bruselas; 1996.

Metodología

Introducción

El trabajo de investigación quedó enmarcado en dos zonas de estudio ubicadas en la Ciudad de México. Para su realización se dividió en dos partes:

(1) Una investigación de las condiciones de ruido ambiental en calles y plazas de las zonas de estudio, a través de mediciones del nivel sonoro en diversos puntos distribuidos en estos sitios.

(2) Un estudio social en calles de las zonas de estudio, a través de la aplicación de una encuesta, diseñada para evaluar el impacto que tiene el ruido urbano en los peatones.

En este capítulo se hace una descripción de las características geográficas de las zonas estudiadas y de las razones por las que éstas fueron elegidas.

Posteriormente se explica la metodología que se siguió para el desarrollo de las dos partes del trabajo mencionadas.

5.1. Zonas de estudio

La Ciudad de México posee colonias y barrios que, por su patrimonio arquitectónico y urbanístico, tienen una identidad propia y son reconocidos como sitios tradicionales, donde han prevalecido actividades culturales y sociales de importancia. Sin embargo, en estos sitios, el espacio público abierto se ha deteriorado, entre otros aspectos, por la contaminación acústica.

Para el estudio, se han elegido dos zonas de la ciudad con dichas características y tal problemática. Su ubicación es en el centro-norte y centro-sur del Distrito Federal (figura 1).



Figura 1. Localización de las zonas de estudio en el mapa del Distrito Federal.

La primera zona con una superficie de 176.2Ha comprende la colonia Santa María La Ribera en su totalidad, que se ubica en la delegación Cuauhtémoc. La segunda zona tiene una superficie de 440Ha y está formada por las colonias Del Carmen, Santa Catarina, Villa Coyoacán, La Concepción y San Lucas, en la delegación Coyoacán.

En adelante, estas zonas se identificarán como SMLR y Coyoacán (o COY) respectivamente.

Las vialidades que limitan estas zonas son las siguientes (figura 2):

1. SMLR: al norte, la avenida Ricardo Flores Magón, al sur, la avenida Ribera de San Cosme; al oriente, la avenida Insurgentes Norte y al poniente, la avenida Instituto Técnico Industrial (Circuito Interior).

2. Coyoacán: al norte, la avenida Río Churubusco (Circuito Interior); al sur, la avenida Miguel Ángel de Quevedo; al oriente, la avenida División del Norte y al poniente, la avenida Universidad.

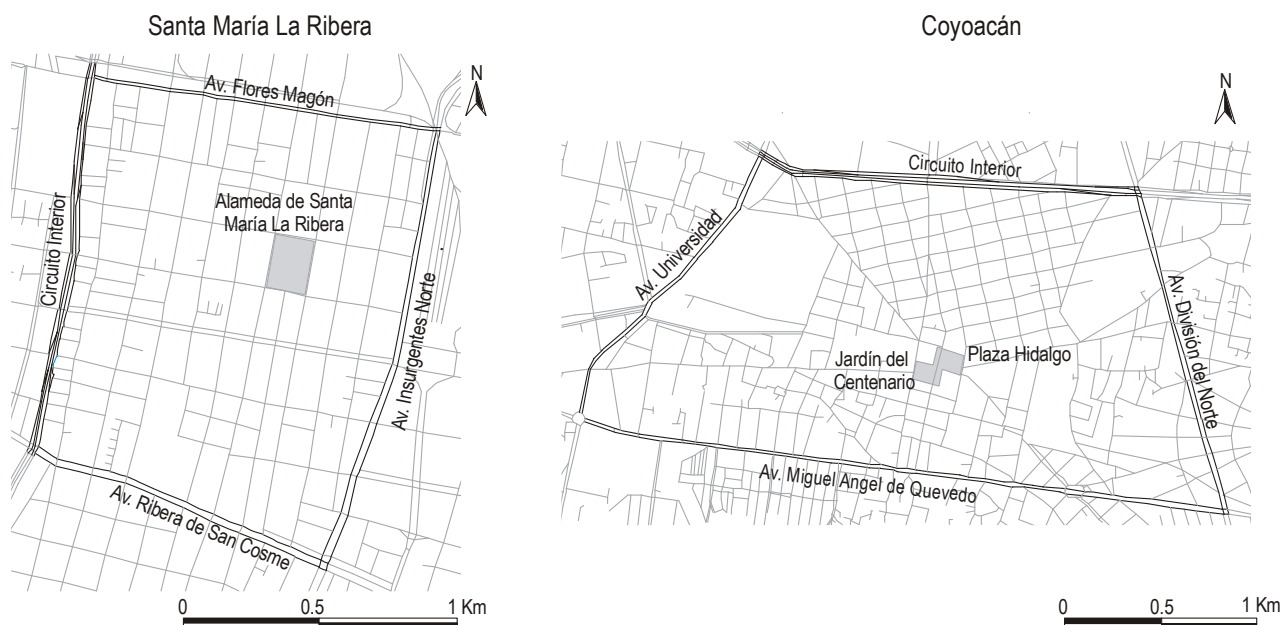


Figura 2. Límites de las zonas de estudio.

Elección de las zonas de estudio

Las dos zonas de estudio son reconocidas como sitios tradicionales con un gran valor cultural e histórico. Sin embargo, entre ambas, existen las siguientes similitudes, desde el punto de vista urbano arquitectónico, y diferencias, desde el punto de vista de las características sociodemográficas de las personas que en ellas habitan.

Las similitudes en las zonas de estudio son las siguientes:

1. Sitios considerados de conservación patrimonial. Las dos zonas cuentan con importantes espacios arquitectónicos y urbanísticos (algunos ejemplos se muestran en la tabla 1 y figuras 3 y 4), donde se llevan a cabo actividades sociales, culturales y recreativas en beneficio de sus habitantes y de los de la Ciudad.

Tabla 1. Ejemplos de sitios de valor histórico, arquitectónico y urbanístico en las zonas de estudio.

SMLR	Coyoacán
1. Museo de Geología	1. Museo Frida Kahlo
2. Museo del Chopo	2. Museo-casa de León Trotsky
3. Templo de San Cosme y Damián	3. Iglesia de Santa Catarina
4. Casa de los Mascarones	4. Plaza Santa Catarina
5. Templo de los Josefinos	5. Museo Nacional de la Acuarela
6. Parroquia del Espíritu Santo	6. Capilla de san Antonio Panzacola
7. Alameda de Santa María La Ribera	7. Jardín del Centenario
8. Kiosco Morisco	8. Plaza Hidalgo
	9. Parroquia de San Juan Bautista
	10. Museo de Culturas Populares
	11. Plaza e iglesia de la Conchita

2. Tipo de vialidades. En las dos zonas, las vialidades en los límites son primarias y en el interior predominan las vías secundarias y terciarias (figuras 5-6).

3. Uso del suelo. En ambas zonas el uso del suelo es habitacional con comercio en el perímetro y predominantemente habitacional en el interior (figuras 7-8).

4. Espacios públicos abiertos. Los dos sitios tienen un espacio público importante, ubicado aproximadamente en el área central; éstos constituyen los elementos urbanos de reunión más reconocibles de cada zona, porque en ellos se realizan actividades sociales, culturales, musicales, comerciales y recreativas. En SMLR este espacio se conoce como la Alameda de Santa María La Ribera (figura 9), de aproximadamente 26,000m². En Coyoacán, el Jardín del Centenario y la Plaza Hidalgo (figura 10), adyacentes entre sí; pero divididos por una vía secundaria, se consideran como un sólo espacio público, de aproximadamente 26,700m². En adelante se hará referencia a estos espacios como plazas.

5. Ambas zonas presentan problemas de contaminación atmosférica, visual y acústica, reconocidos en los programas de desarrollo urbano [1,2].

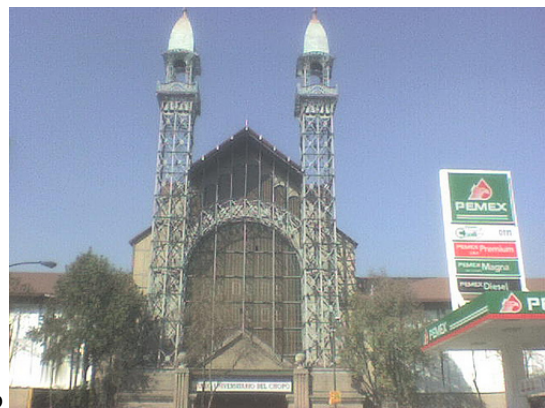


Figura 3. Santa María la Ribera. a. Museo de Geología, b. Museo del Chopo.



Figura 4. Coyoacán. a. Parroquia de San Juan Bautista, b. Museo Frida Kahlo.



Figura 5. Santa María La Ribera. a. Av. Ribera de San Cosme (vialidad primaria),
b. Calle Santa María la Ribera (vialidad secundaria)



Figura 6. Coyoacán. a. Av. Universidad (vialidad primaria), b. Carrillo Puerto (vialidad secundaria).



Figura 7. Santa María La Ribera. a. Uso del suelo habitacional con comercio en vialidad primaria,
b. Uso del suelo predominantemente habitacional en vialidad secundaria.



a



b

Figura 8. Coyoacán. a. Uso del suelo habitacional con comercio en vialidad primaria, b. Uso del suelo predominantemente habitacional en vialidad secundaria.



a



b

Figura 9. Santa María La Ribera. a. Alameda, b. Detalle interior del kiosco Morisco (<http://www.oem.com.mx/>).



a



b

Figura 10. Coyoacán. a. Jardín del Centenario, b. Plaza Hidalgo.

Las diferencias entre las dos zonas se muestran a través del perfil sociodemográfico de los sitios, obtenido del XII Censo General de Población y Vivienda, realizado en el año 2000 [3].

La siguiente información corresponde a las Áreas Geoestadísticas Básicas que forman cada zona (6 para Santa María La Ribera y 10 para Coyoacán):

1. Población. El total de habitantes en las zonas de estudio, fue de 39,539 en SMLR y 28,192 en Coyoacán. En ambos casos el 70% de la población nació en el Distrito Federal. Los porcentajes de personas con edad de entre 15 y 59 años y de 60 años y más fueron menores en SMLR que en Coyoacán, la primera registró 76% y 12% respectivamente y la segunda 82% y 17% respectivamente. Es decir, que Coyoacán tiene un escaso porcentaje de personas menores de 15 años (1%), mientras que SMLR tiene un 12%. La densidad poblacional (habitantes/hectárea) en SMLR es 3.5 veces mayor que la de Coyoacán (figura 11).

2. Educación. El porcentaje de personas de 15 años y más, con un nivel de instrucción media superior o superior es mayor en Coyoacán que en SMLR. Caso contrario sucede con las personas con estudios solamente de primaria o secundaria, el número de éstos es menor en Coyoacán que en SMLR (figura 12).

3. Economía. Los porcentajes de la población de 12 años y más, identificadas como económicamente activa e inactiva (estudiantes, jubilados, pensionados, incapacitados para trabajar y personas dedicadas al hogar) es similar en ambas zonas (figura 13). La figura 14 muestra que, en SMLR la mayoría de la población recibe de dos hasta cinco salarios mínimos mensuales, a diferencia de Coyoacán, donde la mayoría recibe más de cinco.

4. Vivienda. En figura 15 se observa que, en SMLR, del total de viviendas habitadas (11,540), solamente el 52.1% corresponde a viviendas propias y el 38.6% a rentadas. A diferencia de Coyoacán, donde, de un total de 8,203 viviendas, el 70.2% corresponde a vivienda propia y el 20.8% a rentada. El porcentaje de las viviendas que disponen de automóvil o camioneta propia es mayor en Coyoacán (70.5%) que en SMLR (34.5%).

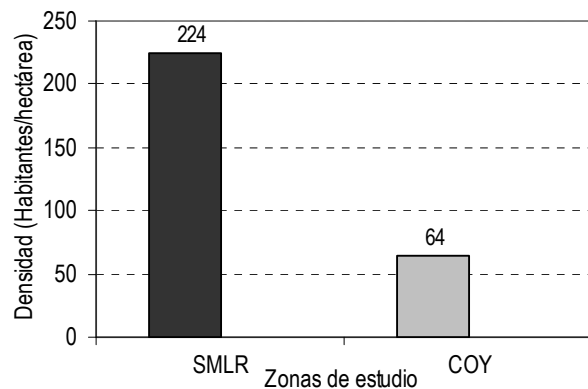


Figura 11. Densidad poblacional en las zonas de estudio.

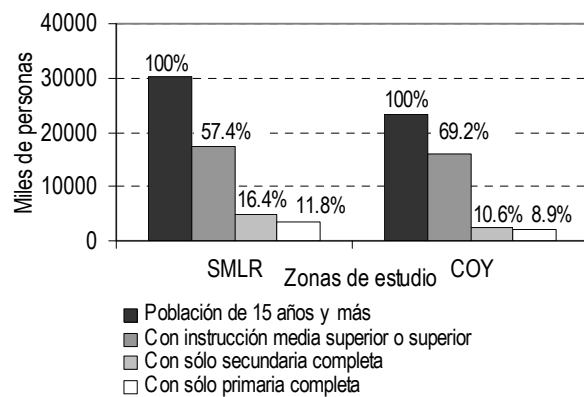


Figura 12. Distribución porcentual de la población con instrucción.

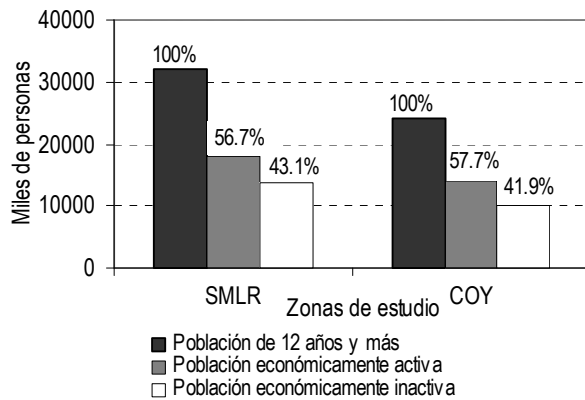


Figura 13. Distribución porcentual de la población económicamente activa e inactiva.

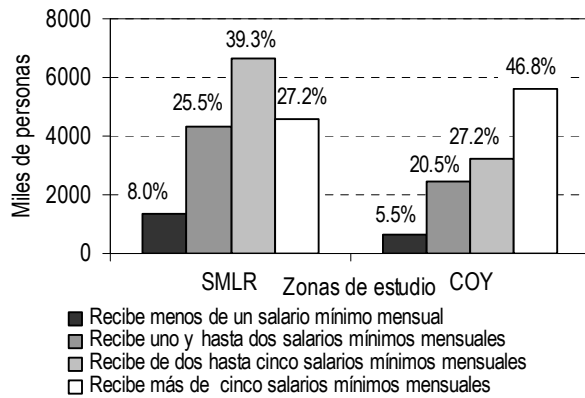


Figura 14. Distribución porcentual del número de salarios mínimos mensual que recibe la población.

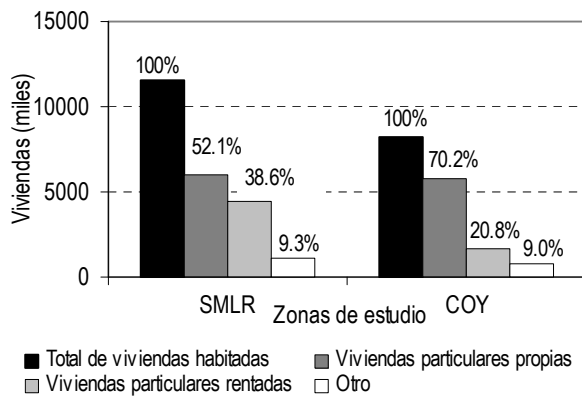


Figura 15. Distribución porcentual de viviendas particulares y rentadas.

Esta información muestra que la población de SMLR es más joven que la de Coyoacán, donde, menor número de personas habitan por hectárea, a diferencia de SMLR. El porcentaje de habitantes mayores de 15 años que tiene estudios de educación media superior o superior es mayor en Coyoacán que en SMLR. En este último sitio la mayoría de la población económicamente activa recibe un salario menor que los que habitan en Coyoacán. Además, aproximadamente tres cuartas partes de los residentes de Coyoacán viven en casa propia a diferencia de SMLR, donde la mitad tiene casa propia. Mayor número de viviendas en Coyoacán disponen de automóvil o camioneta propia que en SMLR.

5.2 Mediciones de ruido en espacios públicos abiertos

Se diseñó un plan para realizar las mediciones de ruido, con el propósito de documentar las condiciones bajo las cuales se llevarían a cabo éstas. El plan se elaboró con base en la guía ASTM Standard E 1779-96a (R 2004) Guide for Preparing a Measurement Plan for Conducting Outdoor Sound Measurements [4], y consta de los siguientes apartados:

1. Identificación de las fuentes de ruido.
2. Localización de los puntos de medición.
3. Alcance de la medición.
4. Fecha, horario y duración de la medición.
5. Características del equipo de medición.
6. Información de apoyo.
7. Procedimiento de campo.

A continuación, se explican estos siete apartados. Posteriormente, se describe el tipo de análisis que se realizó con los datos obtenidos de las mediciones.

1. Identificación de las fuentes de ruido

Las principales fuentes de ruido, que se identificaron antes de realizar el estudio, de forma empírica a través de visitas en los sitios de estudio, fueron las siguientes:

a) En las calles, la principal fuente de ruido identificada fue el transporte vehicular, debido al número de unidades que transitan por la ciudad y a las conductas de manejo. De acuerdo con datos del INEGI [5] y de la Secretaría de Transporte y Vialidad del Distrito Federal (SETRAVI) [6], el número de vehículos registrados en el Distrito Federal ha sufrido un notable incremento desde la década de 1960, como se observa en la figura 16. Los últimos registros publicados por la SETRAVI [6] mostraron que, en el año 2007, el total de vehículos fue de 3,330,321.

b) En las plazas se identificó que las principales fuentes de ruido son las mismas actividades recreativas y comerciales que se desarrollan en este tipo de espacios; por ejemplo la música de los grupos de danzantes que se ubican en el jardín del Centenario en Coyoacán (figura 17).



Figura 17. Grupo de danzantes en el jardín del Centenario en Coyoacán.

2. Localización de los puntos de medición

Para la caracterización sonora de las zonas de estudio, se eligió una muestra de puntos de medición, que se determinó considerando que ésta fuera representativa de la población de receptores del ruido (peatones), y no de la población de los niveles de ruido de las zonas de estudio. De esta forma se realizaron una serie de medidas (llamadas en adelante primeras mediciones) en calles y plazas de las zonas de estudio. Los resultados (en el caso de las calles) y el conocimiento del trabajo realizado en ciudades españolas para caracterizar el ruido en este tipo de espacios [7-9], determinaron la conveniencia de realizar mediciones en puntos adicionales (llamadas en adelante segundas mediciones).

La localización de los puntos, de las dos series de mediciones, se determinó de la siguiente forma.

Primeras mediciones

En cada zona de estudio, las primeras mediciones se realizaron en los siguientes sitios:

a) En las calles que limitan las zonas de estudio. Excepto en la que limita al norte SMLR por obras públicas, que impidieron la realización de mediciones en esa vialidad.

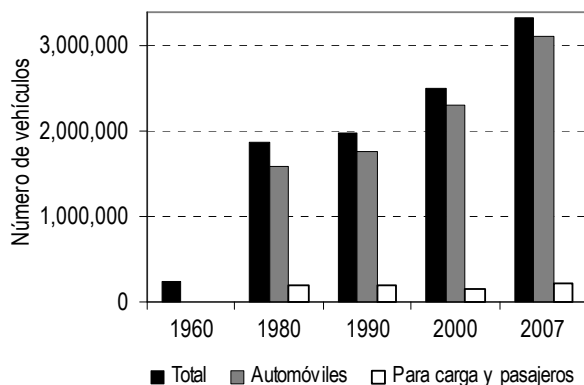


Figura 16. Número de vehículos registrados según su clase en el Distrito Federal.

b) En cinco calles internas elegidas por su importancia de uso y de comunicación del exterior de la zona con el área central del sitio (donde se ubica la plaza más representativa).

c) En la plaza más representativa de cada sitio, por ser los lugares donde se realizan mayor número de actividades recreativas.

En cada calle se eligieron dos puntos de medición que fueron seleccionados de la siguiente manera. La longitud de cada calle fue dividida en 10 secciones iguales, a cada una se le asignó un número, del 0 al 9. Entonces, con una tabla de números aleatorios, en cada calle se eligieron dos secciones, bajo las siguientes consideraciones: a) la segunda sección debería estar alejada de la anterior por lo menos dos

secciones y b) se descartarían las longitudes que correspondieran a los números 0 y 9, porque en éstas se tendría la contribución del ruido generado en dos vialidades. Dentro de cada tramo elegido se ubicó el punto exacto de la medición, considerando que éste no se ubicara cerca de intersecciones con vías secundarias. De esta forma, el total de puntos de medición en las calles de cada zona fue de 18 (figura 18, puntos 1 a 18).

En la plaza de cada zona, se distribuyeron cuatro puntos de medición (figura 18, puntos 19 a 22), su ubicación exacta se determinó considerando que fueran lugares de mayor tránsito o estancia de las personas.

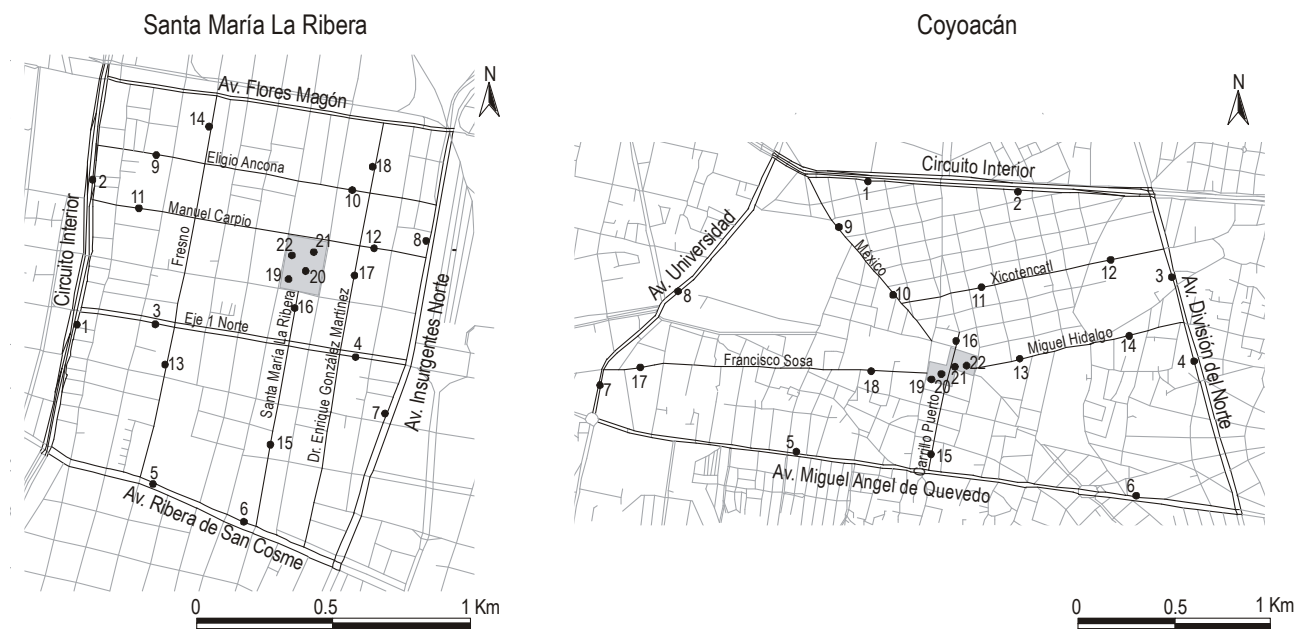


Figura 18. Localización, en los mapas de las zonas de estudio, de los puntos de la primera medición de ruido.

Segundas mediciones. Propuesta de categorización del sistema vial de la Ciudad de México

La metodología para la caracterización sonora de las zonas de estudio, se replanteó con ayuda del autor principal del método de categorización vial, probado recientemente en ciudades de España, Barrigón Morillas JM, et

al. [7-9]. Este método consiste en clasificar las calles de acuerdo con el uso para comunicar las diferentes zonas de una ciudad, donde está implícito (totalmente o en parte) el flujo vehicular, la velocidad, el tipo de transporte y el ancho de las calles. De esta forma es posible realizar una estimación de los niveles sonoros en los diferentes tipos de vialidades que se localizan en una ciudad.

Para lograr este propósito se realizó el siguiente trabajo:

- a) Estudio general del sistema vial de la ciudad.
- b) Propuesta de categorización vial.
- c) Identificación de la categoría vial de las calles de cada zona de estudio.
- d) Clasificación de las primeras mediciones, de acuerdo con la categorización vial propuesta.
- e) Identificación de las calles donde sería necesario hacer mediciones adicionales, para tener muestras en todas las categorías de vialidades propuestas previamente.

El estudio general del sistema vial de la ciudad se basó principalmente en dos análisis, uno realizado con información sobre la clasificación del sistema vial (documentos y planos) publicada por la SETRAVI [10-11] y por la Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal [12] y el otro basado en observaciones directas de características de funcionalidad de algunas vialidades de la ciudad (no incluido en el método de Morillas JM, *et al.* [7-9]).

La clasificación del sistema vial, que hacen dichas secretarías, consiste en ocho tipos de vialidades: cinco primarias, una secundaria, una terciaria y una peatonal (figura 19).

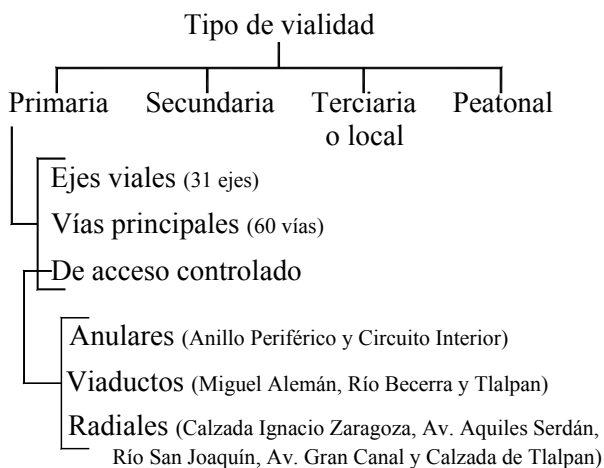


Figura 19. Clasificación del sistema vial de la Ciudad de México.

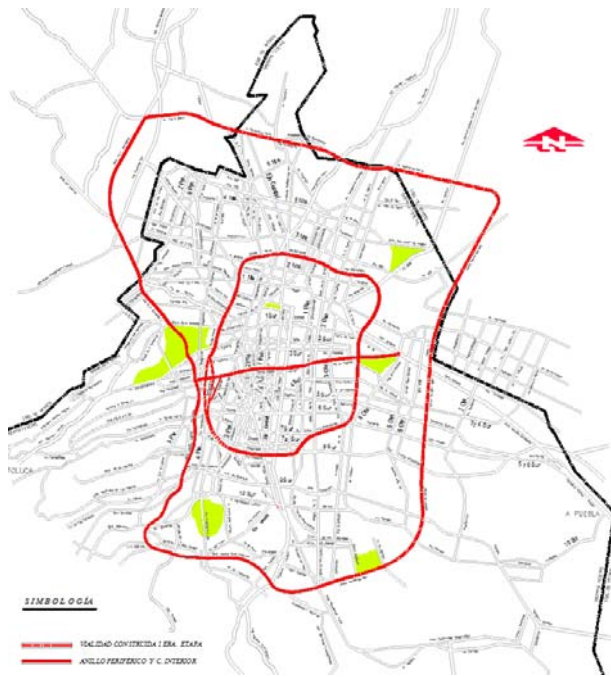
Las vialidades primarias indicadas en la figura 19 se muestran gráficamente en los mapas de la figura 20 [12].

Con la información de las secretarías mencionadas se analizaron las siguientes características físicas y de operación de los distintos tipos de vialidad primaria, para hacer la propuesta de categorización vial:

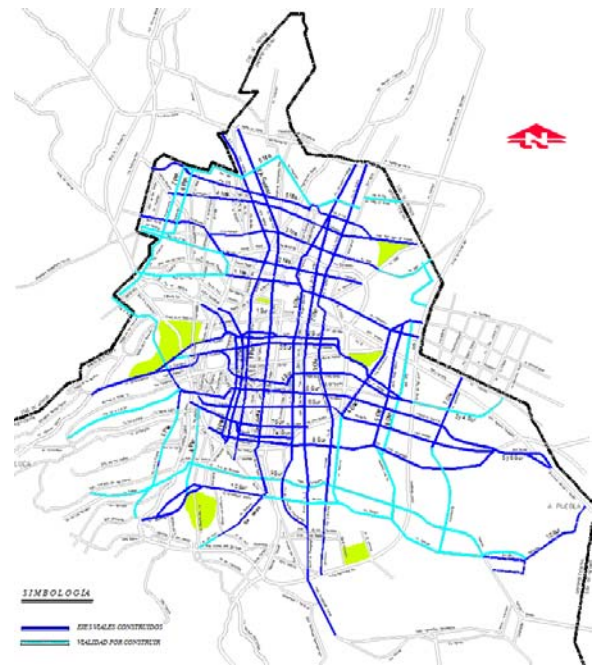
- Ubicación en el mapa de la ciudad.
- El tipo de trazo: circular, radial, retícula, etc.
- La longitud y el ancho.
- El tipo de tránsito: continuo o discontinuo.
- El número de carriles y sentidos de flujo vehicular.
- El tipo de división entre sentidos de flujo vehicular.
- El tipo de transporte permitido.
- El tipo de accesos: controlados o libres
- La velocidad en horas de mayor demanda.

Este análisis permitió determinar, de forma general, el uso que permiten estos tipos de vías en la conexión y comunicación de los puntos o núcleos que forman la ciudad.

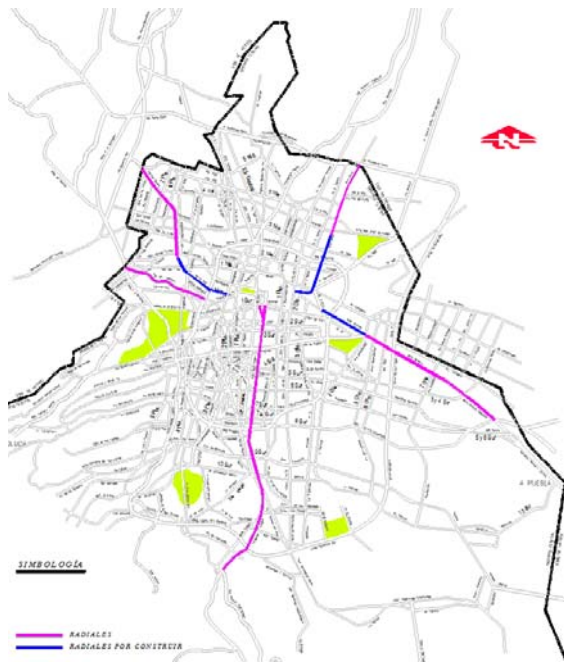
Se consideró interesante complementar este análisis con el estudio de otras características de funcionalidad del sistema vial de la ciudad de México. Para el estudio se eligieron algunas calles que fueran representativas de cada tipo de vialidades indicadas en la figura 19 (sin incluir vías peatonales), la elección de éstas se hizo por conveniencia y seguridad personal, considerando que la distancia para llegar a ellas no fuera grande. El estudio se realizó a través de observaciones directas de dos características de funcionalidad: la capacidad de *movilidad* de personas y mercancías y la *accesibilidad* a las distintas propiedades o usos del área colindante.



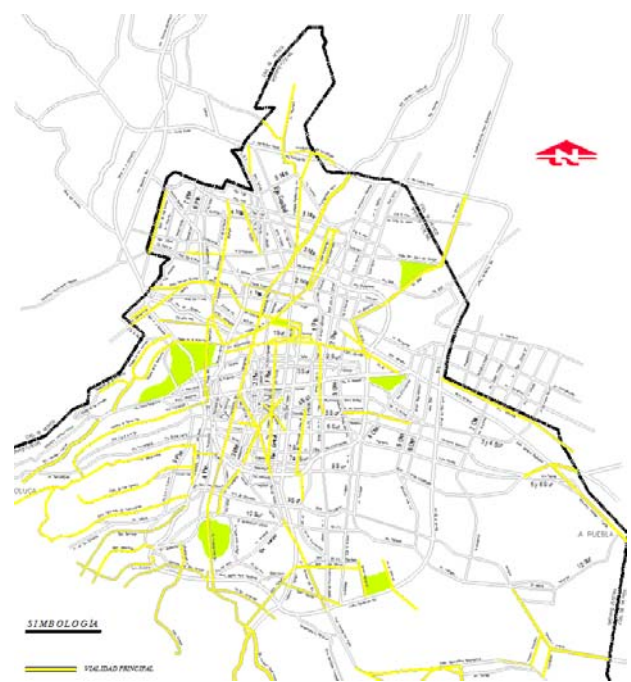
a



c



b



d

Figura 20. Vialidad primaria indicada en el mapa del Distrito Federal. a. Anillo periférico, Circuito Interior y Viaducto Miguel Alemán, b. Radiales, c. Ejes viales, d. Vialidades Principales.

El análisis de las características de *movilidad* y *accesibilidad* mostró que las vialidades estudiadas se adecuaban en los siguientes seis tipos de vialidades, T1: vías anulares, T-2: viaductos y radiales, T-3: ejes viales y vías principales, T-4: vías secundarias, T-5: vías locales con pequeño comercio, T-6: vías locales sin comercio. Esta clasificación se muestra en el esquema de la figura 21 [adecuado de 13].

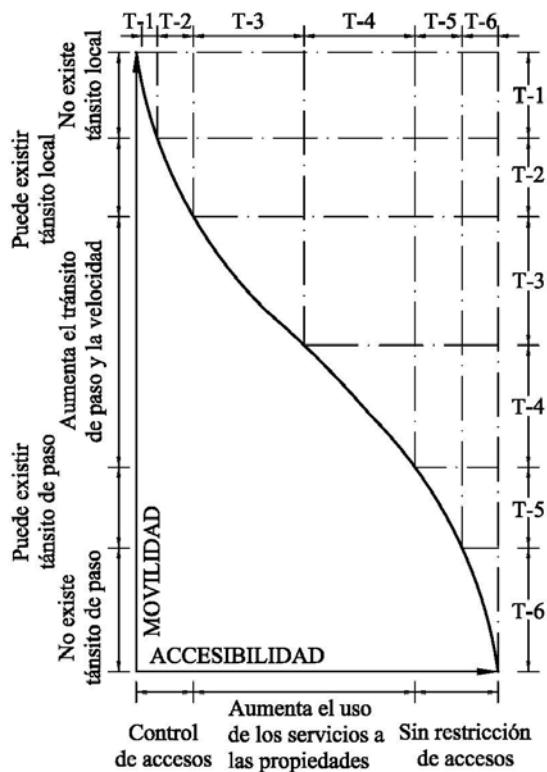


Figura 21. Esquema de movilidad y accesibilidad del sistema vial de la Ciudad de México. T1: Vías anulares, T-2: Viaductos y Radiales, T-3: Ejes viales y Vías Principales, T-4: Vías secundarias, T-5: Vías locales con pequeño comercio, T-6: Vías locales sin comercio. Nota: la movilidad y accesibilidad también puede ser representado con una línea recta.

En el esquema se muestran los grados de movilidad y accesibilidad de estos tipos de vialidades. En el extremo superior izquierdo se encuentran las calles de accesos controlados, que tienen alta movilidad y poco o nulo tránsito local y acceso a las edificaciones

laterales. En el extremo inferior derecho se encuentran las calles que no tienen accesos controlados, que proveen fácil acceso a las edificaciones laterales y que no son usadas por el tránsito de paso.

Con los resultados de los dos análisis mencionados se propuso la siguiente clasificación del sistema vial de la ciudad de México, que es comparable con la clasificación de Barrigón Morillas JM, *et al.* [7-9].

Tipo 1. Comprende las vías *anulares*, *viaductos* y *radiales*, cuya función es la conexión de diferentes puntos de la ciudad y en algunos casos, con las carreteras hacia otras ciudades. Son vías de acceso controlado, que satisfacen la demanda de movilidad continua de grandes volúmenes de tránsito. Generalmente no existe comunicación directa con las propiedades colindantes y el tránsito es principalmente de paso.

Tipo 2. Comprende los *ejes viales* y las *arterias principales*, cuya función es permitir la circulación hacia los cuatro puntos cardinales y entre diferentes áreas de la ciudad. Estas vías satisfacen la demanda de movilidad semi-continua de grandes volúmenes de tránsito. La mayoría de estas vías permiten la comunicación directa a las estaciones del Metro y a las propiedades colindantes, que generalmente es comercial. El tránsito es de paso y local.

Tipo 3. Comprende las vías *secundarias*, también llamadas *colectoras* porque su función es enlazar a los diferentes centros urbanos con la red vial primaria. Permiten el acceso directo a las propiedades colindantes. El tránsito es local y de paso. Son calles que pueden ser usadas cuando existe congestionamiento vial en las calles tipo 1 y 2.

Tipo 4. Comprende las vías *locales con pequeño comercio*, donde el uso del suelo es habitacional con pequeño comercio, permiten una comunicación con calles de este mismo

tipo y las vialidades de los tipos definidos previamente. Permiten el acceso directo a las propiedades residenciales y comerciales colindantes. El tránsito es principalmente local.

Tipo 5. Comprende vías *locales sin comercio*, donde el uso del suelo es exclusivamente habitacional. La estructura de estas calles no está diseñada para recibir tránsito intenso y pesado. Permiten el acceso directo a las propiedades residenciales colindantes. No existe tránsito de paso.

Con base en esta categorización vial propuesta se realizó la clasificación de cada calle de las dos zonas de estudio.

Finalmente se identificaron los puntos de las primeras mediciones, de acuerdo con el tipo de vialidad correspondiente (tabla 2). Se observó que para tener muestras en todas las categorías, solamente se requería hacer mediciones adicionales para el tipo de vialidad cinco. En SMLR las calles de este tipo son escasas, por lo que solamente se midió en dos puntos, en Coyoacán se eligieron 3 de estas calles por el

mayor número de éstas ubicadas en diferentes áreas de la zona. Aunque en la vialidad de tipo cuatro en Coyoacán se tenían datos en dos sitios, se consideró conveniente hacer mediciones en otros dos, para que el número de puntos de medida, comparado con SMLR, no fuera tan escaso.

La figura 22 muestra la localización de los puntos de la primera y segunda medición, indicados con los símbolos ● y ○ respectivamente.

Tabla 2. Puntos de medición correspondientes a cada tipo de vialidad.

Tipo de	Puntos 1a. medición		Puntos 2a. medición	
	SMLR	Coyoacán	SMLR	Coyoacán
T-1	1, 2	1, 2		
T-2	3, 4, 5, 6, 7, 8	3, 4, 5, 6, 7, 8		
T-3	9, 10, 15, 16	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16		
T-4	11, 12, 13, 14, 17, 18	17, 18		23, 24
T-5			23, 24	25, 26, 27

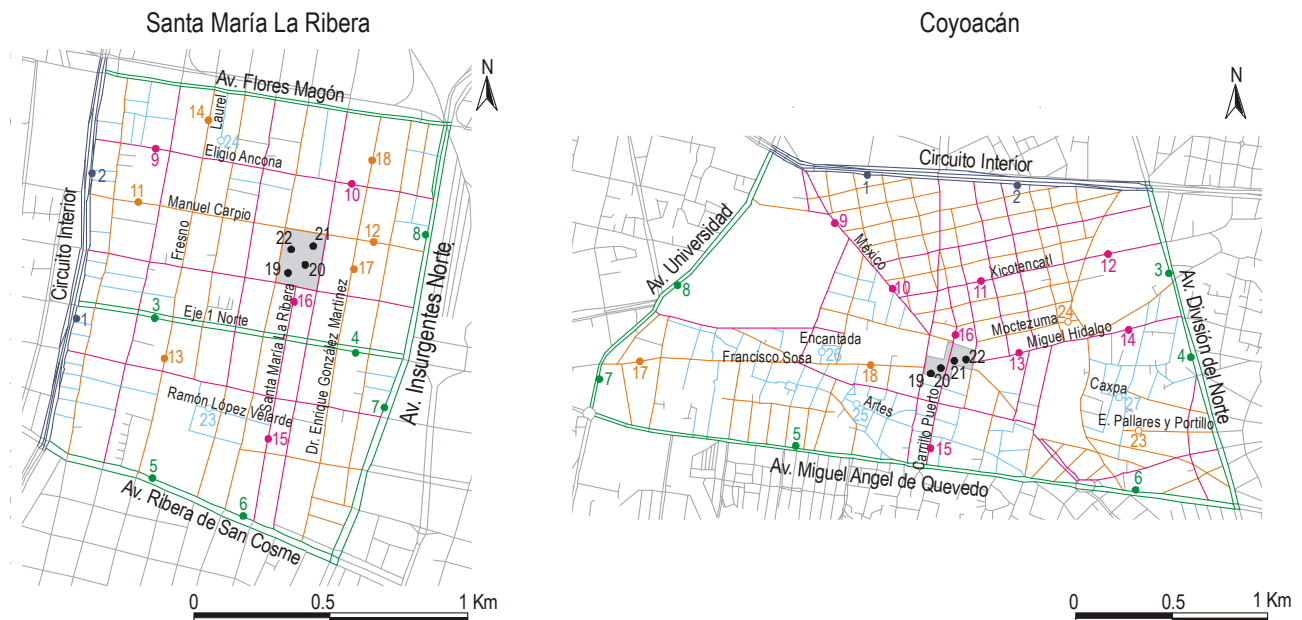


Figura 22. Localización de los puntos de la primera y segunda medición de ruido en las zonas de estudio. T-1 azul marino, T-2 verde, T-3 rosa, T-4 anaranjado y T-5 azul cielo (las calles cerradas a aquellos que no viven ahí, están marcadas en color gris).

3. Alcance de la medición

En cada punto de medición fueron registrados, para su análisis posterior, los siguientes índices de ruido. En las primeras mediciones se obtuvieron los índices Leq, Lmax, L10, L50, L90 y Lmin, en dBA. En estas mediciones también se obtuvieron los datos del Leq en las bandas de 1 octava con frecuencias centrales de 16, 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 Hz. En las segundas mediciones, debido al instrumento utilizado, solamente se registraron los índices Leq, L10, L50 y L90, en dBA.

En cada punto el tiempo de la medición se estimó con base en los estándares ASTM E-1686-03[14] y ANSI S12.18-1994 [15] y en el trabajo de algunos autores [7-9, 16-19]. El primer estándar recomienda como tiempo mínimo de muestreo 10 minutos. El segundo recomienda un tiempo de muestreo, para ruido continuo fluctuante de 5 y 15 minutos, respectivamente cuando el rango es menor de 10 dB y cuando está entre 10 y 30 dB.

Para estimar el rango de los niveles de ruido que podría encontrarse en las vialidades de estudio, se tomaron como referencia los datos de una medición de ruido de tráfico realizada en una vialidad primaria de la Delegación Coyoacán en el D.F. En ésta, el rango fue de 28 dBA; lo que indica, de acuerdo con ANSI S12.18-1994, que la medición debería realizarse durante 15 minutos.

Los autores citados, han realizado mediciones de ruido ambiental durante un tiempo de muestreo de 10 [16,17], 15 [7-9,18] y 20 [19] minutos cada hora.

Por razones prácticas y de tiempo, se determinó que el tiempo de cada medición sería de 10 minutos cada hora, lo cual concuerda con el tiempo mínimo recomendado en el estándar ASTM E-1686-03 y con los autores [16,17].

4. Fecha y horario de la medición

Las primeras mediciones se realizaron durante el mes de febrero de 2007. Éstas, en las vialidades, se llevaron a cabo en días laborales de lunes a jueves; el día viernes se ha excluido porque este día merece un estudio específico, que está fuera del alcance de este trabajo, al cambiar notablemente el flujo vehicular. En las plazas, las mediciones se hicieron en fines de semana, porque es cuando en estos sitios se concentra mayor número de personas.

Las segundas mediciones se realizaron en el mes de septiembre y octubre de 2008. Se obtuvieron los niveles sonoros hora a hora, en un periodo diurno. El tiempo de este periodo fue establecido bajo el siguiente criterio.

Aunque la OMS [20] y la Comunidad Europea [21] han recomendado que el periodo diurno comprenda de 12 a 16 horas y de 12 horas respectivamente (por ejemplo, de las 7:00 a las 19:00 [21]), estos organismos también han señalado que este periodo depende principalmente de los hábitos sociales de la población [20], permitiendo que cada país elija el inicio del periodo diurno [21].

En este trabajo, el periodo de medición se limitó a 8 horas en las vialidades (de 9:00 a 16:00 horas) y a 6 horas en las plazas (de 12:00 a 17:00), por dos razones:

(1) Se consideró que en estos periodos, tanto en las vialidades como en las plazas, se encontraría mayor número de peatones, (sujetos de interés para el trabajo de investigación).

(2) En el caso de las vialidades, considerando que el tráfico vehicular es la principal fuente de ruido, no existe una diferencia importante en el nivel de ruido generado horas antes y después del periodo elegido (de 9:00 a 16:00 horas). Lo cual se verificó, en tres casos de vialidades primarias de la Ciudad de México, de la siguiente forma.

Con los datos del volumen vehicular registrados en días laborables (tabla 3) [10], se determinó (ver ejemplo abajo) que en los tres casos: a) entre el valor de las 7:00 y el de las 9:00 horas y b) entre el valor de las 16:00 y el de las 19:00 horas, la energía sonora de la diferencia del número de vehículos entre estas horas, implica un incremento o decremento, en el valor del nivel de presión sonora, menor a 1dB.

Ejemplo: Calzada de Tlalpan

7 horas: 2990 vehículos = energía sonora E_1

9 horas: 2397 vehículos = energía sonora E_2

A las 7 horas existe un 20% más de vehículos que a las 9 horas. Es decir que la energía sonora a las 7 horas es: $E_1 + 0.20 E_1$

De la ecuación 4 mostrada en el capítulo 1:

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{P_{ref}} \right) \Rightarrow L_p = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{E_1}{E_{ref}} \right)$$

donde:

L_p = nivel de presión sonora a las 7 : 00 en dB

E_1 = energía sonora a las 7 : 00

≈ presión sonora efectiva conocida en Pa

E_{ref} = energía sonora de referencia

≈ presión sonora de referencia = 20 μ Pa

Entonces:

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{E_1 + 0.20E_1}{E_{ref}} \right)$$

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{E_1}{E_{ref}} (1 + 0.20) \right]$$

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \frac{E_1}{E_{ref}} + 10 \cdot \log_{10} (1.20)$$

$$L_p = L_{p1} + 0.79 \text{ dB}$$

El nivel de presión sonora a las 7 horas es aproximadamente 1dB mayor al nivel de presión sonora de las 9 horas.

Posteriormente se verificó en campo, que la diferencia entre el nivel de ruido generado horas antes y después del periodo de medición elegido, no es importante. Los resultados de una medición realizada en el punto 6 de Coyoacán (figura 22), mostraron que la diferencia entre el nivel sonoro del periodo de 7:00 a 18:00 horas y el de 9:00 a 16:00 horas es de tan sólo un decibel, pues se registró un Leq de 71.5 y 70.5 dBA respectivamente.

Tabla 3. Volumen vehicular por hora en 3 vías primarias de la Ciudad de México.

Hora	Volumen vehicular por hora		
	Insurgentes Sur	Calzada de Tlalpan	Eje 2 Norte
7:00	2354	2990	1875
9:00	2168	2397	1912
Diferencia	186	593	37
16:00	2205	1630	1650
19:00	2158	1575	1665
Diferencia	47	55	15

Resumiendo, se realizaron mediciones durante 10 minutos cada hora de los periodos de medición mencionados. Las lecturas de las medidas se registraron cada segundo. Por lo tanto, el total de muestras por punto de medición fue de 4800 en las calles y 3600 en plazas.

5. Características del equipo de medición

Las primeras mediciones se realizaron con un sonómetro integrador tipo 2, analizador en tiempo real en 1/1 octavas, marca Quest modelo SoundPro Data Logger Clase 2 (SP-DL-2-1/1). Por fallas en este equipo, los registros de las segundas mediciones se hicieron con un sonómetro integrador tipo 2 marca EXTECH, modelo 407780. En ambos casos las lecturas se tomaron con ponderación temporal *fast*.

Los datos, en las dos series de mediciones, se almacenaron automáticamente en la tarjeta de memoria del sonómetro; posteriormente se transfirieron a una computadora para su análisis.

6. Información de apoyo

La información de apoyo que se obtuvo al realizar las mediciones, fue la siguiente:

- a) Datos para el control de la medición: ubicación del punto de medición (zona, calle), fecha, hora, número del punto de medición (de acuerdo con los planos de la figura 22) y clave del registro de la medida.
- b) La presencia de factores que pudieran afectar la medición: ruidos intrusivos (conversaciones, niños jugando, perros, vehículos de emergencia, eventos deportivos, música, alarma, entre otros), interferencias (por superficies u objetos temporales) y las condiciones del piso (seco, húmedo o mojado).
- c) Aspectos físicos y de funcionalidad de las vialidades: ancho de la vialidad, el perfil de la vialidad, número de sentidos, semáforos, paradas de transporte público, entre otros.
- d) Aspectos físicos del entorno cercano, materiales de construcción, número de niveles de las edificaciones, tipo de pavimento y presencia de vegetación.
- e) Observaciones relevantes de sucesos impredecibles que pudieran afectar la medición.
- f) Aforo vehicular. El número de vehículos se registró de acuerdo con la clasificación de ligeros, pesados y motocicletas, que el INEGI define de la siguiente forma [22]:

- Carros ligeros. Comprende los automóviles o vehículos, destinados al transporte de personas, que tengan hasta siete asientos (incluyendo el del conductor). En esta categoría se incluye los convertibles, jeep, limousine, sedán, sport, vagoneta, van, entre otros que cumplan con las características descritas anteriormente.

- Carros pesados. Comprende los camiones para pasajeros y carga. Los primeros comprenden: los autobuses urbanos y suburbanos, microbuses, camiones escolares, camionetas pick-up, ómnibus y, en general, los vehículos con más de 20 asientos, destinados al transporte público o privado de personas. Los segundos incluyen los vehículos de tracción diseñados para el remolque, por ejemplo: tráiler, auto-tanques, cabinas, pipas, redilas, volteo y grúas.

- Motocicletas. Vehículo automotor de dos o tres ruedas, cuyo peso no excede los 400 kg, incluye triciclos y motonetas.

Esta información de apoyo se registró en la llamada *hoja de datos de apoyo para la medición del ruido*, que se muestra en el anexo B.

7. Procedimiento de campo

En cada zona de estudio, se agruparon puntos de medición cercanos entre sí, para realizar el registro de los niveles sonoros en éstos durante el mismo día. Dependiendo de la distancia entre ellos, y del tiempo que se requería para trasladarse de uno a otro, se agruparon de 2 hasta 4 puntos para poder medir el ruido en cada uno de ellos durante 10 minutos a cada hora. Cuando se encontraron circunstancias anómalas, como festividades, un percance vial, marchas o mítines, en algún punto de medición, se midió ese día en otro punto cercano, donde tales circunstancias no afectarían.

En cada punto de medición el procedimiento para realizar la medición fue el siguiente:

- a) El sonómetro se colocó en un tripié, a una distancia, del suelo y de la fachada de la edificación más cercana, de 1.50 m, como se indica en la figura 23. El tripié se ubicó sobre una superficie representativa del área.

- b) El sonómetro se colocó lejos de superficies acústicamente reflejantes, cuya presencia no era normal en el sitio de medición.

c) Se evitó ubicar el sonómetro cerca de líneas de transmisión de alto voltaje o señales intensas de radio o televisión, para no afectar el funcionamiento de los circuitos electrónicos del instrumento y producir valores erróneos.

d) En el micrófono del sonómetro se colocó una pantalla de viento, para reducir el efecto de éste en la medición.

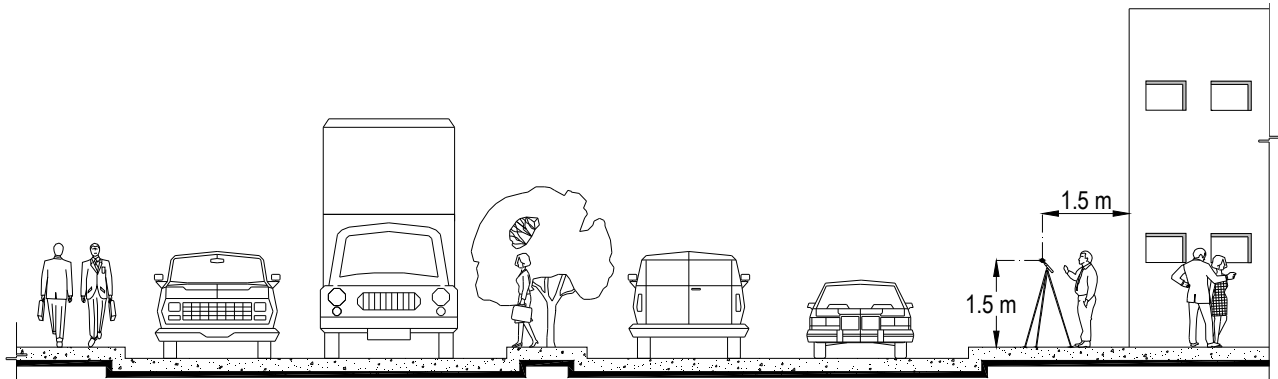


Figura 23. Esquema de la ubicación del sonómetro para realizar las mediciones de ruido en vialidades.

8. Análisis de los datos

El análisis de los datos obtenidos de las mediciones fue el siguiente:

a) En las plazas:

- Descripción de la distribución porcentual de los valores Leq de las muestras registradas.
- Análisis de la variación temporal, durante el periodo de medición, de los valores de los índices de ruido: Leq , L_{max} , L_{10} , L_{50} , L_{90} y L_{min} .
- Análisis de la variación espacial de los valores de los índices de ruido mencionados en el punto anterior y de la media aritmética de los valores Leq .
- Evaluación de la forma de los espectros sonoros para entender la estructura del ruido en este tipo de espacio público abierto.

b) En las calles:

- Estudio de la influencia del flujo vehicular en el nivel sonoro (Leq).
- Descripción de la distribución porcentual de los valores Leq de las muestras registradas en

los diferentes tipos de vialidades en cada zona de estudio y del conjunto de datos de éstas.

- Análisis de la variación temporal, durante el periodo de medición, de los valores de los índices de ruido: Leq , Leq_{max} , Leq_{min} , L_{10} , L_{50} y L_{90} , medidos en cada tipo de vialidad en las dos zonas de estudio.
- Análisis de la variación espacial de los valores de los índices de ruido mencionados en el punto anterior y de la media aritmética de los valores Leq , registrados en los cinco tipos de vialidades, en cada zona de estudio y en las dos zonas en conjunto.
- Estudio de la categorización del sistema vial propuesto para determinar la significancia de las diferencias entre las categorías y confirmar que el uso de este método es adecuado para estudiar el ruido urbano producido por el transporte vehicular.
- Evaluación de la forma de los espectros sonoros para entender la estructura del ruido en los diferentes tipos de vialidades.
- Comparación de los niveles de ruido obtenidos (Leq) con los resultados de estudios realizados en otros países.

5.3 Estudio social en calles de las zonas de estudio

El estudio social consistió en el diseño y aplicación de una encuesta, para evaluar el impacto que tiene el ruido, que perciben en las calles los peatones. La descripción del estudio se hace en los siguientes apartados:

1. Naturaleza de la información
2. Tipo de cuestionario
3. Estudio piloto
4. Estudio en extenso

A continuación se explican estos cuatro apartados. Posteriormente se describe el tipo de análisis que se realizó con los datos obtenidos de las encuestas.

1. Naturaleza de la información

La encuesta se diseñó tomando como referencia a) la literatura que se ha publicado sobre los efectos del ruido en la comunidad y las variables, acústicas y no acústicas, que influyen en tales efectos (ver capítulo 2 y 3) y b) estudios sociales sobre el impacto del ruido urbano [por ejemplo 23-28].

Aunque la mayoría de los estudios citados han sido enfocados en ambientes habitacionales, se consideró que podían servir de referencia para el diseño del estudio de los espacios públicos abiertos.

El cuestionario se diseñó para obtener información sobre los siguientes aspectos:

- El estatus residencial del encuestado (vive o no vive en el sitio).
- La satisfacción con características del entorno.
- Características del entorno más importantes para mejorar la zona.
- El gusto por la calle y zona de estudio.

- La actividad del peatón en la calle.
- Influencia del ruido en la decisión de no realizar actividades en la calle.
- Creencia sobre la afectación de la salud por el ruido.
- Distracción o perturbación que causa el ruido.
- Creencia sobre la resolución del problema del ruido.
- Creencia sobre el interés de las autoridades en el problema del ruido.
- Estrategias para enfrentar el ruido.
- La percepción del nivel de ruido en la vivienda y en la calle.
- Efectos negativos provocados por el ruido.
- Creencias relacionadas con el ruido.
- La percepción del nivel de ruido.
- La molestia producida por diversas fuentes de ruido y por el ruido percibido en la calle en el momento de aplicar la encuesta.
- Aspectos demográficos de los encuestados (nivel de estudios, sexo y edad).
- Registro del nivel de ruido medido en el momento de aplicar la encuesta y de las fuentes sonoras presentes en el sitio.

2. Tipo de cuestionario

Las preguntas que forman el cuestionario son cerradas y están dirigidas a las personas que transitan por las calles, éstas pueden ser personas que viven en la zona de estudio o que no viven en ella; pero que, por algún motivo (compras, trabajo, estudio, etc.), están caminando por el sitio.

El número de preguntas de la encuesta (sin incluir los datos demográficos) fue de 16. Éstas se evaluaron con alguno de los siguientes tipos de escala de respuesta:

- a) Dicotómica (una).

b) Opción múltiple (tres).

c) Verbal de 5 categorías: muy fácil, fácil, regular, difícil y muy difícil (una).

d) Numérica de 11 categorías (0-10) con palabras asociadas al inicio y al final de la escala, que expresan sensaciones extremas de ausencia y abundancia de *algo* (figura 24). Al número 0 se relaciona con la palabra *nada* y al número 10 con *muchísimo*. Visualmente el tamaño de los números incrementa desde 0 hasta 10, ayudando con esto a reforzar la expresión de sensaciones extremas.

Nota: con la escala numérica, en unos casos se evalúan conceptos positivos (por ejemplo: el gusto por la zona de estudio) y en otros negativos (por ejemplo: la molestia provocada por el ruido).

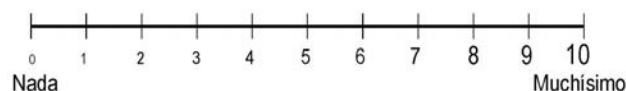


Figura 24. Escala numérica de 11 categorías.

La escala numérica de 11 categorías descrita se utilizó porque se consideró que, para los encuestados, sería fácil su utilización, debido a que es la misma escala que se emplea en el sistema escolar para evaluar los conocimientos. Además, un estudio previo sobre la molestia provocada por ruido en salones de clase [29] mostró que las palabras asociadas a la escala eran adecuadas para expresar dichas sensaciones extremas de ausencia y abundancia de *algo*. Aunado a esto, el uso de esta escala está de acuerdo con las recomendaciones hechas por The International Commission on the Biological Effects of Noise (ICBEN) para facilitar comparaciones entre estudios internacionales [30].

Durante la encuesta, cuando se requería que los encuestados dieran evaluaciones con la escala numérica, se les mostraba una tarjeta con la representación de ésta (figura 24).

3. Estudio piloto

Una vez elaborado el cuestionario, se hizo una valoración del mismo a través de una prueba piloto dirigida a una muestra pequeña. Con el propósito de verificar si el cuestionario cumplía con los objetivos de la investigación, se analizó si:

- Eran necesarias todas las preguntas.
- El encuestado entendía todas las preguntas.
- La secuencia de las preguntas era correcta.
- El cuestionario era fluido.
- El cuestionario era de una extensión razonable.

Sitios donde se realizó la prueba piloto

La prueba piloto se aplicó en una calle de tipo 2 y en una de tipo 3 (ver arriba categorización del sistema vial de la ciudad), en las dos zonas de estudio. Se eligieron estos tipos de calles porque en éstos es donde transita mayor número de peatones. En adelante, estas calles serán identificadas como primarias (tipo 2) y secundarias (tipo 3).

De cada tipo de calle, se eligieron aquellas que tuvieran el mayor número de similitudes en las dos zonas de estudio, con el propósito de que un menor número de variables del entorno afectaran las respuestas de los encuestados. Las características en común que tienen estas calles son las siguientes:

- El tipo de transporte público que transita por ellas.
- La altura de las edificaciones. Las edificaciones cercanas al punto donde se aplicó la encuesta tienen hasta cinco niveles en las calles primarias y de dos a tres niveles en las calles secundarias.
- Las áreas verdes. Junto a los puntos ubicados en calles primarias, donde se aplicaron las encuestas, existen importantes áreas de vegetación. En las banquetas de las calles

secundarias también existe vegetación (figura 25).

- En las calles primarias se encuentra una estación de metro cerca del sitio donde se aplicaron las encuestas. En SMLR la estación Ribera de San Cosme, de la línea 2, y en Coyoacán la estación Viveros, de la línea 3.
- Las calles secundarias conducen directamente al centro de cada zona de estudio.

Los sitios donde se aplicaron las encuestas fueron identificados como SMLR-1, SMLR-2, COY-1 y COY-2. Las letras define la zona de estudio y el número indica el tipo de vialidad, el 1 corresponde a vialidad primaria (figura 25 a y c) y el 2 a vialidad secundaria (figura 25 b

y d). Los sitios SMLR-1 y SMLR-2, se localizan en la colonia Santa María La Ribera, en la avenida Ribera de San Cosme y en la calle Santa María La Ribera, respectivamente. Los sitios COY-1 y COY-2 se ubican en Coyoacán, en la avenida Universidad y en la calle Carrillo Puerto, respectivamente.

En estas calles, el sitio exacto para aplicar las encuestas se ubicó cerca de uno de los puntos donde se midió el ruido previamente (primeras mediciones). Los sitios SMLR-1 y SMLR-2 se localizaron cerca de los puntos de medición 6 y 15, respectivamente, y los sitios COY-1 y COY-2 cerca de los puntos 8 y 15, respectivamente (figura 22).

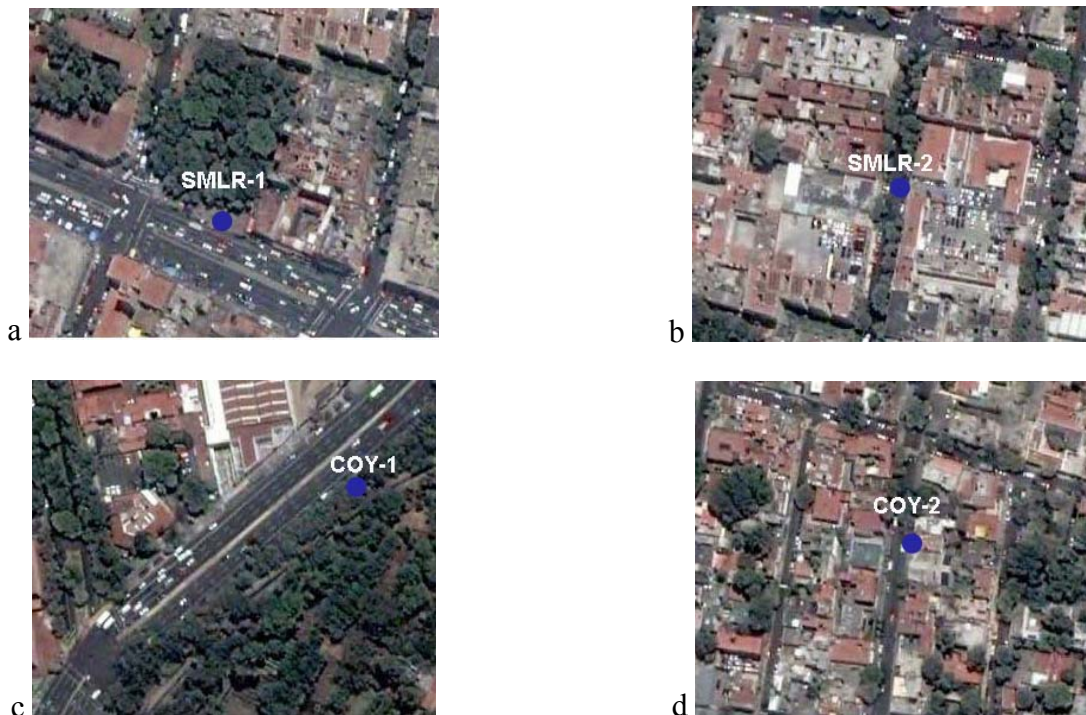


Figura 25. Vista aérea de los sitios donde se aplicaron las encuestas.

Fecha de realización del estudio piloto

El estudio se llevó a cabo durante el mes de febrero de 2008 en días laborables, de lunes a jueves, entre las 9:00 y las 16:00 horas. Con un total de 136 encuestas, 34 en cada sitio de estudio.

La encuesta se aplicó personalmente a transeúntes elegidos al azar. A quienes se presentó la encuesta como un trabajo de investigación de la Universidad Nacional Autónoma de México sobre problemas ambientales en la zona. Los que accedieron a contestar tomaron la decisión de participar sin

conocer que se les harían preguntas sobre el ruido. El cuestionario fue contestado en 10 minutos en promedio.

Resultados del estudio piloto

El estudio piloto permitió detectar que el cuestionario no respondía totalmente a los objetivos de la investigación, porque tenía los siguientes defectos de contenido y forma:

- En SMLR, los encuestados identificaban bien los límites de la zona de estudio porque se trata de una sola colonia. Sin embargo, en Coyoacán, las personas, al responder, se enfocaban en un sitio que podía estar fuera de la zona de estudio, pero pertenecer a la misma delegación.
- El encuestado no entendió todas las preguntas porque, en unos casos, no eran concretas; en otros, no se expresaban de forma clara y, a veces, las alternativas de respuestas eran demasiado exhaustivas o similares.
- En algún momento de la encuesta algunas personas decían que ya se les había hecho tal pregunta.
- El uso de la escala numérica de evaluación fue fácil solamente en los casos donde las personas tenían una opinión muy clara de aprobación o reprobación, con calificación de 10 ó 0, respectivamente; en otros casos fue confusa.
- El cuestionario no era fluido porque la secuencia de las preguntas no era la correcta; además, aquellas preguntas que no eran entendidas se tenían que repetir, por lo que la obtención de la información se hacía lenta.
- Para algunas personas el cuestionario resultó muy extenso y querían acabar la encuesta sin terminar de responder a todas las preguntas.
- La agrupación de las preguntas, en algunos casos, resultó inadecuada para realizar el análisis de los datos y la descripción de los resultados de forma clara y ordenada.
- El uso de dos escalas, una verbal y otra numérica dificultó el análisis de los datos.
- La escala numérica tuvo los siguientes inconvenientes. En el caso de estudio piloto, en el que el número de encuestas fue relativamente pequeño en cada sitio de estudio (34), el uso de la escala numérica de 11 categorías no permitió una explicación sencilla y clara de la distribución de las respuestas en las distintas categorías de la escala, por ello se le tuvo que asociar una escala equivalente verbal de 5 categorías. La relación entre la escala *numérica* y la *verbal*, para las preguntas de la encuesta mostraron coeficientes de correlación de Spearman de 0.97 en promedio ($p < 0.0001$). Esto indicó que la escala *verbal* podía explicar en promedio el 94% de la variabilidad de la escala *numérica*, lo cual se tomó como aceptable para la conversión de la escala.

Además, no fue posible hacer un análisis bivariado, a través de la prueba Ji^2 (tablas de contingencia), debido a que no se cumplía con la regla que solamente permite que el 20% de las frecuencias esperadas sean menores que 5. Se trató de realizar la prueba con los datos convertidos a la escala verbal de 5 categorías; sin embargo, en algunos casos, se siguió observando el mismo inconveniente. Por esta razón se procedió a analizar las relaciones entre dos variables categóricas a través del coeficiente de correlación de Spearman.

Debido a las fallas de la encuesta antes mencionadas, tuvo que ser modificada, como se describe abajo, con el propósito de que permitiera una aplicación más fácil a los encuestados y una mejor descripción y explicación de los conceptos evaluados.

- Se incluye el nombre de la colonia, y una breve descripción de los límites de la zona de estudio, para que las personas encuestadas enfoquen su atención en ésta y califiquen con mayor precisión el entorno a evaluar.

- La encuesta fue reestructurada, las preguntas fueron agrupada en secciones de acuerdo con los conceptos que se pretendían evaluar. Se asignó un nombre a cada sección, que hace referencia de manera precisa a dichos conceptos.
- La revisión del contenido de la encuesta condujo, según el caso, a eliminar, agrupar o agregar preguntas e incluir otras opciones de respuestas.
- La revisión de la redacción de las preguntas y respuestas mostró que, según el caso, era necesario que la pregunta fuera más concreta, se expresara de forma más clara, que no tuviera varias interpretaciones o que las alternativas de respuestas no fueran demasiado exhaustivas y similares.
- A la escala numérica se le asoció una escala verbal de cinco categorías, que permitiera a los encuestados mayor claridad y facilidad para expresar una evaluación. La escala verbal se ajustó a la numérica de acuerdo con los siguientes puntos de corte: $0 + 1 = \text{nada}$, $2 + 3 = \text{poco}$, $4 + 5 + 6 = \text{regular}$, $7 + 8 = \text{bastante}$ y $9 + 10 = \text{muchísimo}$. Ambas escalas se presentan en la figura 26.

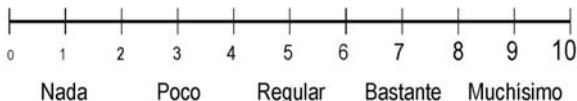


Figura 26. Escala numérica de 11 categorías con escala verbal de 5 categorías asociada.

El cuestionario rediseñado se presenta en el anexo C. Los cambios en éste permitieron que el tiempo para contestarlo se redujera a 5 minutos, en promedio.

4. Estudio en extenso

El cuestionario rediseñado permite obtener información sobre los mismos aspectos mencionados en el apartado de naturaleza de la información. Sin embargo, éstos, se agruparon en las siguientes secciones:

1. Aspectos afectivos.
2. Actividad peatonal.
3. Efectos provocados por el ruido.
4. Creencias relacionadas con el ruido y estrategias para afrontarlo.
5. Percepción del ruido y molestia provocada por el ruido.
6. Información demográfica de los encuestados.
7. Información objetiva del ruido.

En las 5 primeras secciones se distribuyeron 13 preguntas (con subpreguntas en unos casos). En la sexta sección se obtienen los aspectos demográficos de los encuestados: nivel de estudios, el sexo y la edad. La última sección se destinó para el registro del nivel de presión sonora equivalente, medido durante un minuto en el momento de aplicar la encuesta y para el registro de las fuentes sonoras presentes en el sitio.

A continuación se hace una descripción de las cinco primeras secciones mencionadas.

- La primera sección de la encuesta, *aspectos afectivos*, contiene un conjunto de preguntas para:

a) Conocer el estatus residencial de los encuestados, si viven o no en la zona de estudio.

b) Evaluar la satisfacción con las siguientes características de la zona: la limpieza de las calles, la calidad del aire, la seguridad ciudadana, el ruido durante el día, los olores, la conservación de las banquetas, la libertad para caminar en las banquetas y la estética del entorno.

c) Conocer la opinión sobre las dos características del entorno (de las mencionadas anteriormente) más importantes para mejorar la zona.

d) Conocer el gusto por la zona de estudio, en general, y por la calle donde se aplica la encuesta, en particular.

- En la segunda sección del cuestionario, *actividad peatonal*, se obtiene información sobre el motivo por el cual la persona está caminando por esa calle: compras, trabajo, estudio, trámites personales, paseo o ejercicio, para tomar otro medio de transporte, u otro.

- La tercera sección, *efectos provocados por el ruido*, incluye preguntas para conocer la influencia que tiene el ruido percibido en las calles en:

a) Dos tipos de actividades: (1) no salir a la calle para dar un paseo y (2) no caminar como medio de transporte.

b) Tres clases de distracción o perturbación: (1) distracción de los pensamientos, (2) distracción de la conversación y (3) distracción de la atención visual.

c) Tres tipos de sentimientos o sensaciones: (1) irritabilidad, (2) sobresalto y (3) molestia en los oídos.

- La cuarta sección, *creencias relacionadas con el ruido y estrategias para afrontarlo*, incluye preguntas para evaluar:

a) Cuatro creencias relacionadas con el ruido: (1) afectación de la salud, (2) si el ruido es un problema de contaminación, (3) si el ruido es un asunto complejo de resolver y (4) si el ruido es un tema importante para las autoridades.

b) Seis estrategias utilizadas por las personas para enfrentar el ruido de las calles: (1) tratar de no poner atención, (2) realizar una queja ante las autoridades, (3) caminar más de prisa, (4) pensar que hay problemas peores en la ciudad, (5) acostumbrarse y (6) evitar los sitios ruidosos.

- La cuarta sección, *percepción del ruido y molestia provocada por el ruido*, contiene preguntas para evaluar:

a) El nivel de ruido que perciben las personas en *la ciudad*, en *la zona de estudio*, en *la calle de estudio* y en *la vivienda*.

b) La molestia provocada por el ruido en dos situaciones: (1) considerando las últimas veces que se ha transitado por el sitio de estudio, se evalúa la molestia ocasionada por ocho fuentes de ruido (identificadas como fuentes sonoras aisladas) presentes en la calle donde se aplicó la encuesta: las motocicletas, los vehículos particulares, las voces, el transporte público, la música de establecimientos cercanos, los vendedores ambulantes, las sirenas de vehículos de emergencia y los claxonazos y (2) considerando un momento durante la aplicación de la encuesta, se evalúa la molestia ocasionada por el ruido en general. En cada encuesta, antes de evaluar este último aspecto, se midió durante un minuto el nivel de presión sonora equivalente.

Para el estudio en extenso, el tamaño de la muestra se determinó con base en las sugerencias de Cohen [Citado en 31]. De acuerdo con este autor, para hacer inferencia estadística de una muestra, los estudios deben diseñarse para conseguir niveles de alfa (error Tipo I: probabilidad de que la prueba muestre significación estadística cuando en realidad no está presente) de al menos 0.05 con niveles de potencia (probabilidad de que la inferencia estadística se indique cuando esté presente) de al menos 80 por ciento y considerar un efecto tamaño (por ejemplo, la diferencia de medias entre dos grupos) adecuado, que puede estar entre 0.2 y 0.5 (el efecto tamaño de 0.5 indica que la diferencia de medias entre dos grupos es la mitad de la desviación estándar).

La figura 27 [32] permite determinar el tamaño de la muestra por grupo para una potencia establecida, un efecto tamaño de 0.35 y niveles de significación de 0.01, 0.05 y 0.10.

Para este estudio se especificó un nivel de significación de 0.05, una potencia de 0.85 y un efecto tamaño de 0.35. De la figura 27, se determina que el tamaño de la muestra debería ser de 150. En cada uno de los cuatro sitios de estudio se realizó este número de encuestas, lo que dio un total de 600 encuestas aplicadas.

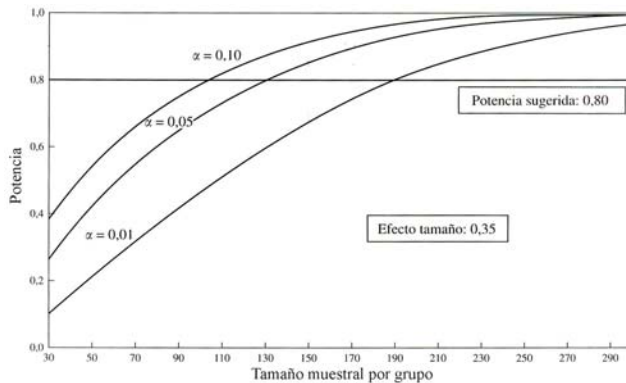


Figura 27. Representación gráfica del tamaño muestral por grupo para niveles de significación de 0.01, 0.5 y 0.10, cuando el efecto tamaño es de 0.35.

El estudio en extenso se realizó en los mismos sitios, descritos anteriormente, de Santa María La Ribera y Coyoacán, donde se llevó a cabo el estudio piloto (figura 25), durante los meses de septiembre y octubre de 2008, en días laborales de lunes a viernes entre las 9:00 y las 16:00 horas.

5. Análisis de los datos del estudio en extenso

En el análisis de los datos obtenidos a través de las encuestas y de los conceptos planteados, se utilizaron técnicas estadísticas simples:

- Análisis de la distribución porcentual de los datos de las variables.
- Descripción de los valores de la media y de la desviación estándar de los datos de las variables.
- Verificación de la hipótesis de que existe diferencia significativa entre grupos de respuestas, a través de pruebas no paramétricas de Mann-Whitney-Wilcoxon y de Kruskal-

Wallis. Los grupos de respuestas analizados se formaron considerando: a) los *lugares* donde fueron obtenidas las respuestas y b) las características demográficas de las personas encuestadas.

- Análisis de la relación entre dos variables a través del coeficiente de correlación de Spearman y de Pearson.

Referencias

- [1] Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Coyoacán. D.O. 10 de abril de 1997. Sistema de Información del desarrollo social. Disponible en: <http://www.sideso.df.gob.mx/index.php?id=176> Consultada el 11 de enero de 2007
- [2] Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Cuauhtémoc. D.O. 10 de abril de 1997. Sistema de Información del desarrollo social. Disponible en: <http://www.sideso.df.gob.mx/index.php?id=176> Consultada el 11 de enero de 2007
- [3] INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México, 2000. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/lib/buscador/busqueda.aspx?s=inegi> Consultada el 21 de diciembre de 2007
- [4] Guide for Preparing a Measurement Plan for Conducting Outdoor Sound Measurements, American Society for Testing and Materials, ASTM Standard E 1779- 96a (R 2004).
- [5] INEGI, Sistema Municipal de Base de Datos (SIMBAD). Disponible en <http://sc.inegi.gob.mx/simbad/index.jsp?c=125> Consultado el 12 de enero de 2007.
- [6] SETRAVI. 1er informe 2007, Secretaría de Transporte y Vialidad del Distrito Federal. Disponible en: <http://www.setravi.df.gob.mx> Consultada el 22 de marzo de 2008
- [7] Barrigón Morillas JM, et al. An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. *App Acoust* 2002;63:1061-1070.
- [8] Barrigón Morillas JM, et al. Measurement of noise pollution in Badajoz City, Spain. *Acta Acustica/Acustica* 2005;91:797-801.

- [9] Barrigón Morillas JM, et al. A categorization method applied to the study of urban road traffic noise. *J Acoust Soc Am* 2005;117(5):2844-2852.
- [10] SETRAVI. Anuario del transporte y la vialidad 2004. Gobierno del Distrito Federal, Secretaría de Transportes y Vialidad. Disponible en: <http://www.setravi.df.gob.mx> Consultada el 13 de enero de 2007
- [11] SETRAVI. Anuario del transporte y la vialidad 2005. Gobierno del Distrito Federal, Secretaría de Transportes y Vialidad. Disponible en: <http://www.setravi.df.gob.mx> Consultada el 13 de enero de 2007
- [12] Palma Coca E. Obras viales en la ciudad de Mexico. Memorias del 5º. Congreso ADOC, Septiembre 2008. La ciudad que tenemos y la ciudad que queremos. Disponible en: <http://www.adoc.org.mx/2008congreso/epc01.pdf>. Consultada el 15 de junio de 2008
- [13] Reyes Spíndola RC y M, Cárdenas Grisales J. Ingeniería de tránsito. 7a. ed. Colombia: Alfaomega; 1995.
- [14] Standard Guide for Selection of Environmental Noise Measurements and Criteria. American Society for Testing and Materials, ASTM Standard E 1686-03.
- [15] Ray EF Jr. Measurement uncertainty in conducting environmental sound level measurements. *Noise Control Eng J* 2000;48(1):8-15. Apud: American National Standards Institute, Procedures for outdoor measurement of sound pressure level. American National Standards Institute ANSI S12.18-1994.
- [16] Ali SA. Investigation of the dose-response relationship for road traffic noise in Assiut, Egypt. *Appl Acoust* 2004;65:1113-1120.
- [17] Martín MA, Terrero A, González J, Machimbarrena M. Exposure-effect relationships between road traffic noise annoyance and noise cost valuations in Valladolid, Spain. *Appl Acoust* 2006;67:945-958.
- [18] Piccolo A, et al. Evaluation and analysis of the environmental noise of Messina, Italy. *Appl Acoust* 2005;66:447-465.
- [19] Korfaly SI, Massoud M. Assessment of community noise problem in Greater Beirut Area, Lebanon. *Environmental Monitoring and Assessment* 2003;84:203-218.
- [20] WHO. Guidelines for community noise. World Health Organization, Geneva, Switzerland; 1999.
- [21] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the Assessment and Management of Environmental Noise.
- [22] INEGI. Síntesis metodológica de la estadística de vehículos de motor registrados en circulación, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México, Edición 2005. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/biblioteca/Default.asp?accion=2&upc=702825000355&s=est&c=10990 Consultada el 12 de enero de 2007
- [23] Sommerhoff J, Recuero M, Suárez E. *Appl Acoust* 2006;67:892-900.
- [24] Yang W, Kang J. Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces. *Appl Acoust.*, 2005; 66: 211-229.
- [25] Kuwano S, Morimoto M, Matui T. A questionnaire survey on noise problems with elderly people. *Acoust. Sci. & Tech.*, 2005; 26 (3): 305-308.
- [26] Barrigón Morillas JM, et al. Presentación de una encuesta para la realización de estudios sociales sobre el impacto del ruido urbano. *Revista de Acústica* 2002;33(1y2):27-33.
- [27] Onuu MU. Road traffic noise in Nigeria: Measurements, analysis and evaluation of nuisance. *J Sound Vibr.*, 2000; 233: 391-405.
- [28] Arana M, García A. A social survey on the effects of environmental noise on the residents of Pamplona, Spain. *Appl Acoust* 1998;53(4):245-253.
- [29] Estrada C. Efectos psicológicos de la contaminación por ruido en escenarios educativos. Tesis doctoral no publicada, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 2007
- [30] Fields JM, et al. Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: research and a recommendation. *J Sound Vibr* 2001;242(4):641-679.
- [31] Hair JF Jr. et al. Análisis multivariante. 5a. ed. España: Pearson; 1999, p 9.
- [32] Ibid. p 10.

Mediciones de ruido en espacios públicos abiertos

Introducción

En este capítulo se muestran, en dos apartados, los resultados de los niveles sonoros medidos en las plazas y en las vialidades de los sitios de estudio. En el segundo caso, el análisis de los resultados se realizó considerando la clasificación propuesta del sistema vial de la Ciudad de México, descrita en el capítulo 5.

La información que se presenta en los dos apartados es la siguiente:

- Distribución porcentual de los valores Leq .
- Variación temporal de los valores Leq , L_{max} , L_{min} , L_{10} , L_{50} y L_{90} , en dBA.
- Variación espacial de los valores Leq , L_{max} , L_{min} , L_{10} , L_{50} , L_{90} y media aritmética de los valores Leq , en dBA.
- Espectros sonoros.

En el apartado de los resultados del ruido en las vialidades también se presenta la siguiente información:

- Influencia del flujo vehicular en el nivel sonoro (Leq).
- Estudio de la categorización propuesta del sistema vial para verificar la estratificación del ruido en las zonas estudiadas y en la ciudad y confirmar que la categorización propuesta del sistema vial de la Ciudad de México es adecuada.

- Comparación de los niveles de ruido obtenidos (Leq) con los resultados de estudios realizados en otros países.

Se ha incluido el valor de la media aritmética de los valores Leq medidos, con el propósito de compararlo con el valor de la media logarítmica, que es el promedio sobre la energía sonora).

Se reporta este dato porque algunos autores [1] señalan que la media aritmética, más que la media logarítmica, tiene la posibilidad teórica de una relación más cercana con la respuesta subjetiva, basándose simplemente en el hecho conocido de que los humanos son más sensibles a cambios proporcionales que a cambios lineales o absolutos en cantidades físicas.

A este respecto no existe un consenso y en las guías publicadas por organismos internacionales y normas de algunos países (ver capítulo 4), en general, cuando se habla de promedios, no se especifica si éstos son logarítmicos o aritméticos (a excepción de la USEPA). Además diversos autores reportan sus resultados de estudios sobre ruido, bien con la media logarítmica o con la media aritmética, sin especificar de qué tipo de estadístico se trata.

6.1 Niveles sonoros en plazas

Distribución porcentual de los niveles sonoros

Las diferencias sonoras entre las plazas de las dos zonas estudiadas se pueden observar en la figura 1, donde se muestra la distribución porcentual de los valores de Leq de las muestras (registradas cada segundo durante el periodo de medición) en intervalos de 5dBA.

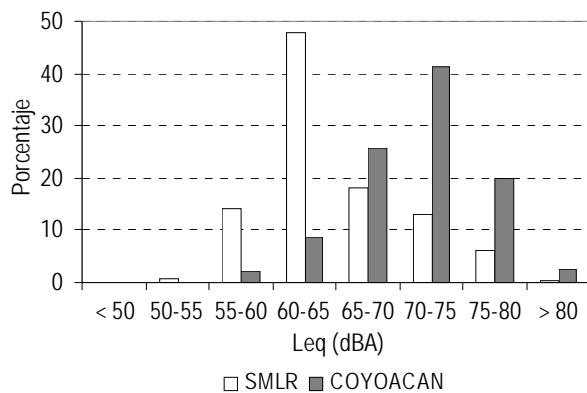


Figura 1. Distribución porcentual de Leq en la plaza de SMLR y en la de Coyoacán.

La figura 1 muestra que la distribución de las muestras en las dos plazas es sesgada, positivamente en SMLR y negativamente en Coyoacán. El intervalo modal es 60-65 dBA en SMLR y 70-75 dBA en Coyoacán, con 48% y 42% de las muestras, respectivamente.

Valores de Leq inferiores a 55 dBA solamente se observan en SMLR; sin embargo el porcentaje de éstos es de tan sólo 1 %. En Coyoacán todos los valores de Leq son mayores a 55 dBA.

En SMLR se observa un 19% de muestras con niveles mayores a 70 dBA, mientras que en Coyoacán este nivel se registró en un 63.5% de las muestras.

Variación temporal de los niveles sonoros

La variación temporal de los valores de los índices de ruido medidos en las plazas se reporta en la figura 2. En esta figura se observa que la variación de Leq y L50 es mayor en SMLR que en Coyoacán y menor en los otros índices.

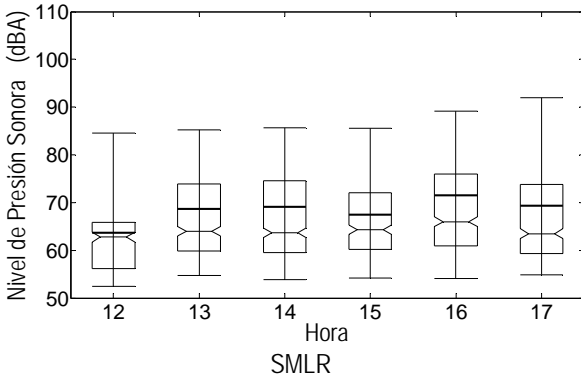
Los valores menores de Leq se registraron en dos momentos del periodo de medición, cuando la gente empieza a congregarse en los sitios y a la hora aproximada en que se acostumbra comer. En SMLR se registró a las 12:00 horas 63.6 dBA y las 15:00 horas 67.5 dBA, respectivamente. En Coyoacán se registró a las 12:00 horas 68.6 dBA y a las 16:00 horas 73.4 dBA, respectivamente. Posterior a la hora de la comida hubo un incremento en el número de personas y en las actividades, por lo que el nivel del ruido aumentó en estos sitios, 4 dBA, en SMLR y 2 dBA, en Coyoacán .

El valor mayor de Lmax fue de 92.0 dBA y 102.3 dBA respectivamente en SMLR y Coyoacán; éstos se registraron a las 17:00 y 14:00 horas, respectivamente. A la misma hora, en estos sitios, el valor de L10, nivel altamente determinado por fuentes sonoras específicas de relativamente corta duración y alto nivel, fue de 76 dBA y 80 dBA.

El valor menor de Lmin se registró en ambas plazas a las 12:00 horas, éste fue de 52.4 dBA y 53.6 dBA en SMLR y Coyoacán, respectivamente.

A lo largo del periodo de medición Leq se aproximó más a L50 en Coyoacán que en SMLR, lo que indica que el ruido fluctuó en menor medida en el primer sitio que en el segundo. El índice L90, considerado como ruido de fondo, fue similar de las 13:00 horas a las 15:00 horas en SMLR y en Coyoacán de las 14:00 horas a las 17:00 horas.

Resalta en la figura 2 que a ciertas horas, en las dos plazas los valores de L10, L50 y L90 son cercanos entre ellos; lo que indica que los



valores de la mayoría de las muestras se registraron en un rango estrecho del nivel de presión sonora.

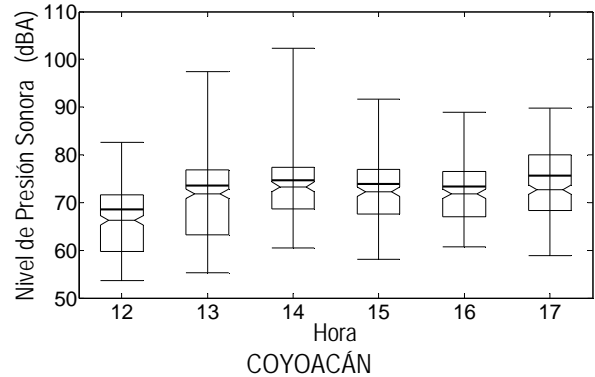


Figura 2. Valores de los índices de ruido del periodo de medición en los puntos de muestreo de las plazas. La línea horizontal de mayor espesor indica el valor de Leq. De arriba hacia abajo las líneas horizontales delgadas indican los valores de Lmax, L10, L50, L90 y Lmin.

Variación espacial de los niveles sonoros

La variación espacial de los valores de los índices de ruido Leq, Lmax, Lmin, L10, L50, L90 y media aritmética de los valores Leq, en dBA se reporta en la tabla 1.

En la tabla 1 se observa que el mayor valor de Leq se registró, en SMLR en el punto 20 y en Coyoacán en el punto 19, con 72.8 dBA y 75.2 dBA, respectivamente. Estos puntos fueron los más ruidosos porque en el primer sitio tal punto se localizó cerca del kiosco, donde se llevaban a cabo actividades musicales y mayor número de personas se concentraban alrededor de este sitio. En el segundo sitio el punto de medición fue localizado a aproximadamente 7 metros del sitio donde se encontraba un grupo de personas realizando actividades musicales y de danza tradicionales.

El valor medio (logarítmico) de Leq de los cuatro puntos de medición de cada plaza fue, aproximadamente, 5 dBA menor en SMLR que en Coyoacán.

Los valores medios logarítmico y aritmético de los cuatro puntos de medición de cada plaza muestran una diferencia de 4 dBA en SMLR y

2 dBA en Coyoacán. La desviación estándar fue mayor en los puntos 20 y 21 en SMLR y 19 en Coyoacán, sitios más cercanos a una de las fuentes sonoras más ruidosas (actividades musicales). Cuando había descanso en estas actividades el ruido disminuía considerablemente.

El valor mayor de Lmax se registró en el punto 21 en SMLR y en el punto 19 en Coyoacán. La diferencia con el valor de L10 es de 19 y 23 dBA respectivamente. En este caso L10, como indicador del nivel máximo, desestima el valor real del nivel sonoro máximo. El valor menor de Lmin se registró en el punto 22 en SMLR y en el 19 en Coyoacán. En el primer sitio ese punto fue el más alejado de las fuentes sonoras más ruidosas presentes en la plaza.

En el segundo sitio es el punto que también registró el mayor nivel máximo; se observaron estos valores porque cerca de este sitio había actividades de danza y música, que cuando no tocaban sus instrumentos musicales el ruido descendía considerablemente.

Leq se aproximó más a L50 en los puntos de Coyoacán que en los de SMLR, lo que indica que el ruido fluctuó en menor medida en el primer sitio que en el segundo. El 10% del tiempo de medición (L10) el ruido fue mayor a 70 dBA en los puntos 20 y 21 en SMLR y en los cuatro de Coyoacán. El 90% del tiempo de medición (L90) el ruido superó 65 dBA solamente en los puntos 20 y 21 en Coyoacán.

En espacios exteriores el ruido no debe exceder de 45 dB (Leq) para tener una comunicación, a un metro de distancia, con

una inteligibilidad del 100%, es decir que no se pierda información [2]. De acuerdo con los resultados de los valores medios de Leq (logarítmico), mostrados en la tabla 1, en todos los puntos de las dos plazas se excedió este nivel. Sin embargo, asumiendo que una inteligibilidad del 95% es aceptable, la comunicación sería satisfactoria con voz normal en todos los puntos de SMLR; pero en los de Coyoacán sería necesario que la conversación fuera con voz elevada.

Tabla1. Valores de los índices de ruido Leq Lmax, Lmin, L10, L50 y L90 del periodo de medición en los puntos de muestreo de las plazas de SMLR y Coyoacán.

Punto de medición	SMLR								COYOACÁN							
	Leq			Lmax	Lmin	Lx			Leq			Lmax	Lmin	Lx		
	\bar{x} Log	\bar{x} Arit	DS			L10	L50	L90	\bar{x} Log	\bar{x} Arit	DS			L10	L50	L90
19	65.2	64.6	2.1	79.8	54.8	66.8	64.6	63.2	75.2	71.4	6.5	102.3	53.6	79.1	73.0	62.0
20	72.8	70.5	4.9	86.8	54.7	76.2	71.6	63.6	74.5	72.9	3.8	97.4	57.9	77.2	73.4	67.5
21	68.2	63.9	4.9	92.0	56.4	72.9	62.2	59.5	71.7	70.8	2.6	86.2	60.8	73.9	70.7	67.8
22	63.3	61.0	3.5	89.1	52.4	65.1	60.8	56.9	72.6	70.0	5.2	93.6	55.8	75.9	70.9	61.5
Todos	68.9	65.0	3.9	92.0	52.4	72.4	67.0	61.6	73.7	71.3	4.5	102.3	53.6	76.9	72.2	65.6

Espectros sonoros

En las figuras 3 y 4 se muestran los espectros sonoros de los puntos de medición ubicados en la plaza de SMLR y Coyoacán, respectivamente. Estas figuras muestran que los espectros sonoros, de cada hora del periodo de medición y de cada punto son fuertemente dependientes de las características específicas de las fuentes sonoras presentes en cada sitio.

En SMLR las principales fuentes sonoras estuvieron relacionadas con la voz: personas conversando, música, niños jugando y vendedores ambulantes anunciando sus productos en voz alta. Por lo que no es sorprendente que, en general, los mayores niveles sonoros se registraran en las bandas de octava de frecuencias centrales de 0.25, 0.5, 1 y 2 kHz. En las tres primeras, la voz humana contribuye con mayor porcentaje de energía,

22%, 46% y 20% respectivamente [3]. La concentración de energía sonora en las bandas de frecuencia de 1 y 2 kHz se debió a la presencia de fuentes sonoras intermitentes: silbatos, juegos electrónicos de niños y claxonazos.

En Coyoacán el punto de medición 19 muestra los mayores niveles sonoros en las bandas de frecuencia de 0.125 y 0.250 kHz, que corresponde a la música con tambores de los danzantes que se ubicaban a aproximadamente 7 metros de este punto. En los otros tres puntos, donde la concentración de energía estuvo en las bandas de frecuencia desde 0.250 a 2 kHz, las principales fuentes sonoras fueron: personas conversando, música (organilleros, cantantes en vivo y música grabada), niños jugando y vendedores ambulantes.

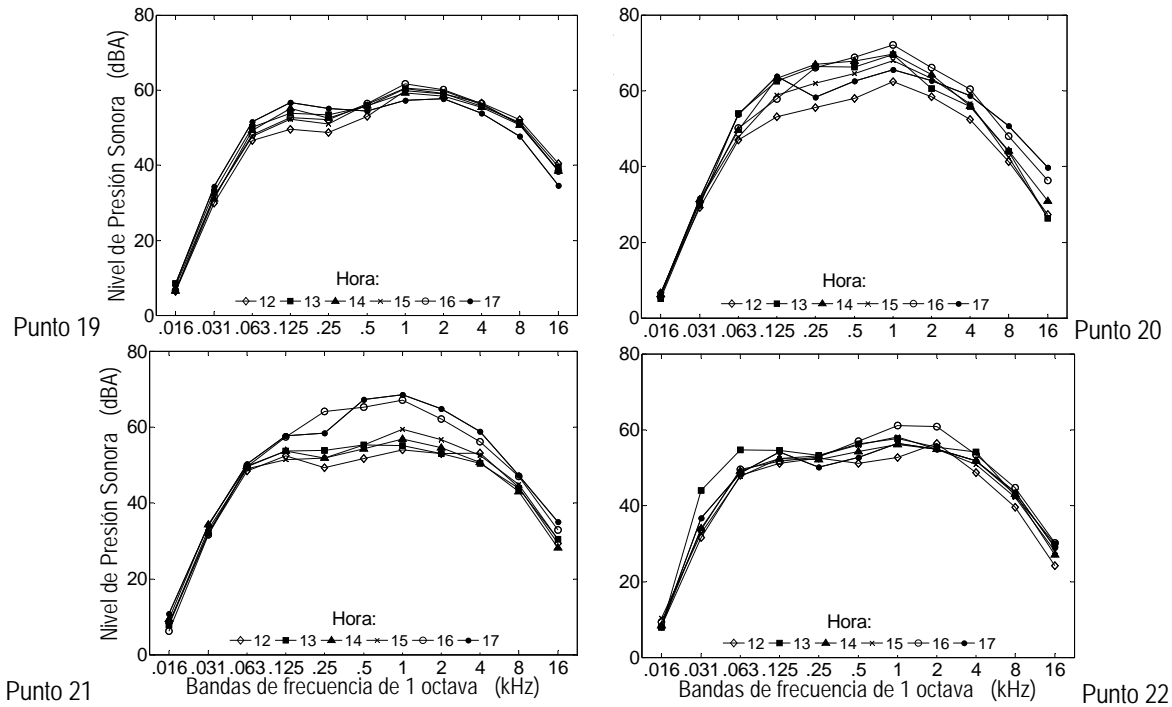


Figura 3. Espectros sonoros de los puntos de medición en la plaza de SMLR.

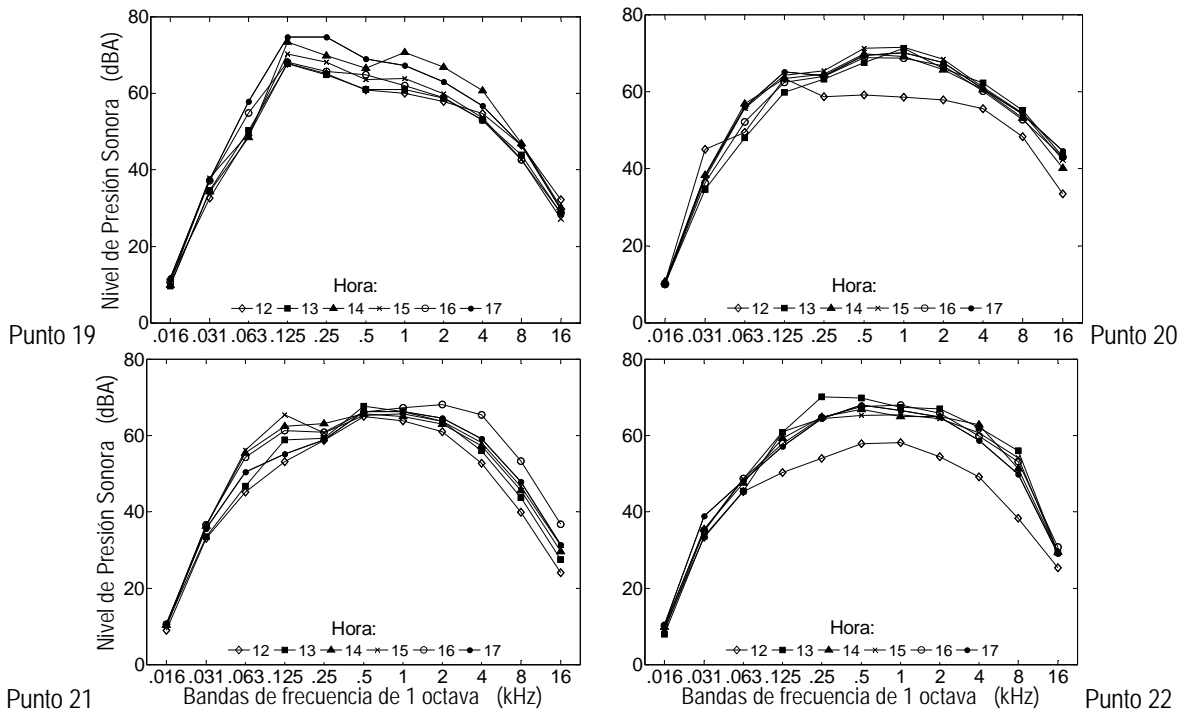


Figura 4. Espectros sonoros de los puntos de medición en la plaza de COYOACÁN.

6.2 Niveles sonoros en las vialidades

Influencia del flujo vehicular en el nivel sonoro

El flujo vehicular (número de vehículos por hora) promedio del periodo de observación (9:00 horas a 16:00 horas), compuesto de vehículos ligeros, pesados y motocicletas, registrado durante las mediciones de ruido, fue el siguiente en los diferentes tipos de vialidades estudiadas:

- Tipo 1, que incluye las vías *anulares, viaductos y radiales*, registró 4800 vehículos/h.
- Tipo 2, que incluye los *ejes viales* y las *arterias principales*, registró 3680 vehículos/h.
- Tipo 3, que incluye las vías *secundarias*, registró 950 vehículos/h.
- Tipo 4, que incluye las vías *locales con pequeño comercio*, registró 280 vehículos/h.
- Tipo 5, que incluye las vías *locales sin comercio*, registró 32 vehículos/h.

Estos datos muestran que los valores del flujo vehicular decrecen conforme el tipo de vialidad incrementa.

La influencia del número de vehículos en el nivel de ruido medido se muestra en la figura 5, donde se observa la relación entre Leq , registrado cada 10 minutos en los puntos de medición, y el logaritmo (base 10) del flujo vehicular Q (número de vehículos por hora), compuesto de vehículos ligeros, pesados y motocicletas) contabilizado durante las mediciones de Leq . El coeficiente de correlación obtenido es 0.82 $p < 0.05$. Lo que indica que el 67% de la variación del ruido medido en las zonas estudiadas es explicada por el número de vehículos.

Cabe aclarar que este análisis no tiene en cuenta otras consideraciones sobre el tráfico vehicular, por ejemplo: la tipología del

vehículo contabilizado, las condiciones del pavimento y el tipo, la velocidad y las diferencias en el camino de propagación desde la fuente al punto de medida, dado que las medidas realizadas en puntos con características muy diferentes entran en el mismo análisis. Estas y otras consideraciones explicarían mucho más de la variabilidad del nivel sonoro de lo que explica solamente el número de vehículos.

El análisis mostró que la ecuación de la línea de ajuste es: $Leq = 7.1 \text{ Log } Q + 44.6$.

Con base en la evidencia de la muestra, se concluye que, a pesar de que el coeficiente de determinación es débil, la relación lineal entre el Leq y el logaritmo del flujo vehicular es significativa. Estos resultados son coherentes con los reportados en otros trabajos, por ejemplo:

Cáceres, España (2002) [4]

$$Leq = 9.4 \text{ Log } Q + 45.0 \quad R^2 = 0.69$$

Alicante, España (1992) [5]

$$Leq = 9.2 \text{ Log } Q + 45.6 \quad R^2 = 0.67$$

Mesina, Italia (2005) [6]

$$Leq = 6.7 \text{ Log } (Q_{\text{ligeros}} + 7.9 Q_{\text{pesados}}) + 49.56 \\ R^2 = 0.62$$

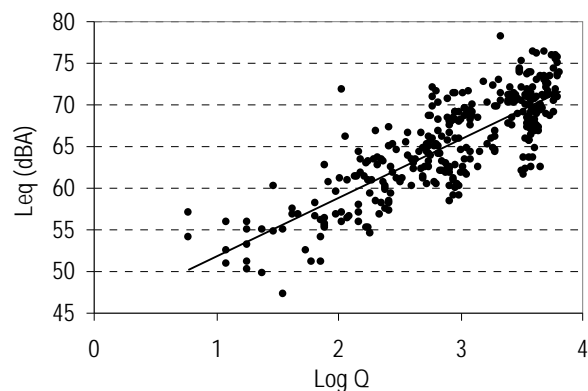


Figura 5. Relación lineal entre el nivel sonoro equivalente continuo (Leq) y el logaritmo del flujo vehicular.

Distribución porcentual de los niveles sonoros

Las características de la distribución porcentual de los valores de Leq de cada tipo de vialidad, en las dos zonas estudiadas, se observan en la figura 6 y son las siguientes:

- Tipo 1: la distribución es sesgada negativamente en las dos zonas. El intervalo modal es 70-75 dBA en SMLR y 65-70 dBA en Coyoacán, con 42% y 34% de las muestras, respectivamente. En ninguna zona se registraron valores inferiores a 55 dBA. En SMLR el 52% de las muestras superan los 70 dBA, mientras que en Coyoacán el 45% cae en esta categoría.
- Tipo 2: en la distribución de Leq en SMLR no se observa un sesgo evidente, y aunque la media, moda y mediana son similares, ésta no es una distribución normal. En Coyoacán la distribución es sesgada negativamente. El intervalo modal es 65-70 dBA en ambas zonas, con 25% y 36% de las muestras respectivamente. Solamente un 4% y 3% de los valores de Leq son inferiores a 55 dBA respectivamente en SMLR y Coyoacán. El 29% y 23% de las muestras superan los 70 dBA respectivamente en SMLR y Coyoacán.
- Tipo 3: la distribución de los valores de Leq es sesgada, positivamente en SMLR, y negativamente en Coyoacán. Respectivamente, el intervalo modal es 55-60 dBA y 60-65 dBA, con 28% de las muestras en cada zona. El 22% y 11% de los valores de Leq son inferiores a 55 dBA respectivamente en SMLR y Coyoacán. Solamente el 6% y 16% de las muestras superan los 70 dBA respectivamente en SMLR y Coyoacán.
- Tipo 4: la distribución de los valores de Leq es sesgada, positivamente en SMLR, y negativamente en Coyoacán. Respectivamente, el intervalo modal es 55-60 dBA y 60-65 dBA, con 36% y 39% de las muestras respectivamente. El 49% y 42% de los valores

de Leq son inferiores a 55 dBA respectivamente en SMLR y Coyoacán. Solamente el 2% y 1% de las muestras superan los 70 dBA respectivamente en SMLR y Coyoacán.

- Tipo 5: en las dos zonas la distribución es sesgada positivamente. El intervalo modal es 50-55 dBA y <50 dBA, con 51% y 45% de las muestras respectivamente en SMLR y Coyoacán. 65% y 83% de los valores de Leq son inferiores a 55 dBA. No se registraron valores superiores a 70 dBA.

La distribución del conjunto de datos de los cinco tipos de vialidades de las dos zonas es aproximadamente rectangular, es decir, la frecuencia de la ocurrencia de los niveles sonoros fue aproximadamente uniforme sobre un amplio intervalo: de 50 a 75 dBA (88%). El 36% de muestras registraron valores mayores a 65 dBA y solamente el 8% de las muestras fueron inferiores a 50 dBA y 4% superiores a 75 dBA.

En la figura 6 se observa que las distribuciones tienen patrones diferentes entre los 5 tipos de vialidades; sin embargo, en ambas zonas, la distribución es más positiva conforme el tipo de vialidad incrementa. Es decir, que en las categorías de vialidad menores se observan mayores porcentajes de muestras de Leq en niveles altos que en las categorías superiores.

Algunos autores han reportado que la distribución de los niveles de ruido dependen de las características del flujo vehicular. Bajo condiciones de flujo vehicular libre, la distribución del ruido es normal; por el contrario, cuando el flujo es interrumpido la distribución es sesgada [7,8].

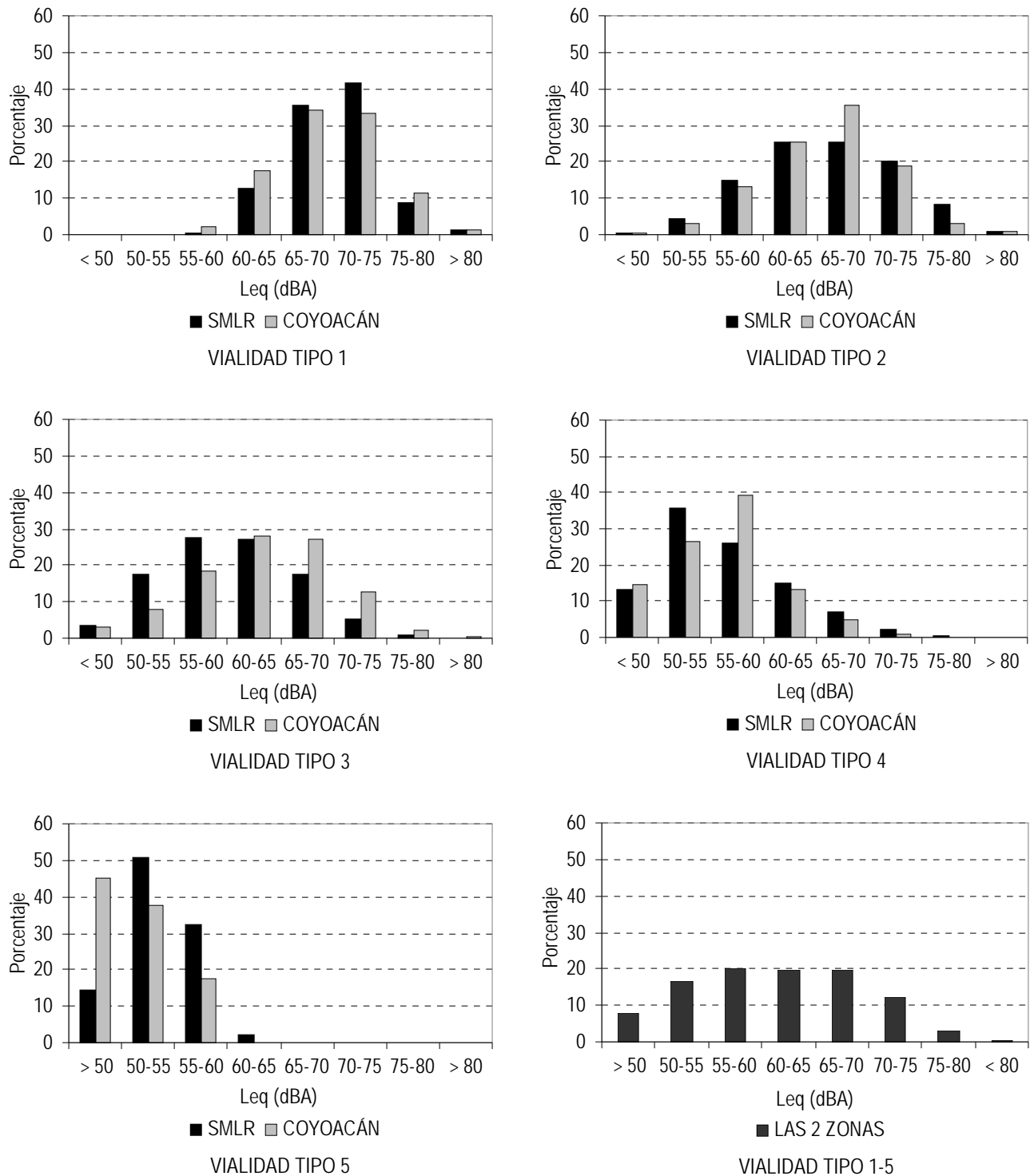


Figura 6. Distribución porcentual de Leq en los cinco tipos de vialidades de SMLR y Coyoacán y del conjunto de datos de los cinco tipos de vialidades de las dos zonas.

Variación temporal de los niveles sonoros

La variación temporal de los índices de ruido se observan en la figura 7 para cada tipo de vialidad de las dos zonas estudiadas.

En los cinco tipos de vialidades, los valores mayores de Leq se registraron antes de las

13:00 horas en SMLR y entre las 9:00 y las 10:00 horas en Coyoacán. En ambos sitios estos valores decrecen conforme incrementa el tipo de vialidad, por ejemplo, el valor mayor de la vialidad tipo 1 fue de 74.0 dBA (9:00 horas) y el mayor de la vialidad tipo 5 fue de 57.6 en SMLR (11:00 horas) y 53.9 dBA en Coyoacán (9:00 horas).

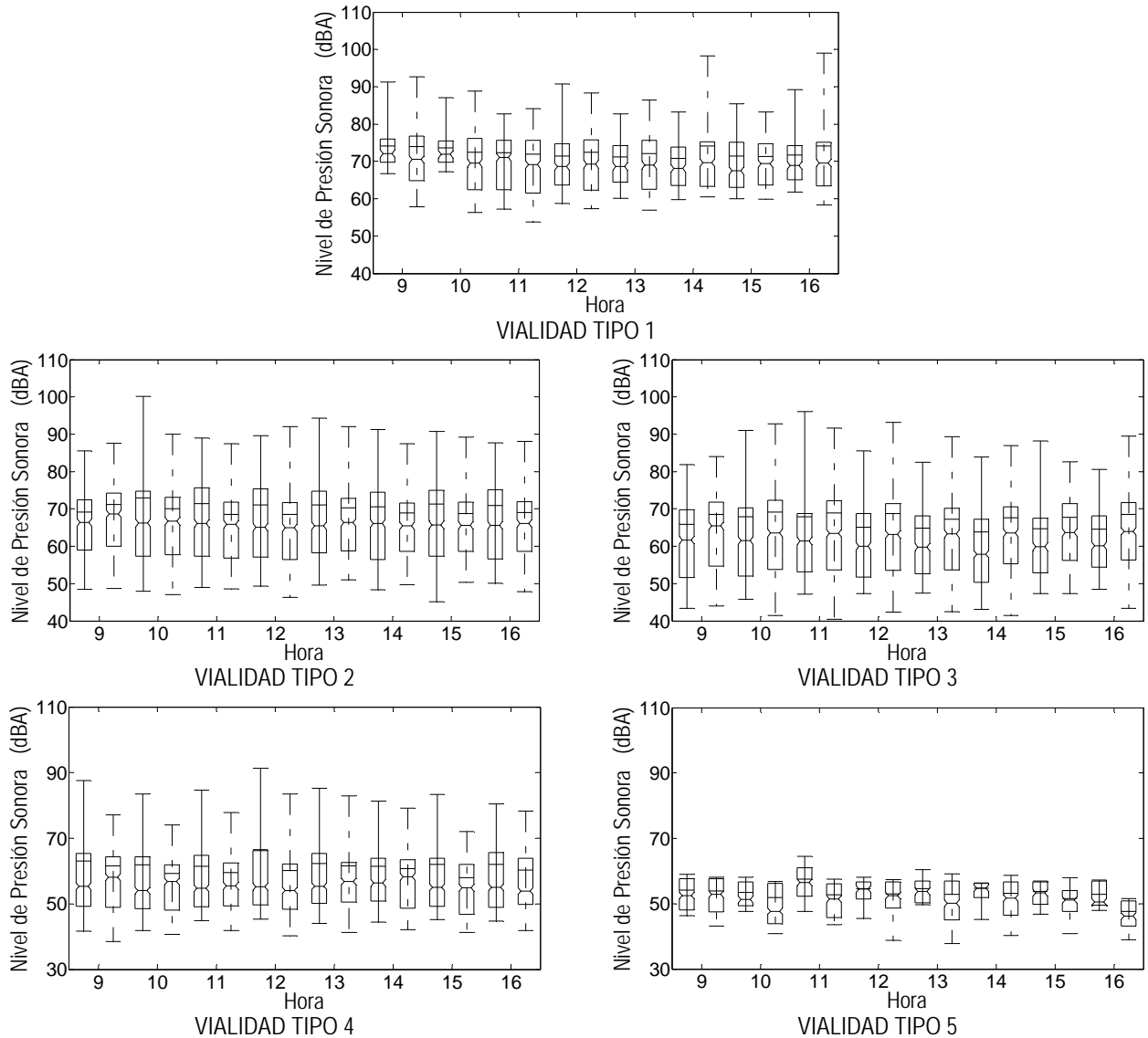


Figura 7. Valores de los índices de ruido del periodo de medición en los cinco tipos de vialidades de las dos zonas de estudio. La línea horizontal de mayor espesor indica el valor de Leq. De arriba hacia abajo las líneas horizontales delgadas indican los valores de Lmax, L10, L50, L90 y Lmin. La línea vertical que une los valores Lmax y Lmin continua muestra los datos de SMLR y la línea con punto los de COYOACÁN.

La figura 7 muestra que en los cinco tipos de vialidades los valores mayores de L_{max} se registraron antes de las 13:00 horas en SMLR y en Coyoacán a diferentes horas del periodo de medición. Por ejemplo, este valor en SMLR fue registrado a las 10:00 horas en la vialidad tipo 2 (100 dBA) y en Coyoacán a las 16:00 horas en la vialidad tipo 1 (99 dBA). Estos niveles fueron ocasionados por fuentes sonoras esporádicas como claxonazos, paso de motocicletas, alarmas y sirenas de vehículos de emergencia.

En los cinco tipos de vialidades los valores menores de L_{min} se registraron en diferentes horas del periodo de medición en las dos zonas. Por ejemplo, este valor en SMLR fue medido a las 9:00 horas en la vialidad tipo 4 (41.7 dBA) y en Coyoacán a las 13:00 horas en la vialidad tipo 5 (37.7 dBA).

En las vialidades tipo 1 a 4 a ciertas horas el valor de L_{eq} se encuentra muy cerca del valor de L_{10} o incluso lo rebasa (vialidad tipo 4, 12:00 horas, SMLR). Esto se da en horas con bajos niveles de ruido de fondo (L_{90}) y se debe a la ocasional ocurrencia de eventos sonoros de alta intensidad (L_{max}). Este hecho fue señalado también por Tang y Chu [9]. En la vialidad tipo 5 los valores L_{eq} , a lo largo del periodo de medición, se acercan más a L_{50} que a L_{10} , lo que indica que el ruido fluctuó en menor medida en este tipo de vialidad.

Variación espacial de los niveles sonoros

La variación espacial de los índices de ruido en los cinco tipos de vialidades de las dos zonas de estudio se muestra en la tabla 2 y del conjunto de datos de las dos zonas (que en adelante se identificarán como datos de la ciudad) en la tabla 3. Primero se hará el análisis de los índices de ruido en general y posteriormente de L_{eq} para la ciudad.

En ambos sitios y en la ciudad, los índices de ruido decrecen conforme el tipo de vialidad incrementa.

Comparando los valores de L_{eq} de las dos zonas, se observa en la tabla 2 que en los dos primeros tipos de vialidades estos valores son similares, en los siguientes dos existe una diferencia de aproximadamente 3 dBA y en el último de 2 dBA.

El valor medio logarítmico de L_{eq} de los cinco tipos de vialidades, es mayor que el aritmético, entre éstos existe una diferencia de 7 dBA en SMLR y de 8 en Coyoacán.

En ambas zonas y en la ciudad el valor de la desviación estándar es mayor en los tipos de vialidades 2, 3 y 4, donde el flujo vehicular es intermitente, debido a los semáforos o por los topes, que en la vialidad tipo 1, donde el flujo vehicular es libre. Resultados similares fueron reportados por Don y Rees [7].

En ambas zonas, el mayor valor de L_{max} , se observó en las categorías de vialidad menores y el menor valor de L_{min} en las categorías de vialidad mayores.

El valor de L_{eq} se aproximó más a L_{50} en la vialidad tipo 5 de Coyoacán y en la 1 y 5 de SMLR y de la ciudad, lo que indica que el ruido fluctuó en menor medida en estos tipos de vialidades que en las otras, donde L_{eq} se acercó más a L_{10} .

El 10% del tiempo de medición (L_{10}) el ruido fue: mayor a 70 dBA en las vialidades tipo 1 y 2 en SMLR y tipo 1, 2 y 3 en Coyoacán y en la ciudad; y mayor a 55 dBA en los otros tipos de vías. El 90% del tiempo de medición (L_{90}) el ruido fue: menor a 55 dBA solamente en las categorías 3, 4 y 5.

Tabla 2. Valores de los índices de ruido Leq (logarítmico y aritmético), Leq máximo, Leq mínimo, L10, L50 y L90 y desviación estándar del valor Leq aritmético, de los cinco tipos de vialidades de SMLR y Coyoacán. PM indica punto de medición.

Tipo/vía	SMLR									COYOACÁN																						
	PM	Leq					Lx			PM	Leq					Lx																
		Por PM	\bar{x} Log	\bar{x} Arit	DS	Max Min	L10	L50	L90		Por PM	\bar{x} log	\bar{x} Arit	DS	Max Min	L10	L50	L90														
1	1	72.1	72.2	69.9	4.2	91.2	75.1	70.2	64.3	1	74.8	72.9	69.5	4.9	99.0	75.6	69.6	63.0														
	2	72.3				57.2				69.5	53.8																					
2	3	65.3	71.2	66.0	6.6	100.1	74.8	65.8	57.3	3	67.6	69.5	65.8	5.6	92.0	72.5	66.2	58.1														
	4	72.6								69.5	46.3																					
	5	67.3																														
	6	63.6																														
	7	72.4																														
	8	75.0																														
3	9	66.0	65.8	60.5	6.3	96.1	68.7	60.2	52.3	9	71.4	68.4	63.4	6.7	93.2	71.5	63.8	54.6														
	10	68.5								69.5	40.4																					
	15	61.6																														
	16	64.5																														
	11	59.4								62.9	56.3								6.2	91.3	65	55.2	49.4	17	63.2	60.3	55.9	5.6	83.5	63.1	56.3	48.8
	12	63.4																						69.5	38.5							
	13	62.3																														
	14	57.7																														
17	63.6																															
18	66.2																															
23	56.2	54.7	53.6	3.0	64.5	57.1	53.5	49.7	25			52.7	52.3	50.5	4.2	59.1	56.2	50.7						45.0								
24	52.4								52.5			37.7																				
27																																
Todos		68.6	61.3	5.3	100.1	71.7	65.0	58.5		68.7	61.0	5.4	99.0	71.5	65.1	57.8																

Tabla 3. Valores de los índices de ruido Leq (logarítmico y aritmético), L10, L50 y L90 y desviación estándar del valor Leq aritmético, de los cinco tipos de vialidades del conjunto de datos de las zonas de estudio.

Tipo/vía	Leq			Lx		
	\bar{x} Log	\bar{x} Arit	DS	L10	L50	L90
T1	72.6	69.7	4.6	75.4	69.9	63.6
T2	70.4	65.9	6.2	73.8	66.1	57.7
T3	67.7	62.4	6.7	70.8	62.6	53.5
T4	62.1	56.2	6.0	64.3	55.7	49.2
T5	53.5	51.8	4.1	56.7	52	45.9
Todos	68.7	61.2	5.5	71.7	65.1	58.1

Los niveles de contaminación sonora encontrados en la ciudad pueden afectar la salud y bienestar de las personas. En la tabla 4 se muestra el valor de Leq de cada tipo de

vialidad (redondeado al entero más cercano), la diferencia entre: el valor de Leq de las vialidades 1 a 4 y el valor de la vialidad 5 y el valor de esta misma vialidad y un valor de referencia, la percepción subjetiva de esta diferencia y el efecto crítico en la salud y algunas observaciones del nivel sonoro encontrado en cada tipo de vialidad con base en las recomendaciones de los siguientes organismos: Organización para el Comercio y Desarrollo Económico (OCDE), Organización Mundial de la Salud (OMS), el US Environmental Protection Agency (USEPA) y el US Department of Housing and Urban Development (HUD).

Se observa en la tabla 4 que el nivel sonoro en la vialidad tipo 1 a escala subjetiva es, aproximadamente cuatro veces más ruidoso que el nivel de la vialidad tipo 5.

Los niveles sonoros de las vialidades tipo 1 y 2 son inaceptables, de acuerdo con el HUD, la OMS y la USEPA señalan que estos niveles pueden inducir a una deficiencia auditiva. El nivel de ruido en la vialidad tipo 3, es también considerado como inaceptable por el HUD, este nivel puede producir perturbaciones de los modelos de comportamiento y síntomas de daño grave, de acuerdo con la OCDE. La vialidad tipo 4, aunque registró un nivel sonoro que es considerado como aceptable por el

HUD, puede producir interferencia de la actividad en el exterior y también provocar molestia, de acuerdo con la USEPA. Solamente en la vialidad tipo 5 se observó un nivel aceptable por la OMS y la OCDE para evitar el efecto de molestia grave.

Con las condiciones de ruido mostrados en la tabla 4, la conversación a un metro de distancia, en las vialidades tipo 1 y 2 debe ser con voz elevada, en las tipos 3 y 4 con voz normal (perdiéndose un 5% de inteligibilidad), solamente en la vialidad tipo 5 la conversación puede ser con voz relajada y sin perder información.

Tabla 4. Percepción subjetiva de la diferencia de los niveles sonoros registrados en las vialidades de la ciudad y efecto crítico en la salud de esos niveles.

Tipo/vía	Leq dBA	Diferencia dBA		Percepción subjetiva	Efecto crítico en la salud, el bienestar y la conversación	
T1	73	T1-T5 =	19	Aproximadamente 4 veces más ruidoso	** y *** **** ***	Deficiencia auditiva Normalmente inaceptable Conversación voz elevada (95% de inteligibilidad)
T2	70	T2-T5 =	16	3 veces más ruidoso	** y *** **** ***	Deficiencia auditiva Normalmente inaceptable Conversación voz elevada (95% de inteligibilidad)
T3	68	T3-T5 =	14	Entre 2 y 3 veces más ruidoso	* ** **** ***	Perturbaciones de los modelos de comportamiento y síntomas de daño grave 65 dBA límite en la medicina preventiva Normalmente inaceptable Conversación voz normal (95% de inteligibilidad)
T4	62	T4-T5 =	8	Entre claramente perceptible y 2 veces más ruidoso	*** **** ***	Interferencia de la actividad en el exterior y molestia Normalmente aceptable Conversación voz normal (95% de inteligibilidad)
T5	54	T5-Ref =	4	Entre apenas perceptible y claramente perceptible	** **** ***	Molestia moderada Normalmente aceptable Conversación voz relajada (99% de inteligibilidad)
Valor de referencia	50				** **** ***	Molestia moderada (55 dBA molestia grave) Normalmente aceptable Conversación voz relajada (100% de inteligibilidad)

Referencias: * OCDE, ** OMS [10], *** USEPA [2], **** HUD (ver características de los índices de ruido mencionados por estos organismos en los capítulos 2 y 4).

Análisis de la categorización vial propuesta

Para facilitar el estudio de la relación entre Leq y el tipo de vialidad y de la existencia de diferencias significativas entre tipos de vialidades, se obtuvieron valores de Leq cada 2 minutos; es decir, que para cada punto de medición el número de valores de Leq fue de 40.

El coeficiente de correlación de Spearman de la relación entre los valores de Leq y el tipo de vialidad fue de -0.79 en SMLR, -0.82 en Coyoacán y -0.79 para el conjunto de datos de las dos zonas. En los tres casos la relación es significativa con $p < 0.001$. Este resultado confirma que el nivel sonoro decrece conforme el tipo de vialidad incrementa.

Para verificar la existencia de diferencia significativa entre los valores de Leq de los tipos de vialidades, de cada zona y de la ciudad, se realizaron las pruebas de Kruskal Wallis y de Mann-Witney-Wilcoxon.

Tabla 5. Valores de la mediana de los niveles sonoros (Leq) en los cinco tipos de vialidades de las zonas de estudio y de la ciudad.

Tipo de vialidad	SMLR	COYOACÁN	CIUDAD
T-1	72.2	72.3	72.2
T-2	68.7	68.8	68.7
T-3	64.0	67.2	66.1
T-4	60.9	58.3	60.1
T-5	53.7	50.8	52.2

La prueba de Kruskal Wallis mostró una diferencia significativa entre las medianas (tabla 5) de las cinco categorías en SMLR y en Coyoacán, así como en el conjunto de datos de las dos zonas. En los tres casos, para el valor calculado del estadístico de prueba H fue mayor que el valor crítico de 9.55 (para 4 grados de libertad y nivel de significancia de 0.05) con $p < 0.001$.

Las diferencias entre pares de vialidades adyacentes se verificaron con la prueba Mann-

Witney-Wilcoxon. Para cada par las hipótesis nula y alternativa son como las siguientes:

H_0 : La mediana del nivel de ruido en la vialidad tipo 1 es igual que en la tipo 2.

H_1 : La mediana del nivel de ruido en la vialidad tipo 1 es mayor que en la tipo 2.

El valor crítico z para un nivel de significancia de 0.05 es de ± 1.65 .

Todos los pares de categorías adyacentes, de las dos zonas y del conjunto de datos, los valores z calculados (tabla 6), dan resultados mayores que el valor crítico con $p < 0.001$, indicando que existe diferencia significativa entre éstas. Por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa.

Cabe destacar que, aunque en Coyoacán la diferencia de las medianas entre las vialidades tipo 2 y la 3 es de tan sólo 1.6 dBA, entre éstas se verificó que existe diferencia significativa.

Con estos resultados se comprueba la estratificación del ruido en las zonas estudiadas y en la ciudad y se confirma que la categorización propuesta del sistema vial de la Ciudad de México, es adecuada.

Tabla 6. Valores z calculados de la prueba Mann-Witney-Wilcoxon.

Tipo/vías	SMLR	COYOACÁN	2 ZONAS
1-2	5.8	6.9	9.5
2-3	9.4	5.5	10.1
3-4	9.2	15.2	17.8
4-5	10.3	11.8	16.9

Espectros sonoros

Las figuras 8 a 11 muestran los espectros sonoros de algunos puntos de medición de SMLR, seleccionados como representativos de las vialidades tipo 1 a 4. Para la vialidad tipo 5 no se tiene esta información, debido a las limitaciones del instrumento que se utilizó en las mediciones de los puntos correspondientes a este tipo de vialidad.

Los espectros sonoros de los puntos ubicados en los diferentes tipos de vialidades, mostraron las siguientes características:

- Tipo 1. Los sitios de medición ubicados en este tipo de vialidades (tabla 2) mostraron un patrón del espectro sonoro similar, entre estos puntos y entre las horas del periodo de medición. Como ejemplo se muestra, en la figura 8, el espectro sonoro del punto de medición 1 en SMLR.

El examen de esta figura muestra que en las frecuencias bajas, las bandas que registraron los mayores niveles sonoros fueron la de 0.063, 0.125 y 0.250 kHz. En las frecuencias medias y altas se registraron niveles sonoros altos en las bandas de 0.5, 1 y 2 kHz.

Los espectros sonoros de este tipo de vialidad son similares en forma a los reportados por Olson [11] y Versfeld y Vos [12] para vehículos ligeros y pesados, principalmente en las frecuencias bajas que en las medias y altas.

De acuerdo con los resultados de Olson [11] el motor de los vehículos es la mayor fuente de ruido directa, que concentra la energía entre las bandas de 0.063 y 0.125 kHz cuando se trata de automóviles para pasajeros (ligeros) y entre las bandas de 0.063 y 0.250 kHz en vehículos pesados. En este último tipo de vehículos la interacción entre la llanta y el pavimento es otra fuente clara de ruido, concentrando energía en las bandas de 0.250 y 0.5 kHz.

Los resultados de Olson [11] muestran que la única diferencia significativa en los espectros de los vehículos para pasajeros (ligeros) y los autobuses fue un pico alrededor de la frecuencia de 0.5 kHz. En nuestros resultados también se observan niveles sonoros altos que incluyen esta banda; sin embargo, el pico se registró en la banda de 1 kHz. La concentración de energía alrededor de esta banda puede atribuirse a la presencia de ruidos intermitentes que emiten componentes fuertes en un ancho de banda estrecho, por ejemplo las

sirenas de vehículos de emergencia y los claxonazos.

- Tipo 2. Los sitios de medición ubicados en este tipo de vías (tabla 2), mostraron un patrón del espectro sonoro similar entre estos puntos; pero algunos de éstos muestran diferencias en los niveles sonoros entre las horas del periodo de medición. En la figura 9 se observa, al igual que en el caso de la vialidad tipo 1, niveles sonoros altos en las bandas de 0.063, y 0.125 kHz y una ligera disminución en la banda de 0.5 KHz, que puede atribuirse a una disminución del número de vehículos pesados. En general se observa una respuesta casi plana en un amplio intervalo de frecuencias, desde 0.250 hasta 4 kHz. Sin embargo también destaca una concentración de energía sonora alrededor de la banda de 1 kHz, que en la figura 9 se originó por el ruido de la sirena de una ambulancia.

- Tipo3. Los espectros sonoros de los puntos de medición de este tipo de vialidad mostraron patrones ligeramente diferentes entre estos puntos y entre las horas del periodo de medición, como se muestra en la figura 10. Debido a la presencia, además de los vehículos, de otras fuentes sonoras relacionadas con una intensa actividad humana, por ejemplo: campanas de los templos, recolección de basura, voces, niños jugando, música de establecimientos cercanos, pregoneros, descarga de mercancía en los establecimientos comerciales. Espectros sonoros similares son reportados por Singh y Jain [13] para áreas comerciales.

- Tipo 4. Los espectros sonoros de los puntos correspondientes a este tipo de vialidad son más irregulares en su forma entre estos puntos y entre las horas del periodo de medición, a partir de la banda de 0.63 kHz, como se muestra en la figura 11. Existe menor influencia de los vehículos que en los otros tipos de vialidades y mayor contribución de las actividades domésticas y de animales.

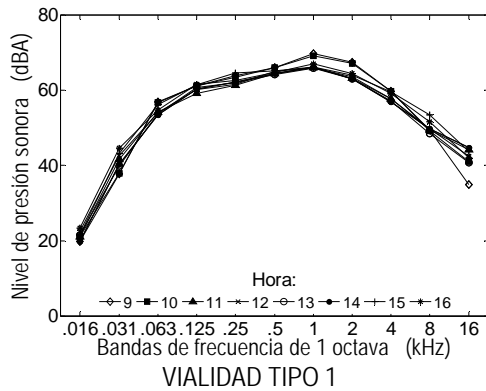


Figura 8. Espectro sonoro del punto de medición 1 en SMLR

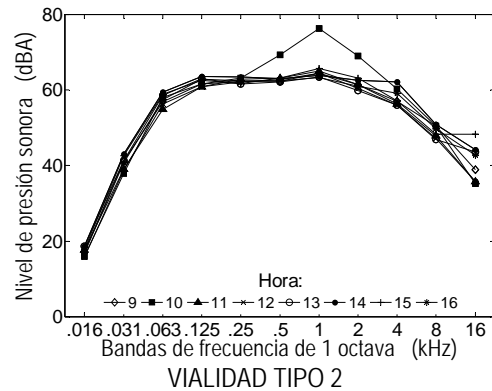


Figura 9. Espectro sonoro del punto de medición 4 en SMLR

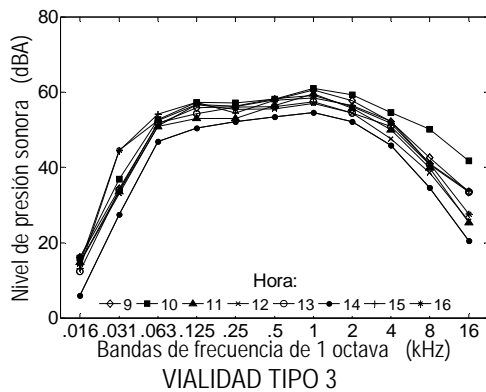


Figura 10. Espectro sonoro del punto de medición 16 en SMLR

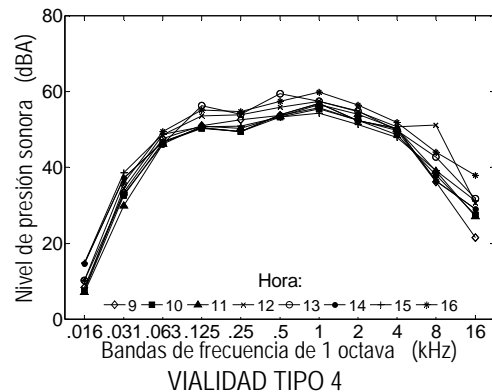


Figura 11. Espectro sonoro del punto de medición 13 en SMLR

Comparación de los niveles sonoros con resultados internacionales

Los valores del nivel sonoro equivalente continuo promedio (logarítmico) L_{eq} , de las dos zonas de estudio y del conjunto de datos de ambas, mostrados respectivamente en las tablas 2 y 3, son comparados con los resultados de 12 estudios. Cabe aclarar que estos estudios fueron realizados con diferentes metodologías, por lo que las comparaciones se hacen sólo con fines ilustrativos.

Las comparaciones se muestran en tres apartados:

- Ruido en Coyoacán. El resultado de ruido en la zona de Coyoacán es comparado con el resultado de un estudio realizado en 1985 en

una zona más extensa de Coyoacán; pero que comprende la estudiada aquí.

- Ruido en vialidades. Los resultados de ruido en el sistema vial descrito son comparados con resultados reportados para diferentes tipos de vialidades en ciudades de otros países.

- Ruido en ciudades. El promedio de ruido del conjunto de datos de las dos zonas de estudio y en algunos casos el porcentaje de muestras mayores de 65 dBA, son comparados con los valores de ruido reportados para ciudades en diferentes países. Se incluyó este último dato porque varios estudios lo reportan, debido a que ha sido señalado como límite en la medicina preventiva [10] y es el valor L_{eq} (6 a 22 horas) normalmente inaceptable por el US Department of Housing and Urban Development (HUD) [ver capítulo 4].

Ruido en Coyoacán

1. El estudio realizado en Coyoacán en 1985 [14], en áreas de viviendas multifamiliares y unifamiliares, escuelas, hospitales, comerciales y parques mostró un valor medio (logarítmico) Leq de 69.8 dBA (13:00 a 22:00 horas). Este valor es aproximadamente 1 dBA mayor que el reportado aquí para la misma zona, que fue de 68.7 dBA (tabla 2). Aunque el número de carros ha incrementado significativamente (aproximadamente 70%) en la Ciudad de México desde 1985, éstos son menos ruidosos. Este efecto, de disminución de ruido en un periodo de tiempo ha sido reportado por varios autores, por ejemplo, los resultados de Alamar y García [5] mostraron que en Alicante, España el ruido disminuyó 2 dBA de 1983 a 1992, aunque el número de vehículos se incrementó en un 38% aproximadamente. Zannin et al. [15] indica que estudios previos realizados en Curitiba, Brasil, mostraron que en esta ciudad hubo una disminución en el ruido en un periodo de tiempo. En 1992 el ruido, en el 93.4% de los sitios medidos estuvo arriba de 65 dBA, mientras que en el año 2001 este porcentaje disminuyó a 80.6%.

Ruido en vialidades

2. El valor Leq medio de las dos zonas de estudio de la Ciudad de México, correspondiente a vialidad tipo 1 (tabla 3), es comparado con los resultados reportados por Li et al. [16] para la ciudad de Beijing, China. En dicho estudio las mediciones se realizaron en un periodo de tiempo y tipo de vialidad similar a las nuestras, de 10:00 a.m a 4:00 p.m. (en nuestro estudio de 9:00 a.m a 4:00 p.m.) en dos vialidades tipo anular llamadas segundo y tercer anillo (en nuestro estudio: Circuito Interior). En Beijing el valor medio (logarítmico) de Leq de los

puntos de medición correspondientes al segundo anillo fue de 76.0 dBA y de los puntos del tercer anillo fue de 76.5 dBA. El ruido en las vialidades tipo anular en Beijing es aproximadamente 4 dBA más intenso que el que se registró en la ciudad de México en el Circuito Interior, que fue de 72.6 dBA. En Beijing el número de vehículos promedio por hora que circula por los dos anillos es de aproximadamente 9300 unidades, mientras que en la Ciudad de México es de 4800 vehículos.

3. Los resultados correspondientes a los tipos de vialidad 2, 3 y 4 del conjunto de datos de las dos zonas de estudio de la Ciudad de México, cuyos niveles medios Leq fueron, respectivamente, 70.4 dBA, 67.7 dBA y 62.1 dBA (tabla 3) son comparados con los resultados, reportados por Ali [17], del ruido en vialidades identificadas como arterias, colectoras y locales de la ciudad de Assiut, Egipto. Los valores medios (logarítmico) de estas vialidades fueron respectivamente 79.8 dBA, 61.8 dBA y 59.0 dBA (Ldn). Por sus características físicas y de flujo vehicular, estas vialidades se pueden comparar con los tipos de vías de nuestro estudio mencionadas. Aunque se debe considerar que nuestros valores son Leq (9:00-16:00 horas) y los de Egipto son Ldn (día: 7:00-22:00 horas y noche: 22:00-7:00 horas). En el primer caso (arterias Vs tipo 2) el ruido es aproximadamente 9 dBA menor en México que en Egipto, en el segundo (colectoras Vs tipo 3) el ruido es 6 dBA mayor en México que en Egipto y el tercer caso (locales Vs tipo 4) el ruido es 3 dBA menor en México que en Egipto.
4. Los valores Leq de los cinco tipos de vialidades, del conjunto de datos de las dos zonas de estudio de la Ciudad de México, son comparados con los resultados reportados por Barrigón et al. [18] de ruido también en cinco tipos de vialidades en la

ciudad de Badajoz, España. El periodo de medición de este estudio fue de 10:00 a 20:00 horas. Los resultados de ambos estudios se muestran en la tabla 7. En ella se observa que los valores de las vías tipo 1 a 3 son casi iguales en las dos ciudades, en las vías tipo 4 y 5 los niveles sonoros son mayores en Badajoz, con aproximadamente 4 y 10 dBA respectivamente.

Tabla 7. Valores de Leq de cinco tipos de vialidades en las ciudades de Badajoz, España y México, México.

Ciudad	Tipo de vialidad				
	T1	T2	T3	T4	T5
Badajoz	72.7	71.4	67.7	65.9	63.9
México	72.6	70.4	67.7	62.1	53.5

Ruido en ciudades

El valor medio Leq del conjunto de datos de las dos zonas de estudio de la Ciudad de México, que fue de 68.7 dBA (tabla 3) y el porcentaje de muestras mayores de 65 dBA, que fue de 36% son comparados con los resultados de ruido de los siguientes países.

- En la ciudad de Alicante, España [5] el Leq (mediciones entre las 12:00 y las 14:00 horas, 1992) fue de 67.8 dBA, con 33% de las muestras superando 65 dBA.
- En Valdivia, Chile [19] se reportaron los valores promedio de Leq para los periodos diurnos: 7:00-11:00 horas, 11:00-14:00 horas y 14:00-18:00 horas, y para el periodo vespertino de 18:00-22:00 horas. En los tres periodos diurnos Leq fue de 68.0 dBA y para el vespertino de 69 dBA. En el periodo de 7:00 a 22:00 horas aproximadamente el 60% de los puntos muestreados superaron 65 dBA.
- En Nablus, Palestina [20] se reportaron valores promedio Leq de 68.0 dBA, (mediciones realizadas en 2 horas pico 8:00-9:00 horas y 15:00-16:00 horas y en horario nocturno de 23:00-24:00 horas. En esta ciudad aproximadamente el 58% de las muestras excedieron 65 dBA.

- En Messina, Italia [6] el valor medio (aritmético) Ld reportado fue de 71.6 dBA (6:00-20:00 horas).
- En Beirut, Líbano [21] el valor promedio (logarítmico) Leq de 3 periodos del día: 10:00-12:00, 16:00-18:00 y 20:00-22:00 fue de 73.2 dBA.
- En Curitiba, Brasil [22] el valor promedio (logarítmico) Leq obtenido de dos periodos del día: 12:00-13:00 horas y 18:00-19:00 horas fue de 75.8 dBA. En esta ciudad el 93.3% de los sitios muestreados registraron valores mayores a 65 dBA.
- En ocho ciudades del sureste de Nigeria [23] el valor medio (logarítmico) Leq (24 horas) fue de 84.6 dBA.
- En Calcuta, India [24] el valor promedio (logarítmico) Leq (24 horas) fue de 87.1 dBA.

Los valores de ruido reportados en los estudios de las ciudades de España, Chile y Palestina son similares a nuestros resultados; aunque en Chile y Palestina el porcentaje de sitios que registraron niveles sonoros mayores de 65 dBA son aproximadamente 1.5 más que en México. La diferencia entre el ruido en la ciudad de México y las ciudades de Italia y Líbano, que es respectivamente de 3 y 4 dBA, a nivel subjetivo es *apenas perceptible*. Por otro lado, la diferencia con el ruido de Curitiba en Brasil (7 dBA) es entre *claramente perceptible* y *dos veces más ruidoso* que en México. Además el porcentaje de sitios con más de 65 dBA es aproximadamente 2.5 veces mayor que en México. El ruido en las ciudades de Nigeria y de la India es mayor en gran medida que en la Ciudad de México, la diferencia de ruido que existe entre estas ciudades y la de México es respectivamente, de 16 y 18 dBA, que subjetivamente se percibe como aproximadamente *tres veces más ruidoso* en el primer caso y entre *tres y cuatro veces más ruidoso* en el segundo caso.

Conclusiones

Se han realizado mediciones sonoras en espacios públicos abiertos en dos zonas de la Ciudad de México. En general los resultados han revelado que los niveles sonoros en estos espacios son más altos que los límites establecidos por organismos internacionales para proteger la salud y bienestar de las personas. En particular las conclusiones son las siguientes:

En las plazas

Los resultados indican que en las plazas, espacio público abierto de reunión muy importante en la ciudad, la contaminación acústica es de consideración. Aunque el ambiente en la plaza de SMLR es menos ruidoso que en la de Coyoacán, en ambas se supera el valor de 55 dBA recomendado por la OMS para proteger a las personas del efecto de molestia grave, con 14 dBA y 19 dBA, respectivamente. Además el porcentaje de muestras con niveles mayores a 65 dBA fue de 37% y 89%, respectivamente.

Los espectros sonoros resultaron fuertemente dependientes de las características específicas de las fuentes sonoras presentes en cada sitio a lo largo del periodo de medición. En las dos plazas las principales fuentes sonoras fueron personas conversando, música, niños jugando y vendedores ambulantes.

Con tales condiciones de ruido en estas plazas, la comunicación a un metro de distancia (95% de inteligibilidad) es satisfactoria en SMLR; pero en Coyoacán los resultados indican la necesidad de comunicarse con voz elevada.

Estos resultados han mostrado que el ocio urbano también es una fuente importante de contaminación acústica.

En las vialidades

Los resultados han puesto de manifiesto que en la ciudad, donde se tienen registrados más de 3 millones de vehículos, el 67% de la variación del ruido medido en las vialidades es explicada por el flujo vehicular. Generando una contaminación acústica que excedió 65 dBA en el 36% por ciento de las muestras.

El método de categorización vial que se usó para estudiar el ruido en las vialidades reveló que es efectivo para comprender la estratificación del ruido en la ciudad. Además se confirmó que las cinco categorías propuestas para el sistema vial de la Ciudad de México son adecuadas, pues en éstas los índices de ruido decrecen conforme el tipo de vialidad cambia. Existe mayor variabilidad del ruido en las vialidades donde el flujo vehicular es intermitente que en donde es libre.

Los niveles sonoros registrados en las vialidades: tipo 1 y 2 son inaceptables porque pueden inducir a una deficiencia auditiva, tipo 3 también es considerado como inaceptable porque puede producir perturbaciones de los modelos de comportamiento y síntomas de daño grave, tipo 4, aunque es considerado como aceptable puede producir interferencia de la actividad y provocar molestia grave. Solamente en la vialidad tipo 5 se observó un nivel aceptable por organismos internacionales para evitar el efecto de molestia grave.

Con tales condiciones de ruido en las vialidades, la conversación inteligible a un metro de distancia, requeriría voz elevada en las vialidades tipo 1 y 2, voz normal en los tipos 3 y 4, en todos los casos se perdería un 5% de inteligibilidad, y solamente en la vialidad tipo 5 la conversación puede ser con voz relajada y sin perder información.

El nivel sonoro en la vialidad tipo 1 a escala subjetiva es, aproximadamente cuatro veces más ruidoso que el nivel de la vialidad tipo 5.

Por otro lado, la concentración de energía en bandas de frecuencia bajas reflejó la influencia del transporte vehicular en las categorías de vialidades menores. En contraste, el espectro sonoro en las categorías de vialidad altas, mostró mayor energía en otras bandas de frecuencias indicando mayor contribución de fuentes sonoras diferentes.

El nivel de ruido medido en Coyoacán en 1985 fue aproximadamente 1 dBA mayor que el reportado aquí. Aunque el número de carros ha incrementado significativamente en la Ciudad de México desde 1985, éstos son menos ruidosos.

Comparando nuestros resultados con los de otras ciudades en el extranjero, se encontró que el ruido en la Ciudad de México es:

- Similar al reportado en las ciudades de Alicante, España, Valdivia, Chile y Nablus, Palestina; aunque en las ciudades de Chile y Palestina el porcentaje de sitios que registraron niveles sonoros mayores de 65 dBA son aproximadamente 1.5 más que en México.
- Apenas perceptiblemente mayor en las ciudades de Messina, Italia y Beirut, Líbano,
- Entre claramente perceptible y dos veces más ruidoso en Curitiba, Brasil, donde el porcentaje de sitios con más de 65 dBA es aproximadamente 2.5 veces mayor que en México.
- Aproximadamente tres veces más ruidoso en ciudades de Nigeria.
- Entre tres y cuatro veces más ruidoso en Calcuta, India.

Aunque en el mundo existen ciudades con mayor contaminación por ruido que en la Ciudad de México, una gran parte de ella está expuesta a niveles de ruido altos e inaceptables.

Referencias

- [1] Alberola J, Flindell IH, Bullmore AJ. Variability in road traffic noise levels. *Appl Acoust* 2005;66:1180-1195.
- [2] EPA. United States Environmental Protection Agency. Noise and Urban Pedestrian Areas. Report: 550/9 80-321, November 1980.
- [3] Carrión IA, Diseño acústico de espacios arquitectónicos. España: editorial, 1998, p 46.
- [4] Barrigón Morillas JM, et al. An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. *App Acoust* 2002;63:1061-1070.
- [5] Alamar M, García A. La exposición cotidiana al ruido ambiental: evaluación sonora en la ciudad de Alcoi (Alicante). *Revista de Acústica* 1997; 28: 13-21.
- [6] Piccolo A, et al. Evaluation and analysis of the environmental noise of Messina, Italy. *Appl Acoust* 2005;66:447-465.
- [7] Don CG, Rees IG. Road traffic sound level distributions. *J Sound Vibr* 1985;100(1):41-53.
- [8] Tang SK, Au WH. Statistical structures of indoor traffic noise in a high-rise city. *J Acoust Soc Am* 1999; 106(6):3415-3423.
- [9] Tang SK, Chu SHK. Noise level distribution functions for outdoor applications. *J Sound Vibr* 2001; 248(5):887-911.
- [10] WHO, Technical meeting on noise and health indicators. Second meeting –Results of the testing and piloting in member states. 18-19 December 2003 Bonn, Germany.
- [11] Olson N. Survey of motor vehicle noise. *J Acoust Soc Am* 1972; 52(5):1291-1306.
- [12] Versfeld NJ, Vos J. A-weighted equivalent sound level as a predictor of the annoyance caused by road traffic consisting of various proportions of light and heavy vehicles. *J Sound Vibr* 2002; 253(2):389-399.
- [13] Singh BB, Jain VK. A comparative study of noise levels in some residential, industrial and commercial areas of Delhi. *Environmental Monitoring and Assessment* 1995;35:1-11.
- [14] Boullosa RR, Perez Ruiz SJ, An exploratory study of Community noise levels in Mexico City. *Appl Acoust* 1987;22:271-280.

- [15] Zannin PH, Calixto A, Diniz FB, Ferreira JAC. A survey of urban noise annoyance in a large Brazilian city: the importance of a subjective analysis in conjunction with an objective analysis. *Environmental Monitoring Impact Assessment Review* 2003;23:245-255.
- [16] Li B, Tao S, Dawson RW. Evaluation and analysis of traffic noise from the main urban roads in Beijing. *Appl Acoust* 2002;63:1137-1142.
- [17] Ali SA. Investigation of the dose-response relationship for road traffic noise in Assiut, Egypt. *Appl Acoust* 2004;65:1113-1120.
- [18] Barrigón Morillas JM, et al. Measurement of noise pollution in Badajoz City, Spain. *Acta Acustica/Acustica* 2005;91:797-801.
- [19] Sommerhoff J, Recuero M, Suárez E. Community noise survey of the city of Valdivia, Chile. *Appl Acoust* 2004;65:643-656.
- [20] Abdel-Raziq IR, Zeid Q, Mohammed S. Noise measurements in the community of Nablus in Palestine. *Acta Acustica/Acustica* 2000;86:578-580.
- [21] Korfaly SI, Massoud M. Assessment of community noise problem in Greater Beirut Area, Lebanon. *Environmental Monitoring and Assessment* 2003;84:203-218.
- [22] Zanin PH, Diniz FB, Barbosa WA. Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. *Appl Acoust* 2002;63: 351-358.
- [23] Onuu MU. Road traffic noise in Nigeria: Measurements, analysis and evaluation of nuisance. *J Sound Vibr.*, 2000; 233: 391-405.
- [24] Chakrabarty D, Chandra Santra S, Mukherjee A, Roy B, Das P. Status of road traffic noise in Calcutta metropolis, India. *J Acoust Soc Am* 1997; 101(2):943-949.

Estudio social: Impacto del ruido urbano en peatones de la Ciudad de México

Introducción

Los resultados del estudio social se presentan en los siguientes siete apartados: (1) descripción de la muestra, (2) aspectos afectivos, (3) efectos provocados por el ruido, (4) creencias relacionadas con el ruido y estrategias para afrontarlo, (5) percepción del ruido, (6) molestia provocada por el ruido y (7) niveles de ruido. Posterior a los resultados se presenta una sección de discusión y, finalmente, las conclusiones del estudio.

La descripción de la muestra se hace en términos de frecuencias relativas y los resultados de los otros apartados se analizan a través de la siguiente información:

a) Frecuencias relativas. Con el propósito de facilitar el análisis de los resultados en términos de frecuencias relativas, éstos se presentan en la escala verbal (nada, poco, regular, bastante y muchísimo). La relación entre la escala *numérica* y la *verbal*, para las preguntas de la encuesta, muestran coeficientes de correlación de Spearman de 0.96 en promedio ($p < 0.0001$). Esto indica que la escala *verbal* puede explicar, en promedio, el 92% de la variabilidad de la escala *numérica*, lo cual se ha tomado como aceptable para su uso.

b) Valores de la media y desviación estándar.

Pruebas no paramétricas de dos extremos para examinar la hipótesis de que existe diferencia

significativa entre grupos de respuestas. Las pruebas utilizadas son: a) prueba de Mann-Whitney para dos poblaciones y b) prueba de Kruskal-Wallis para más de dos poblaciones (ver anexo D). Los grupos de respuestas analizados se formaron considerando: a) los *lugares* donde fueron obtenidas las respuestas y b) las características demográficas de las personas encuestadas. En el primer caso se forman 3 tipos de grupos con las respuestas clasificadas de acuerdo a: los dos *sitios* dentro de cada zona de estudio, los dos tipos de *vialidad* de las dos zonas y las dos *zonas*. Las zonas de estudio Santa María La Ribera y Coyoacán, en adelante son identificadas como SMLR y Coyoacán (o COY) respectivamente.

Las categorías de los grupos mencionados son:

- *Sitios* en SMLR: SMLR-1 |1| y SMLR-2 |2|.
Sitios en Coyoacán: COY-1 |1| y COY-2 |2|.
- *Vialidades primarias*: SMLR-1 |1| y COY-1 |2|. *Vialidades secundarias*: SMLR-2 |1| y COY-2 |2|.
- *Zonas*: SMLR |1| y COY |2|.

En el segundo caso se forman 4 grupos con las respuestas de las personas, considerando: el *estatus residencial* (el análisis se hará para cada sitio de estudio), el *sexo*, el nivel de *estudios* y la *edad* (el análisis se hará considerando los cuatro sitios en conjunto). Las categorías de los grupos mencionados son:

- *Estatus residencial*: viven en la zona de estudio |1|, no viven en la zona de estudio |2|.
 - *Sexo*: hombre |1| y mujer |2|.
 - *Estudios*: hasta secundaria |1| (no incluye respuestas de las personas sin estudios), preparatoria o carrera técnica |2| y universidad |3|.
 - *Edad*: de 16 a 24 |1|, de 25 a 34 |2|, de 35 a 44 |3|, de 45 a 55 |4| y más de 55 años |5|.
- c) Coeficientes de correlación de Spearman (de Pearson donde se indica), en el documento los símbolos * y ** indican correlación significativa con $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$ respectivamente.
- d) En la evaluación de los resultados de la satisfacción con el entorno, se realizó un análisis de componentes principales para determinar si las variables podían ser agrupadas y reducirlas a un número menor.

7.1. Descripción de la muestra

Las personas encuestadas fueron transeúntes elegidos al azar, que accedieron a contestar, tomando la decisión de participar sin conocer que se les harían preguntas relacionadas con el tema del ruido.

El número de encuestas programadas (ver capítulo 5: Metodología) para el estudio fue de 150, en cada uno de los cuatro sitios. Esta cantidad representó en SMLR-1, SMLR-2, COY-1 y COY-2, respectivamente, el 21%, 31%, 25% y 23% del total de personas (713, 490, 594 y 645 respectivamente), a quienes se les tuvo que solicitar su participación para contestar la encuesta. Es decir, que la menor y mayor disposición de la gente a participar se observó en los sitios SMLR-1 y SMLR-2 respectivamente.

La descripción de la muestra se presenta en términos de frecuencias relativas, respecto a la siguiente información: lugar de residencia (vive o no vive en el sitio de estudio), sexo,

edad, nivel de estudios y motivo por el que se encuentran en el sitio de estudio. En los dos últimos aspectos mencionados no existe diferencia significativa entre los cuatro sitios de estudio, por lo que se presentan los resultados de los datos en conjunto.

En cuanto al lugar donde residen las personas encuestadas, se observa en la figura 1 que en los sitios SMLR-1 y COY-2, aproximadamente dos terceras partes del total de personas encuestadas no viven en la zona de estudio. En SMLR-2 y COY-1 los datos son contrarios, en el primero predominan las respuestas de personas que viven en la zona, mientras que en el segundo estas respuestas son escasas. El sitio SMLR-2 es un paso que conduce a un menor número de empleos y oficinas de servicios que en COY-2, por lo que en el primer sitio, la mayoría de las personas que transitan son habitantes de la zona.

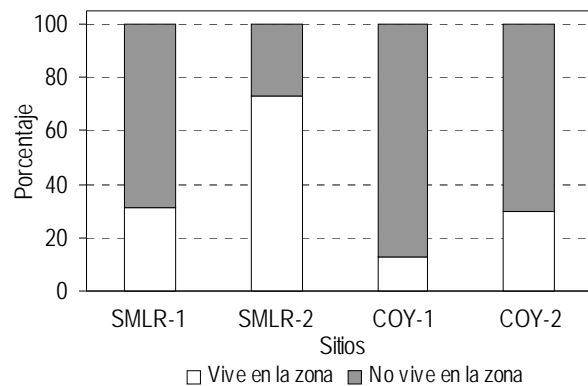


Figura 1. Porcentajes de personas encuestadas que viven y que no viven en las zonas de estudio.

La figura 2 muestra que el mayor porcentaje de encuestados en los sitios SMLR-1, COY-1 y COY-2 fueron hombres, mientras que en SMLR-2 predominaron las respuestas de mujeres.

Considerando los cuatro sitios de estudio, la edad de los encuestados estuvo entre 16 y 80 años. La edad media en cada sitio fue de 35, 40, 36 y 34 años, respectivamente en SMLR-1,

SMLR-2, COY-1 y COY-2, con desviación estándar de 14, 15, 14 y 15, respectivamente. La figura 3 muestra los porcentajes de encuestados por grupos de edades en cada sitio de estudio, se observa en ella que el grupo de edades con mayor porcentaje de respuestas fue: el de 16-24 años en los sitios SMLR-1 y COY-2, el de 35-44 años en el sitio SMLR-2 y los grupos de 16-24 y 25-34 años en COY-1. Las personas de más de 55 años representaron el menor porcentaje de encuestados en cada sitio.

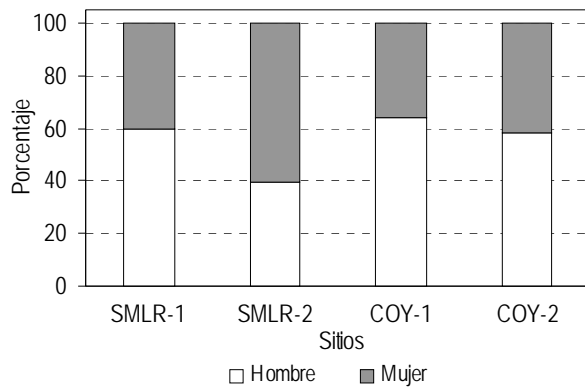


Figura 2. Porcentajes de hombres y mujeres encuestados.

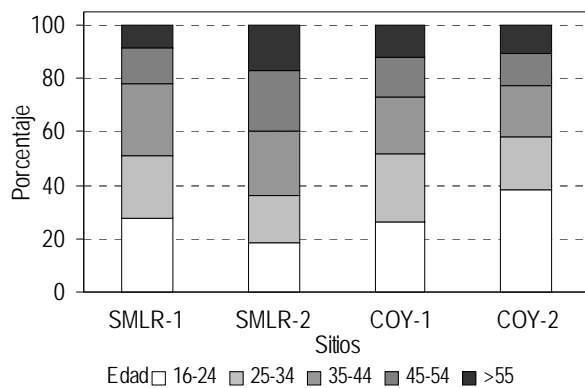


Figura 3. Porcentajes, por grupos de edades, de las personas encuestadas.

En la figura 4 se observa que el mayor porcentaje de personas encuestadas tiene estudios de preparatoria o carrera técnica. Cabe destacar que hubo un porcentaje importante de encuestados con estudios universitarios (34%)

y que solamente el 1% reportó no tener estudios de ningún nivel.

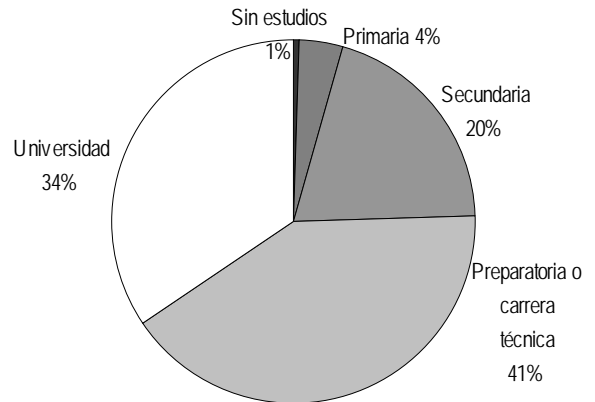


Figura 4. Porcentajes, por nivel de estudios, de las personas encuestadas.

Se observa en la figura 5 que la mayoría de las personas, en el momento de la encuesta, se encontraban en la calle por motivos de trabajo y para realizar trámites personales en el sitio. Los menores porcentajes de respuestas son de las personas que se encuentran en la calle para hacer compras o para tomar otro medio de transporte.

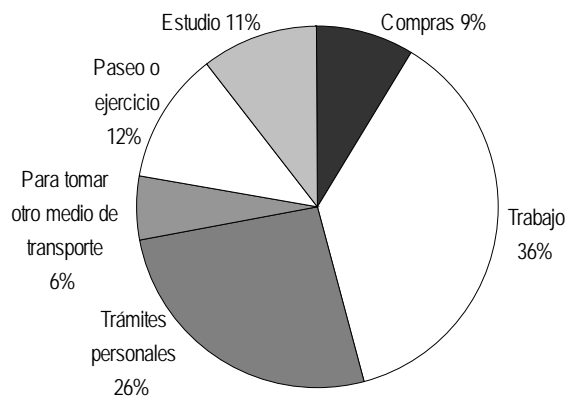


Figura 5. Porcentajes de personas encuestadas, de acuerdo con la actividad realizada en la calle.

7.2. Aspectos afectivos

En este apartado se presentan los resultados de los siguientes aspectos: a) la satisfacción con características del entorno de la zona de estudio, b) la opinión sobre las características del entorno más importantes para mejorar la zona y c) el gusto por la zona y por la calle de estudio.

Satisfacción con el entorno

Las características de la zona, para evaluar el grado de satisfacción que tienen las personas con el entorno, fueron: (1) la limpieza de las calles, (2) la calidad del aire, (3) la seguridad ciudadana, (4) el ruido durante el día, (5) los olores, (6) la conservación de las banquetas, (7) la libertad para caminar en las banquetetas y (8) la estética del entorno.

La figura 6 muestra, para cada sitio de estudio, los porcentajes de las respuestas de la satisfacción con cada una de las ocho características mencionadas. Se observa en esta figura que, en promedio, para las ocho características, los mayores porcentajes de calificaciones de satisfacción se encuentran en las categorías de *regular* y *poco* en los dos sitios de SMLR y en *regular* y *bastante* en los dos sitios de COY. En todos los sitios los porcentajes de respuestas en la categoría de *muchísimo* son escasos; aunque éstos son menores en SMLR-1 y SMLR-2 (en promedio 2% y 1% respectivamente), que en COY-1 y COY-2 (en promedio 6% respectivamente). El sitio SMLR-2 es el que muestra en promedio, el mayor porcentaje de respuestas en la categoría de *nada* con 23%, seguido de SMLR-2, COY-1 y COY-2 con 19%, 15% y 13% respectivamente.

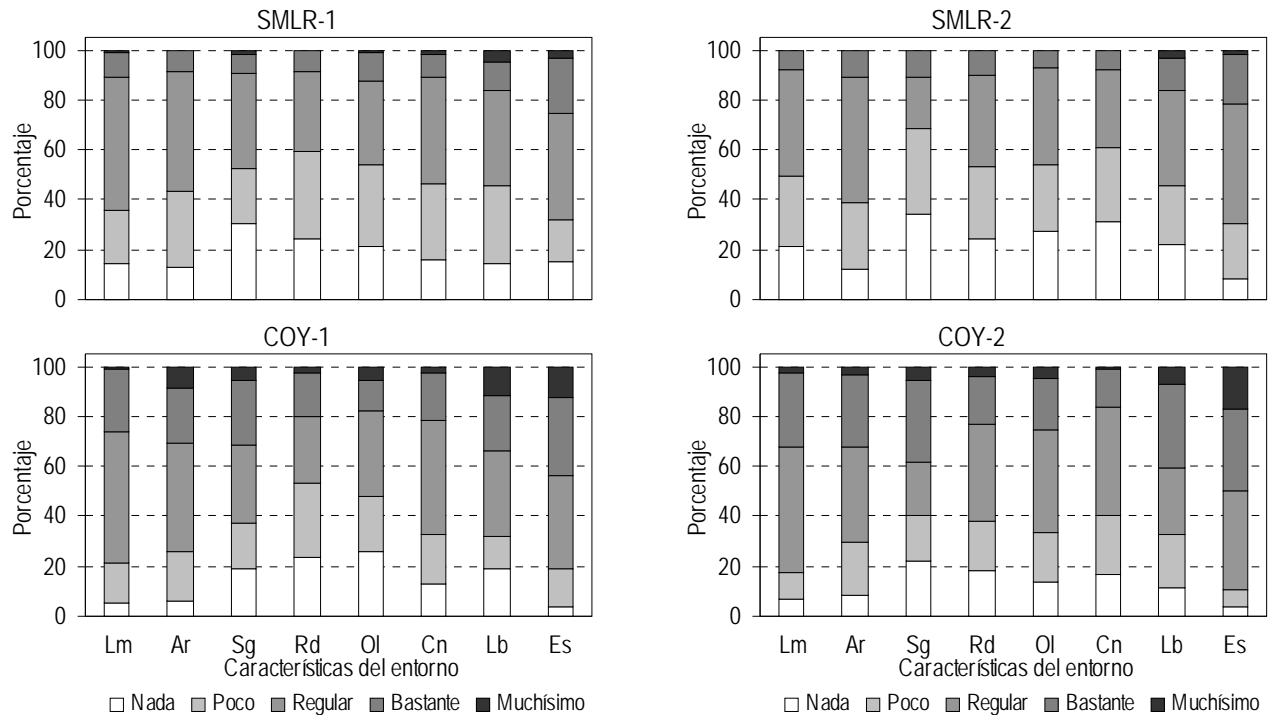


Figura 6. Calificaciones asignadas a la satisfacción con: la limpieza de las calles (Lm), la calidad del aire (Ar), la seguridad ciudadana (Sg), el ruido durante el día (Rd), los olores (Ol), la conservación de las banquetetas (Cn), la libertad para caminar en las banquetetas (Lb) y la estética del entorno (Es).

Los valores de la media y de la desviación estándar de los ocho casos de satisfacción evaluada en cada sitio de estudio, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Media y desviación estándar de la satisfacción con las características del entorno.

Satisfacción con:	SMLR-1		SMLR-2		COY-1		COY-2	
	\bar{x}	DS	\bar{x}	DS	\bar{x}	DS	\bar{x}	DS
Lm	4.2	2.1	3.6	2.1	5.1	2.0	5.3	2.0
Ar	3.9	2.0	4.1	2.0	5.2	2.3	5.1	2.4
Sg	3.3	2.4	2.9	2.3	4.7	2.7	4.7	3.0
Rd	3.2	2.2	3.5	2.2	3.7	2.5	4.4	2.5
OI	3.6	2.3	3.4	2.2	3.9	2.6	4.6	2.5
Cn	3.8	2.2	3.0	2.3	4.6	2.3	4.2	2.3
Lb	4.2	2.4	3.8	2.4	4.9	2.9	5.1	2.7
Es	4.6	2.5	4.7	2.1	5.8	2.3	6.3	2.3

Satisfacción con: la limpieza de las calles (Lm), la calidad del aire (Ar), la seguridad ciudadana (Sg), el ruido durante el día (Rd), los olores (OI), la conservación de las banquetas (Cn), la libertad para caminar en las banquetas (Lb) y la estética del entorno (Es).

De la información de la tabla 1 es relevante destacar los siguientes aspectos:

- El único caso donde se observa una calificación media aprobatoria, es en la satisfacción con la estética del entorno en COY-2.
- El valor medio más bajo corresponde a la satisfacción con la seguridad ciudadana en SMLR-2, la satisfacción con la conservación de las banquetas en COY-2 y la satisfacción con el ruido durante el día en los sitios SMLR-1 y COY-1. Respecto al ruido, cabe recordar que los niveles sonoros medidos (ver capítulo 6) en los tipos de vialidades donde se ubicaron los sitios SMLR-1 y COY-1 (vialidad tipo 2) y SMLR-2 y COY-2 (vialidad tipo 3) registraron en promedio 70 dBA y 68 dBA respectivamente.

- Considerando todos los casos de satisfacción, los valores de la media son inferiores en los sitios ubicados en SMLR, que en los ubicados en COY.
- Existe menor variabilidad en las respuestas obtenidas en los sitios de SMLR (desviación estándar entre 2.0 y 2.4), que en los sitios de COY (desviación estándar entre 2.0 y 3.0).

Para las respuestas de satisfacción con cada una de las ocho características del entorno mencionadas, se investigó si existía diferencia significativa entre grupos de respuestas. Los resultados de este análisis son los siguientes:

- Entre los dos sitios de SMLR existe diferencia significativa solamente en los casos de la satisfacción con la limpieza de las calles y con la conservación de las banquetas ($p < 0.01$). En ambos casos el valor medio es menor en el sitio SMLR-2 (tabla 1). Entre los dos sitios de COY se observó diferencia significativa en las respuestas de la satisfacción con el ruido durante el día ($p < 0.05$), con los olores ($p < 0.01$) y con la estética del entorno ($p < 0.01$). El valor medio en los tres casos es menor en el sitio COY-1 (tabla 1).
- Comparando los grupos de respuestas obtenidas en los dos tipos de vialidades, formados por: a) las vialidades primarias (SMLR-1 y COY-1) y b) las vialidades secundarias (SMLR-2 y COY-2), se observó lo siguiente. En el primer grupo se probó que de los ocho casos de satisfacción, solamente en la satisfacción con el ruido durante el día y con los olores no existe diferencia significativa. En los otros casos, donde sí existe tal diferencia los valores medios son menores en SMLR-1 que en COY-1. En el segundo grupo existe diferencia significativa en todos los casos de satisfacción ($p < 0.01$). La satisfacción es mayor en COY-2 que en SMLR-2.

- c) Entre las respuestas obtenidas en SMLR y COY se observa diferencia significativa en todos los casos de satisfacción ($p < 0.01$). El valor medio es mayor en COY que en SMLR. La satisfacción con *el ruido durante el día* mostró la menor diferencia entre los valores medios de cada zona (3.4 y 4.1 respectivamente en SMLR y en COY). Mientras que la satisfacción con *la seguridad ciudadana* tuvo la mayor diferencia entre los valores medios de cada zona (3.1 y 4.7 respectivamente en SMLR y en COY).
- d) Considerando el *estatus residencial* de los encuestados, se observó que solamente existe diferencia significativa en dos casos, en la satisfacción con *la calidad del aire* en el sitio COY-2 ($p < 0.05$) y en la satisfacción con *la libertad para caminar en las banquetas* en el sitio SMLR-1 ($p < 0.01$). En estos casos es mayor el valor medio de la satisfacción de los que no viven en la zona que el de los que viven en ella, 5.3 y 4.3 respectivamente en COY-2 y 4.6 y 3.3 respectivamente en SMLR-1.
- e) Entre las respuestas de los *hombres* y las de las *mujeres*, solamente en el caso de la satisfacción con *los olores* no existe diferencia significativa. En los otros 7 casos, donde sí existe diferencia significativa ($p < 0.05$ para la satisfacción con *el ruido durante el día* y $p < 0.01$ para los otros 6 casos), el valor medio de las respuestas de satisfacción de los hombres es mayor que el de las mujeres. Aunque existe diferencia significativa en la satisfacción con *el ruido*, es el caso donde existe la menor diferencia entre los valores medios (4.0 y 3.5 respectivamente para los hombres y para las mujeres). La mayor diferencia entre los valores medios, se observó en la satisfacción con *la limpieza de las calles* (5.0 y 4.0 respectivamente para los hombres y para las mujeres).
- f) Considerando las respuestas de los grupos de personas con diferente *nivel de estudios*, sólo se encontró diferencia significativa en el caso de la satisfacción con *la seguridad ciudadana* ($p < 0.05$). Las personas que tienen mayor nivel de estudios dieron calificaciones superiores a su satisfacción que aquellas que tienen menor nivel de estudios. Los valores medios fueron de 3.5, 3.8 y 4.3 respectivamente para los grupos de personas con estudios de hasta secundaria, de preparatoria o carrera técnica y de universidad.
- g) Las respuestas de los grupos de diferente *edad* mostraron diferencia significativa en los casos de la satisfacción con *la limpieza, el ruido durante el día, la conservación de las banquetas, la libertad para caminar en las banquetas y la estética del entorno* ($p < 0.01$ respectivamente). En general en estos casos, el valor medio de la satisfacción disminuye conforme aumenta la edad. Por ejemplo, los valores medios de la satisfacción con *el ruido* fueron 4.3, 3.8, 3.7, 3.3 y 3.0 respectivamente para los grupos de 16-24, 25-34, 35-44, 45-54 y >55 años.

Finalmente se examinaron las respuestas (de la muestra total) de la satisfacción con las ocho características del entorno analizadas, a través de un análisis factorial de componentes principales, para determinar si estas variables podían ser agrupadas y reducirlas a un número menor.

Se justificó este análisis porque todas las correlaciones entre las variables son estadísticamente significativas ($p < 0.01$) y en ningún caso el coeficiente de correlación es menor a 0.3. Además, el valor de la medida de adecuación muestral (MSA), de las variables es de entre 0.84 y 0.90, y del conjunto es de 0.89, indicando en ambos casos, un nivel aceptable para la conveniencia del análisis.

Aplicando el criterio de contraste de caída se extrajeron dos componentes, que representan el 53.6% y el 10.4% respectivamente de la varianza explicada por las variables (en conjunto representan el 64% de la varianza). La tabla 2 contiene la matriz de patrón con las cargas para cada variable sobre cada factor. En ella se observa que el componente 1 tiene cinco cargas significativas y el componente 2, tres; sin embargo, el primero está más relacionado con *la calidad del aire, los olores y el ruido durante el día* y el segundo con *la libertad para caminar en las banquetas y la conservación de las banquetas*. Tomando en cuenta este hecho, una escala aditiva para el conjunto de variables de cada componente podría llamarse *aspectos ambientales y aspectos urbano-arquitectónicos*. La fiabilidad de estas escalas es de 0.81 y de 0.83 (alfa de Cronbach).

Tabla 2. Matriz de patrones.

Variables/Componentes	Cargas	
	1	2
1. La limpieza de las calles	0.60	-0.23
2. La calidad del aire	0.82	0.03
3. La seguridad ciudadana	0.64	-0.15
4. El ruido durante el día	0.76	0.06
5. Los olores	0.79	0.04
6. La conservación de las banquetas	0.02	-0.85
7. La libertad para caminar en las banquetas	-0.08	-0.94
8. La estética del entorno	0.22	-0.69

Para validar estos resultados se dividió la muestra, de manera aleatoria, en dos partes iguales y se estimaron los modelos de componentes principales para compararlos. Solamente en un caso el modelo es similar al descrito para la muestra completa, en el otro caso las variables 4 a 8 se agrupan en el primer componente y las variables 1 a 3 en el segundo. Aunque para la muestra completa, las variables tienen claramente dos dimensiones de valoración utilizadas por los encuestados, la prueba de validación mostró que dicha estructura no se generaliza a la población. Por lo tanto, en los análisis posteriores no se considerarán agrupadas estas variables.

Características más importantes para mejorar la zona

Los porcentajes de respuestas de las dos características más importantes para mejorar la zona de estudio, mencionadas por los encuestados en orden de importancia, se reportan en la figura 7. De esta figura se mencionan los siguientes aspectos relevantes:

- La primera característica más importante, mencionada por la mayoría de los encuestados, fue la misma en los cuatro sitios: la *seguridad ciudadana*, con el 47%, 54%, 33% y 39% de respuestas respectivamente en SMLR-1, SMLR-2, COY-1 y COY-2.
- La segunda característica más importante, mencionada por la mayoría de las personas, fue la *limpieza*, en los dos sitios de SMLR (ambos con 33% de las respuestas) y la *libertad para caminar en las banquetas* en los dos sitios de COY (con 22 % y 21% de respuestas en COY-1 y COY-2 respectivamente). En COY-1 la *seguridad ciudadana* también tuvo un 22% de respuestas.
- Aunque en SMLR-1 y COY-1 *el ruido durante el día* fue la característica con la que menos satisfacción se tuvo (tabla 1), solamente un escaso porcentaje de personas lo mencionó como la primera característica más importante, 4% y 7%, respectivamente y solamente un 5% y 12%, respectivamente lo señaló como la segunda característica más importante. Cabe mencionar que en estos sitios, el intervalo de edades de las personas que mencionaron al ruido como la primera y segunda característica más importante para mejorar la zona fue amplio, pues estuvo entre 18 y 69 años y 16 y 80 años, respectivamente.

d) En SMLR-2 y COY-2 las características del entorno con las que menos satisfacción se tuvo fueron la *seguridad ciudadana* y la *conservación de las banquetas*, respectivamente (tabla 1). En el primer caso coincidió con la característica que fue mencionada, por un mayor número de personas, como la más importante para mejorar la zona; en el segundo caso solamente está relacionada con la que se mencionó como la más importante, que fue *la libertad para caminar en las banquetas*.

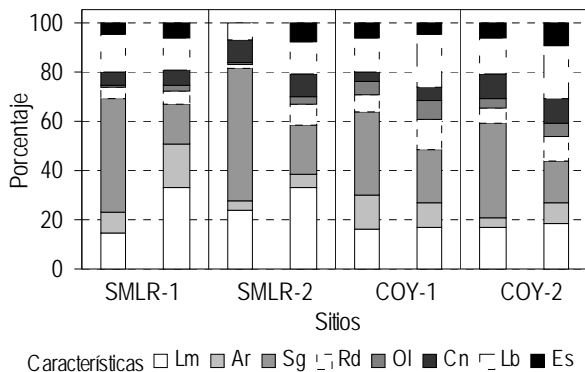


Figura 7. Primera y segunda característica más importante para mejorar la zona de estudio. La limpieza de las calles (Lm), la calidad del aire (Ar), la seguridad ciudadana (Sg), el ruido durante el día (Rd), los olores (Ol), la conservación de las banquetas (Cn), la libertad para caminar en las banquetas (Lb) y la estética del entorno (Es).

Gusto por la zona y por la calle

Se muestran en la figura 8, para cada sitio, los porcentajes de respuestas de la evaluación del *gusto por la zona* y del *gusto por la calle* donde se aplicaron las encuestas. Se observa en esta figura que, en el caso del *gusto por la zona*, los mayores porcentajes de respuestas se encuentran en las categorías de *regular* y *bastante* en el sitio SMLR-1 y en *bastante* y *muchísimo* en los otros tres sitios. Respecto al *gusto por la calle*, los mayores porcentajes de respuestas se encuentran en las categorías de *regular* y *bastante* en los dos sitios de SMLR y

en el sitio COY-1 y en *bastante* y *muchísimo* en el sitio COY-2. Los mayores porcentajes de respuestas en la categoría de *muchísimo*, para los dos tipos de gusto, se observan en COY-2.

Los valores de la media y desviación estándar de estas calificaciones son mostrados en la tabla 3.

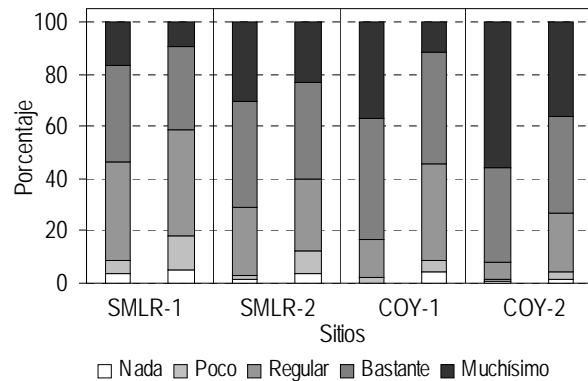


Figura 8. Calificación del gusto por la zona y por la calle de estudio.

Tabla 3. Media y desviación estándar de las respuestas del gusto por la zona (Zn) y por la calle (Cl).

	SMLR-1		SMLR-2		COY-1		COY-2	
Gusto por:	Zn	Cl	Zn	Cl	Zn	Cl	Zn	Cl
Media	6.5	5.6	7.4	6.7	7.8	6.3	8.5	7.5
DS	2.2	2.4	2.0	2.4	1.7	2.1	1.5	2.0

La información de la tabla 3 muestra los siguientes aspectos relevantes:

- En las dos zonas el valor medio del *gusto por la zona* es mayor que el valor medio del *gusto por la calle*.
- En el caso del *gusto por la zona*, los valores de la media fueron mayores en los sitios ubicados en vialidades secundarias (SMLR-2 y COY-2) que los de los ubicados en las vialidades primarias.
- Comparando los resultados del gusto por la zona con los de la satisfacción mostrados en la tabla 1, es interesante notar que en cada sitio el valor de la media del gusto por la zona es mayor que el valor de la satisfacción de cualquiera de las 8

características evaluadas. Es decir, que las personas encuestadas, en promedio tienen mayor gusto por la zona, que satisfacción con ciertas características de ésta.

- d) La desviación estándar, en los dos sitios de estudio, es menor en el caso del gusto por la zona que en el caso del gusto por la calle.

Para las respuestas del gusto por la zona y por la calle se investigó si existía diferencia significativa entre grupos de respuestas. Los resultados de este análisis son los siguientes:

- a) En ambas zonas, para los dos tipos de gusto, existe diferencia significativa entre los dos *sitios* de cada zona ($p < 0.01$). Siendo mayores los valores medios en los sitios ubicados en las vialidades secundarias (SMLR-2 y COY-2) que en los ubicados en las vialidades primarias (SMLR-1 y COY-1), como se observa en la tabla 3.
- b) Para los dos tipos de gusto existe diferencia significativa entre los sitios ubicados en *vialidades primarias* (SMLR-1 y COY-1) y entre los sitios ubicados en *vialidades secundarias* (SMLR-2 y COY-2) ($p < 0.01$ en ambos casos). En los dos casos es mayor el valor medio del gusto en COY que en SMLR (tabla 3).
- c) Existe diferencia significativa en los dos tipos de gusto, entre las respuestas de SMLR y las de COY ($p < 0.01$). En los dos casos los valores medios fueron menores en SMLR que en COY, respectivamente 7.0 y 8.1 para el gusto por la zona y 6.2 y 6.9 para el gusto por la calle.
- d) Considerando el *estatus residencial*. Para el *gusto por la zona*: solamente existe diferencia significativa en los dos sitios de SMLR ($p < 0.05$ y $p < 0.01$ respectivamente en SMLR-1 y SMLR-2). En ambos casos el valor medio de las respuestas de los que viven en el sitio es mayor que la de los que no viven ahí (7.1 y 6.2 respectivamente en SMLR-1 y 7.6 y 6.9 en SMLR-2). Para el

gusto por la calle solamente existe diferencia significativa en SMLR-2 ($p < 0.05$), donde los valores medios fueron 6.9 y 6.0 respectivamente para las respuestas de los que viven en el sitio y las de los que no viven ahí.

- e) Tanto en la evaluación del gusto por la zona como en la del gusto por la calle, no se encontró diferencia significativa entre las respuestas de las personas de diferente *sexo* y diferente *nivel de estudios*.
- f) Entre los grupos de respuestas de personas con diferente *edad* se observó diferencia significativa sólo en el caso del gusto por la zona ($p < 0.01$). La calificación media del gusto por la zona incrementa conforme la edad es mayor (desde 7.4 para el grupo de 16-24 años, hasta 8.1 para el grupo de más de 55 años).

La relación entre el gusto por la zona y la satisfacción con las 8 características del entorno evaluadas, en términos del coeficiente de correlación r de Spearman y el nivel de significancia, se muestran en la tabla 4. En esta tabla se observa que todos los coeficientes de correlación son positivos; sin embargo los valores varían entre 0.11 y 0.35. Estos valores indican que ninguna de las características explica un alto porcentaje de la varianza del gusto por la zona.

Tabla 4. Relación entre la satisfacción con las ocho características del entorno evaluadas y el gusto por la zona.

Satisfacción con.../Gusto por la zona		
	SMLR	COY
La limpieza de las calles	0.22**	0.25**
La calidad del aire	0.24**	0.24**
La seguridad ciudadana	0.17**	0.11*
El ruido durante el día	0.18**	0.18**
Los olores	0.21**	0.21**
La conservación de las banquetas	0.18**	0.18**
La libertad para caminar en las banquetas	0.22**	0.20**
La estética del entorno	0.34**	0.35**

7.3. Efectos provocados por el ruido

La influencia del ruido de las calles en: 2 tipos de actividades, 3 clases de distracción o perturbación y 3 tipos de sentimientos efectos psicofisiológicos se han analizado como efectos en las personas. Éstos son: (1) no salir a la calle para dar un paseo, (2) no caminar como medio de transporte, (3) distracción de los pensamientos, (4) distracción de la conversación, (5) distracción de la atención visual, (6) irritabilidad, (7) sobresalto y (8) molestia en los oídos.

Considerando que, en las preguntas de la encuesta sobre los efectos en las actividades y en los sentimientos (1, 2, 6, 7 y 8) no se hizo referencia al ruido de un sitio en particular, para el análisis se consideraron en conjunto los datos obtenidos en los cuatro sitios. El mismo criterio se aplicó en el caso de las preguntas sobre las distracciones (3, 4 y 5), porque si bien en éstas, se hizo referencia al ruido del sitio donde se realizó la encuesta, se verificó que no existe diferencia significativa entre las respuestas de las dos zonas.

La figura 9 muestra los porcentajes de respuestas de los 8 efectos del ruido mencionados.

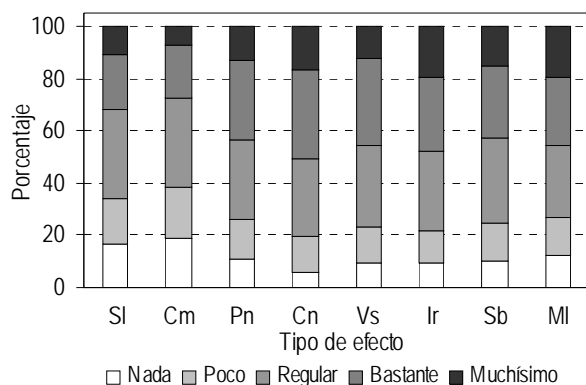


Figura 9. Calificaciones de los efectos provocados por el ruido de la calle: no salir a la calle para dar un paseo (SI), no caminar como medio de transporte (Cm), distracción de los pensamientos (Pn), distracción de la conversación (Cn), distracción de la atención visual (Vs), irritabilidad (Ir), sobresalto (Sb) y molestia en los oídos (MI).

Se observa en la figura 9 que, para todos los efectos, los mayores porcentajes de respuestas se encuentran en las categorías de *regular* y *bastante*. Los dos efectos que muestran los mayores porcentajes de respuestas en las categorías de *muchísimo* y *nada* son: en el primer caso *la irritabilidad y la molestia en los oídos* (20% respectivamente) y en el segundo caso, *no salir a la calle para dar un paseo y no caminar como medio de transporte* (17% y 19% respectivamente).

Comparando los 8 casos, en términos de los valores de la media y la desviación estándar, que se muestran en la tabla 5, se observa lo siguiente. Estos valores son similares entre los grupos formados por los 2 tipos de actividades, las 3 clases de distracción y los 3 tipos de sentimientos. Lo cual sugeriría que las personas dieron la misma respuesta en las preguntas de estos grupos. Para comprobar este hecho se verificó la existencia de diferencia significativa entre los efectos de los grupos mencionados, los resultados son los siguientes:

a) en el primer grupo sí existe diferencia significativa ($p < 0.05$),

b) en el segundo grupo no existe diferencia significativa entre las respuestas de la *distracción de los pensamientos* y las de la *atención visual* (mencionadas a los encuestados en primero y tercer lugar); pero sí existe diferencia entre éstas y la *distracción de la conversación* (mencionada a los encuestados en segundo lugar) ($p < 0.05$),

c) en el tercer grupo no existe diferencia significativa entre las respuestas de los tres efectos.

En los dos primeros grupos se confirmó que los encuestados no dieron respuestas iguales a los efectos de cada grupo. Sin embargo, en el último caso, el hecho de que no exista diferencia significativa también podría deberse a que las personas consideraron análogos estos efectos.

En la tabla 5 se observa que, de todos los efectos provocados por el ruido en la calle, los que influyen en mayor medida en las personas son la *distracción de la conversación* y la *irritabilidad*.

Tabla 5. Media y desviación estándar de los efectos provocados por el ruido de la calle.

	Efectos							
	SI	Cm	Pn	Cn	Vs	Ir	Sb	MI
\bar{x}	4.8	4.5	5.5	6.0	5.6	5.9	5.6	5.6
DS	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	2.8	2.7	2.9

Efectos: no salir a la calle para dar un paseo (SI), no caminar como medio de transporte (Cm), distracción de los pensamientos (Pn), distracción de la conversación (Cn), distracción de la atención visual (Vs), irritabilidad (Ir), sobresalto (Sb) y molestia en los oídos (MI).

Se realizaron pruebas para verificar la existencia de diferencias significativas en las respuestas de los efectos, entre grupos de respuestas. Los resultados son los siguientes:

- En ningún caso se encontró diferencia significativa entre las respuestas de los que *viven en la zona* y las de los que *no viven ahí*.
- Solamente en el caso del efecto de *sobresalto* existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las respuestas de los *hombres* y las de las *mujeres*. El valor medio de afectación en los hombres es menor que el de las mujeres (5.4 y 5.8 respectivamente).
- Entre los grupos de respuestas de personas con diferente nivel de *estudios* se observó diferencia significativa solamente en el caso del efecto de *irritabilidad* ($p < 0.05$). El valor medio en este efecto incrementa conforme incrementa el nivel de estudios (desde 5.4 para el grupo de personas con estudios de hasta secundaria, hasta 6.2 para el grupo de personas con estudios universitarios).
- En todos los casos de efectos existe diferencia significativa entre las respuestas

de los grupos de personas con diferente *edad* ($p < 0.05$ en el caso de la *distracción de la conversación* y $p < 0.01$ en los otros casos). En general, el valor medio del efecto incrementa con la edad; sin embargo, este hecho se observa solamente desde el grupo de 16-24 hasta el de 45-54; en el último grupo, que son las personas mayores de 55 años, disminuye el valor medio del efecto, (ubicándose en general, entre los valores correspondientes a los grupos de 25-34 y 35-44). Por ejemplo, en el caso del efecto de *no caminar como medio de transporte*, los valores medios fueron: 3.8, 4.1, 4.7, 5.6 y 4.6 para los grupos de 16-24, 25-34, 35-44, 45-54 y >55 años respectivamente.

Finalmente se analizó la relación entre los 8 efectos estudiados y la satisfacción con el ruido, en términos del coeficiente de correlación de Spearman y de la significancia, mostrados en la tabla 6. Los coeficientes de correlación son significativos y negativos en todos los casos, lo que indica que cuanto mayor es el efecto en las actividades, distracciones y sentimientos analizados, menor es el grado de satisfacción con el ruido.

Los valores de los coeficientes de correlación varían entre 0.15 y 0.28, lo que indica que ninguno de los efectos explica un alto porcentaje de la varianza de la satisfacción con el ruido.

Tabla 6. Relación entre los 8 efectos provocados por el ruido y la satisfacción con el ruido.

Efecto/Satisfacción con el ruido							
SI	Cm	Pn	Cn	Vs	Ir	Sb	MI
-0.20	-0.15	-0.22	-0.23	-0.20	-0.28	-0.27	-0.28

Todos los coeficientes son significativos con $p < 0.01$.

Efectos: no salir a la calle para dar un paseo (SI), no caminar como medio de transporte (Cm), distracción de los pensamientos (Pn), distracción de la conversación (Cn), distracción de la atención visual (Vs), irritabilidad (Ir), sobresalto (Sb) y molestia en los oídos (MI).

7.4. Creencias relacionadas con el ruido y estrategias para afrontarlo

En este apartado se analizan 4 creencias relacionadas con el ruido y seis estrategias utilizadas por las personas para enfrentar el ruido de las calles.

Creencias relacionadas con el ruido

Se evalúa en esta sección en qué medida cree la gente que el ruido que hay en las calles: (1) afecta la salud, (2) es un problema de contaminación, (3) es un asunto complejo de resolver y (4) es un tema importante para las autoridades. Considerando que en las preguntas de la encuesta sobre estas cuatro creencias se hizo referencia al ruido de las calles en general, para el análisis se consideró el conjunto de los datos obtenidos en los cuatro sitios.

La figura 10 muestra los porcentajes de respuestas correspondientes a estas creencias.

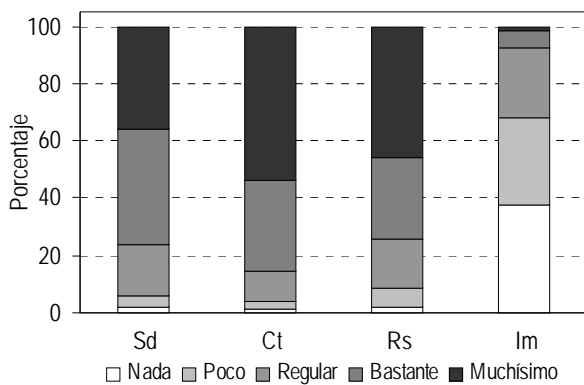


Figura 10. Calificación de las creencias de que el ruido: afecta la salud (Sd), es un problema de contaminación (Ct), es un asunto complejo de resolver (Rs) y que es un tema importante para las autoridades (Im).

En la figura 10 se observa que en las tres primeras creencias predominan los porcentajes de respuestas en las categorías de *bastante* y *muchísimo*. De éstas, la que tiene mayor número de respuestas en la categoría de *muchísimo* es la creencia de que el ruido *es un*

problema de contaminación (54%). En el caso de la creencia sobre *la importancia que tiene el tema del ruido para las autoridades*, el mayor porcentaje de respuestas se encuentra en la categoría de *nada* (38%) y solamente el 1% de las personas cree que el interés de las autoridades es *muchísimo*.

En la tabla 7 se muestran los valores de la media y desviación estándar de las respuestas de las cuatro creencias mencionadas. Se observa en esta tabla que las creencias de que *el ruido afecta la salud* y la de que *el ruido es un asunto complejo de resolver* tienen valores medios similares. De las cuatro creencias, la de que *el ruido es un problema de contaminación* tiene el valor medio más alto. La creencia de que *el ruido es un tema importante para las autoridades* muestra el valor de la media más bajo. La variabilidad de las respuestas en los cuatro casos es similar, pues presentan valores de la desviación estándar de entre 2.0 y 2.4.

Tabla 7. Media y desviación estándar de las creencias relacionadas con el ruido.

	Creencias			
	Sd	Ct	Rs	Im
\bar{x}	7.5	8.2	7.6	2.7
DS	2.1	2.0	2.4	2.3

Creencias de que el ruido: afecta la salud (Sd), es un problema de contaminación (Ct), es un asunto complejo de resolver (Rs) y que es un tema importante para las autoridades (Im).

Para los 4 tipos de creencias se hicieron pruebas, para verificar la existencia de diferencias significativas, en los grupos de respuestas de personas con diferente estatus residencial, sexo, nivel de estudios y edad. Los resultados son los siguientes:

- a) Entre las respuestas de los que *viven en el sitio* y las de los que *no viven ahí*, así como entre las de los grupos de diferente *nivel de estudios*, no existe diferencia significativa en las 4 creencias.

- b) Para los grupos de respuestas de personas de diferente *sexo* se observó diferencia significativa en los casos de las creencias de que el ruido *afecta la salud* y *es un asunto complejo de resolver*, ($p < 0.05$ y $p < 0.01$ respectivamente). En los dos casos es mayor el valor medio de las respuestas de las mujeres que el de los hombres (respectivamente 7.3 y 7.7 en el primer caso y 7.4 y 7.9 en el segundo).
- c) En las respuestas de los grupos de diferente *edad*, existe diferencia significativa en tres creencias: *el ruido afecta la salud* ($p < 0.01$), *es un problema de contaminación* ($p < 0.01$) y *es un asunto complejo de resolver* ($p < 0.05$). El valor medio de las dos primeras creencias incrementa con la edad, desde el grupo de 16-24 hasta el de 45-54; en el último grupo, que son las personas mayores de 55 años, disminuye este valor. Así, para los grupos de 16-24, 25-34, 35-44, 45-54 y >55 años, la media es de 6.5, 7.5, 8.0, 8.2 y 7.9 para la creencia de que *el ruido afecta la salud* y 7.6, 8.3, 8.5, 8.5, 8.3 para la creencia de que *el ruido es un problema de contaminación*. En el caso de la creencia de que *el ruido es un asunto complejo de resolver*, el grupo de las personas mayores de 55 tiene el valor medio más bajo (7.4, 7.9, 7.9, 7.7, 7.0).

Finalmente se consideró interesante analizar la relación entre a) los ocho efectos y la creencia de que el ruido afecta la salud y b) entre las tres creencias de que el ruido: es un problema de contaminación, es un asunto complejo de resolver y es un tema importante para las autoridades y la creencia de que el ruido afecta la salud. La tabla 8 muestra los coeficientes de correlación de Spearman de dichas relaciones. Se observa que todos los coeficientes son significativos. En el caso de los efectos, todas las relaciones son positivas; de éstos, los que tienen mayor correlación con dicha creencia son los tres sentimientos (la irritabilidad, el

sobresalto y la molestia en los oídos). Es decir, que cuanto más fuerte es el efecto en estos sentimientos mayor es la creencia de que el ruido afecta la salud. En el caso de las creencias, aquella de que el ruido *es un problema de contaminación* es la que muestra el mayor coeficiente de correlación.

Tabla 8. Relación entre ambos: efectos y creencias y la creencia de que el ruido afecta la salud.

Efectos/Creencia de que el ruido afecta la salud							
SI	Cm	Pn	Cn	Vs	Ir	Sb	MI
0.29	0.27	0.37	0.39	0.32	0.51	0.51	0.57
Otras creencias/Creencia de que el ruido afecta la salud							
Ct	Rs	Im					
0.73	0.34	-0.16					

Todos los coeficientes son significativos con $p < 0.01$. *Efectos*: no salir a la calle para dar un paseo (SI), no caminar como medio de transporte (Cm), distracción de los pensamientos (Pn), distracción de la conversación (Cn), distracción de la atención visual (Vs), irritabilidad (Ir), sobresalto (Sb) y molestia en los oídos (MI). *Creencias*: el ruido: es un problema de contaminación (Ct), es un asunto complejo de resolver (Rs) y es un tema importante para las autoridades (Im).

Estrategia

Las estrategias para enfrentar el ruido de las calles, incluidas en la encuesta, fueron: (1) trata de no poner atención, (2) realiza una queja ante las autoridades, (3) camina más de prisa, (4) piensa que hay problemas peores en la ciudad, (5) se acostumbra y (6) evita los sitios ruidosos. De las seis estrategias, tres están enfocadas en *emociones* (1, 4 y 5) y tres en *acciones* (2, 3 y 6).

La figura 11 muestra los porcentajes de personas que eligieron cada estrategia. En esta figura se observa que la estrategia que mayor número de personas eligió fue la de *acostumbrarse*. La estrategia de *realizar una queja ante las autoridades* fue la que menor porcentaje de personas señaló como su estrategia para enfrentar el ruido que hay en las calles.

Estos resultados muestran que el 67% de los encuestados eligió las estrategias enfocadas en *emociones*, mientras que un 33% eligió las enfocadas en *acciones*.

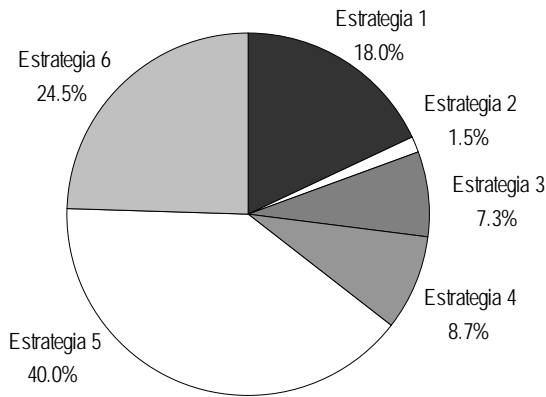


Figura 11. Porcentajes de personas que eligieron cada estrategia para afrontar el ruido de las calles. Estrategias: (1) trata de no poner atención, (2) realiza una queja ante las autoridades, (3) camina más de prisa, (4) piensa que hay problemas peores en la ciudad, (5) se acostumbra y (6) evita los sitios ruidosos.

Considerando dos grupos, de acuerdo con el tipo de estrategia elegida para enfrentar el ruido (*emociones* y *acciones*), se verificó si existe diferencia significativa en las respuestas de los 8 efectos y las 4 creencias analizados previamente. En los casos de los 8 efectos y en las creencias de que *el ruido afecta la salud* y de que *el ruido es un problema de contaminación* existe diferencia significativa ($p < 0.01$) entre los dos grupos. En las otras dos creencias: *el ruido es un asunto complejo de resolver* y *el ruido es un tema importante para las autoridades* no existe diferencia significativa entre los dos grupos.

Los valores medios de estos efectos y creencias se muestran en la tabla 9. En general, los valores son mayores para el grupo de personas que usa estrategias enfocadas en *acciones* que para el grupo que usa estrategias enfocadas en *emociones*.

Tabla 9. Media de las respuestas de los efectos y creencias relacionados con el ruido, de acuerdo con el tipo de estrategia utilizada para enfrentar el ruido, emociones (1) y acciones (2).

Efectos	Estrategia	
	1	2
No salir a la calle para dar un paseo	4.5	5.5
No caminar como medio de transporte	4.1	5.2
Distracción de los pensamientos	5.1	6.1
Distracción de la conversación	5.8	6.5
Distracción de la atención visual	5.4	6.2
Irritabilidad	5.5	6.7
Sobresalto	5.2	6.3
Molestia en los oídos	5.3	6.4
Creencias sobre el ruido		
Afecta la salud	7.2	8.0
Es un problema de contaminación	7.9	8.7
Es un asunto complejo de resolver	7.7	7.4
Es un tema importante para las autoridades	2.7	2.7

7.5. Percepción del ruido

Se presentan, a continuación, los resultados de la evaluación del nivel de ruido que percibieron las personas en *la ciudad*, en *la zona de estudio*, en *la calle de estudio* y en *la vivienda*. En este mismo orden se muestran en la figura 12 los porcentajes de respuestas de tal evaluación, para cada sitio de estudio.

Se observa en la figura 12 que, para los cuatro casos de percepción de ruido, fueron similares las respuestas obtenidas en los cuatro sitios. El mayor porcentaje de respuestas para la percepción del ruido: en *la ciudad* se encuentra en la categoría de *muchísimo*, en *la zona* en la categoría de *bastante* y en *la calle* en la categoría de *regular*. En el caso de la percepción del ruido en *la vivienda*, los mayores porcentajes de respuestas se observan en la categoría de *poco* (en los dos sitios de SMLR y en COY-2 y en la categoría de *regular* en COY-1).

En la tabla 10 se muestran los datos de la media y desviación estándar de la evaluación del nivel de ruido en los tipos de espacio mencionados. Se observa que las evaluaciones del nivel de ruido en los tres tipos de espacios abiertos fueron mayores que las de la vivienda.

El valor de la media decrece conforme el espacio evaluado disminuye en tamaño. Sucede lo contrario con la desviación estándar, que en promedio para los cuatro sitios, aumenta conforme el espacio de que se trata disminuye en tamaño. Es decir, que hubo mayor variabilidad al evaluar el ruido que percibe el encuestado en su vivienda que al evaluar el ruido que percibe en la ciudad.

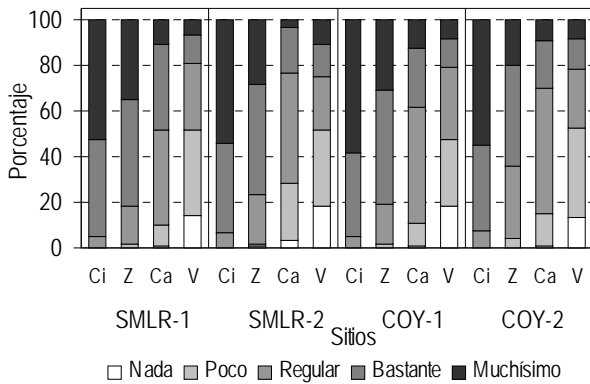


Figura 12. Calificación de la percepción del nivel de ruido en la ciudad (Ci), en la zona de estudio (Z), en la calle en el momento de la encuesta (Ca) y en la vivienda de la persona encuestada (V).

Tabla 10. Media y desviación estándar de la evaluación del nivel de ruido en la ciudad, en la zona, en la calle y en la vivienda.

Ruido en la:		SMLR-1	SMLR-2	COY-1	COY-2	4 sitios
Ciudad	\bar{x}	8.5	8.5	8.6	8.5	8.5
	DS	1.3	1.4	1.3	1.4	1.4
Zona	\bar{x}	7.8	7.6	7.7	6.9	7.5
	DS	1.7	1.7	1.6	1.8	1.7
Calle	\bar{x}	6.3	5.0	6.0	5.6	5.7
	DS	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0
Vivienda	\bar{x}	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
	DS	2.6	2.9	2.6	2.6	2.7

Se hicieron pruebas para verificar la existencia de diferencias significativas entre grupos de respuestas. Los resultados, considerando las respuestas de la percepción del nivel de ruido en la ciudad, en la zona y en la calle, son los siguientes:

- a) En el caso de la percepción de ruido en la ciudad no existe diferencia significativa entre los cuatro sitios.
- b) En la percepción de ruido en la zona, existe diferencia significativa en las respuestas obtenidas en cada zona ($p < 0.01$). El valor medio en SMLR es mayor que en COY (7.7 y 7.3 respectivamente).
- c) En la percepción del ruido en la calle, existe diferencia significativa entre las respuestas obtenidas en SMLR-1 y SMLR-2. Como se observa en la tabla 10, el valor medio en SMLR-1 es mayor que en SMLR-2. En el caso de los dos sitios de COY no hay diferencia significativa, los valores de la media fueron similares. Entre los sitios SMLR-1 y COY-1 no existe diferencia significativa; sin embargo esta diferencia sí se observa entre SMLR-2 y COY-2.

Los resultados, considerando las respuestas de la percepción del nivel de ruido en los cuatro tipos de espacios estudiados, de las diferencias entre los grupos de respuestas de las personas con diferente estatus residencial, sexo, nivel de estudios y edad, son los siguientes:

- a) En las respuestas de percepción de ruido en la ciudad solamente se encontró diferencia significativa entre las de los hombres y las de las mujeres ($p < 0.01$). Los hombres calificaron menos ruidosa la ciudad que las mujeres (valores medios de 8.4 y 8.7, respectivamente).
- b) En el caso de la percepción de ruido en la zona, existe diferencia significativa entre las respuestas de los hombres y las de las mujeres y entre las respuestas de los grupos de personas con diferente edad ($p < 0.01$ en ambos casos). En el primer caso los hombres calificaron menos ruidosa la zona de estudio que las mujeres (media: 7.2 y 7.8, respectivamente). En el segundo caso, conforme aumenta la edad (desde el grupo de 16-24 hasta el de 45-54 años), las

personas calificaron como más ruidosa la zona de estudio. En el grupo de personas de más de 55 años disminuyó esta percepción. Así, para los grupos de 16-24, 25-34, 35-44, 45-54 y >55 años, la evaluación media fue de 7.2, 7.4, 7.7, 7.9 y 7.4, respectivamente.

- c) En las respuestas de ruido en la calle no existió diferencia significativa entre los grupos.
- d) Para las respuestas de ruido en la vivienda solamente existe diferencia significativa entre las personas con diferente *nivel de estudios* ($p < 0.05$). Aquellas personas que tienen el nivel más alto de estudios consideraron que el ambiente en su vivienda es menos ruidoso que aquellos que tienen menor nivel de estudios (valores medios de 4.4, 4.3 y 3.7 respectivamente para los grupos de personas con nivel de estudios de hasta secundaria, preparatoria o carrera técnica y universidad).

Considerando en conjunto los datos de los cuatro sitios se analizaron las siguientes relaciones: a) entre la percepción del ruido en la zona y la satisfacción general con el entorno de la zona y b) entre ambos: efectos y creencias relacionadas con el ruido y la percepción del nivel de ruido en la zona.

La primera relación fue negativa y significativa ($r = -0.3$, $p < 0.01$). Este resultado muestra que entre mayor es la percepción del nivel de ruido menor es la satisfacción con el entorno. Aunque tal percepción explicaría un escaso porcentaje de la varianza de la satisfacción.

La tabla 11 muestra los coeficientes de correlación para las relaciones del inciso b. En esta tabla se observa que, en todos los casos las relaciones son positivas y significativas ($p < 0.01$). El *efecto* y la *creencia*, con los que está más relacionada la percepción del nivel de ruido son el *sobresalto* y la creencia de que *el ruido afecta la salud*.

Tabla 11. Relación entre ambos: los efectos y creencias relacionados con el ruido y la percepción del nivel de ruido en la zona.

Efectos/Percepción del nivel de ruido en la zona							
Sl	Cm	Pn	Cn	Vs	Ir	Sb	MI
0.22	0.17	0.30	0.31	0.29	0.35	0.38	0.34
Creencias/Percepción del nivel de ruido en la zona							
Sd	Ct	Rs					
0.49	0.46	0.39					

Todos los coeficientes son significativos con $p < 0.01$. *Efectos*: no salir a la calle para dar un paseo (Sl), no caminar como medio de transporte (Cm), distracción de los pensamientos (Pn), distracción de la conversación (Cn), distracción de la atención visual (Vs), irritabilidad (Ir), sobresalto (Sb) y molestia en los oídos (MI). *Creencias* de que el ruido: afecta la salud (Sd), es un problema de contaminación (Ct), es un asunto complejo de resolver (Rs) y que es un tema importante para las autoridades (Im).

7.6. Molestia provocada por el ruido

En esta sección se presentan los resultados de la evaluación de la molestia provocada por ocho fuentes sonoras presentes en la calle donde se aplicó la encuesta (identificadas como fuentes sonoras aisladas) y por el ruido en general (percibido en el momento en que fue realizada la encuesta).

En la figura 13 se muestran, para cada sitio de estudio, los porcentajes de respuestas de molestia provocada por las siguientes fuentes sonoras: (1) los claxonazos, (2) el transporte público, (3) los vehículos particulares, (4) las sirenas de vehículos de emergencia, (5) las motocicletas, (6) la música de establecimientos cercanos, (7) los vendedores ambulantes, (8) las voces y (9) el ruido en general.

Se observa en la figura 13 que, para una mayor proporción de personas, la evaluación de la molestia provocada por cada fuente sonora fue la siguiente:

- a) Los claxonazos y el transporte público provocaron *muchísima* molestia en los cuatro sitios.

b) El ruido de los vehículos particulares provocaron *bastante* molestia en los sitios SMLR-1 y COY-1 y *regular* molestia en SMLR-2 y COY-2.

c) El ruido de las sirenas de vehículos de emergencia y el de las motocicletas provocaron *regular* molestia en los cuatro sitios.

d) La música de establecimientos cercanos molestó *muchísimo* en SMLR-1 y *regular* en los otros tres sitios.

e) El ruido de los vendedores ambulantes molestó *muchísimo* en SMLR-1, *regular* en SMLR-2, *bastante* en COY-1 y *poco* en COY-2.

f) Las voces de las personas provocan *regular* molestia en los dos sitios de SMLR y *poca* molestia en los dos sitios de COY.

g) El ruido en general provocó a la mayoría de las personas *regular* molestia en los cuatro sitios.

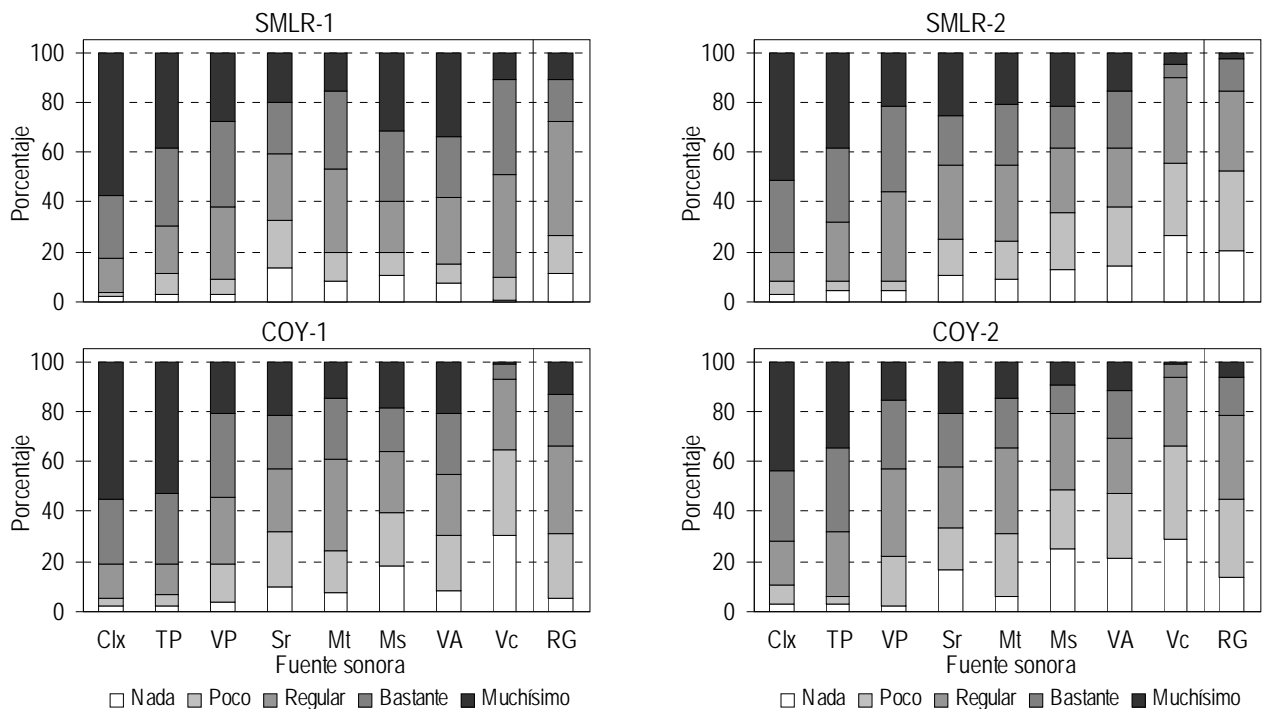


Figura 13. Calificaciones asignadas a la molestia provocada por: los claxonazos (Clx), el transporte público (TP), los vehículos particulares (VP), las sirenas (Sr), las motocicletas (Mt), la música de establecimientos cercanos (Ms), los vendedores ambulantes (VA), las voces (Vc) y el ruido en general (RG).

La tabla 12 muestra los valores de la media y de la desviación estándar de la molestia, expresada para cada una de las fuentes sonoras, en los cuatro sitios de estudio. En general se observa que los valores medios fueron mayores en los sitios ubicados en las vialidades primarias que en las secundarias. En los cuatro sitios, las fuentes sonoras con los valores medios más alto y más bajo fueron

respectivamente *los claxonazos y las voces de las personas*.

En los cuatro sitios la mayor variabilidad se observó en las respuestas de molestia provocada por *las sirenas de vehículos de emergencia, la música de establecimientos cercanos y los vendedores ambulantes* (desviación estándar entre 2.9 y 3.2).

Tabla 12. Media y desviación estándar de la evaluación de la molestia provocada por las ocho fuentes sonoras aisladas y por el ruido en general.

Fuentes Sonoras									
	Clx	TP	VP	Sr	Mt	Ms	VA	Vc	RG
SMLR-1									
\bar{x}	8.2	7.1	6.8	5.4	5.8	6.5	6.7	3.2	5.1
DS	2.2	2.5	2.4	3.1	2.7	3.1	2.9	2.3	2.5
SMLR-2									
\bar{x}	7.9	7.2	6.5	5.9	5.7	5.3	5.1	3.5	3.8
DS	2.4	2.5	2.3	3.1	2.8	3.1	3.1	2.5	2.4
COY-1									
\bar{x}	8.0	7.9	6.3	5.5	5.5	5.0	5.6	3.0	5.2
DS	2.2	2.2	2.5	3.0	2.7	3.2	2.9	2.3	2.6
COY-2									
\bar{x}	7.3	7.2	5.7	5.3	5.3	4.0	4.3	2.9	4.3
DS	2.5	2.2	2.4	3.2	2.7	2.9	3.1	2.1	2.5

Molestia provocada por: los claxonazos (Clx), el transporte público (TP), los vehículos particulares (VP), las sirenas (Sr), las motocicletas (Mt), la música de establecimientos cercanos (Ms), los vendedores ambulantes (VA), las voces (Vc) y el ruido en general (RG).

Para las respuestas de molestia provocada por las ocho fuentes sonoras y por el ruido en general, se verificó la existencia de diferencias significativas en los grupos de respuestas. Los resultados fueron los siguientes:

- Entre los dos sitios de SMLR existe diferencia significativa en la molestia provocada por: *la música de establecimientos cercanos, los vendedores ambulantes y el ruido en general* ($p < 0.01$). El valor medio de la molestia es mayor en el sitio ubicado en vialidad primaria que en secundaria. En los dos sitios de Coyoacán tal diferencia existe en la molestia provocada por: *los vehículos particulares* ($p < 0.05$), *el transporte público, la música de establecimientos cercanos, los vendedores ambulantes, los claxonazos y el ruido en general* ($p < 0.01$). Al igual que en la otra zona, el valor medio de la molestia es mayor en el sitio ubicado en vialidad primaria que en secundaria.
- Entre los dos sitios ubicados en vialidades primarias (SMLR-1 y COY-1) existe

diferencia significativa en la molestia provocada por: *el transporte público, la música de establecimientos cercanos y por los vendedores ambulantes* ($p < 0.01$). Entre los sitios ubicados en vialidades secundarias (SMLR-2 y COY-2) tal diferencia se observó en la molestia provocada por: *los vehículos particulares, la música* ($p < 0.01$), *los vendedores ambulantes y los claxonazos* ($p < 0.05$). No existe diferencia significativa en las respuestas de la molestia provocada por *el ruido en general* obtenidas en las dos vías primarias y en las dos secundarias. En los casos donde existe tal diferencia (excepto para el transporte público), el valor medio de la molestia es mayor en los sitios de SMLR que en los de COY (tabla 12).

- Entre las respuestas obtenidas en SMLR y COY existe diferencia significativa en la molestia provocada por *las motocicletas, los claxonazos, los vehículos particulares, la música de establecimientos cercanos y los vendedores ambulantes* ($p < 0.05$ en las dos primeras fuentes sonoras y $p < 0.01$ en las otras). En estos casos el valor medio de la molestia es mayor en SMLR que en COY. El caso donde existe mayor diferencia, entre los valores medios, es en la molestia provocada por *la música de establecimientos cercanos* (5.9 y 4.5 respectivamente en SMLR y COY).

Las diferencias significativas entre los grupos de personas son las siguientes:

- En los grupos de personas de diferente *sexo* se encontró diferencia significativa en la molestia provocada por el ruido de los *vehículos particulares, las voces y los claxonazos*. La molestia de las mujeres fue mayor que la de los hombres (los valores medios fueron respectivamente 6.0 y 6.7 en el primer caso, 2.8 y 3.5 en el segundo y 7.7 y 8.1 en el tercero).

- b) En los grupos de personas con diferente *nivel de estudios* se encontró diferencia significativa en la molestia provocada por el ruido de *las motocicletas, el transporte público, la música y los vendedores ambulantes*. Las personas con mayor nivel de estudios expresaron mayor molestia que aquellos con menor nivel de estudios. Así por ejemplo, en el caso de la molestia por el ruido de *los vendedores ambulantes*, los primeros tuvieron una evaluación media de 5.8 y los segundos de 4.6.
- c) En los grupos de personas con diferente *edad* se encontró diferencia significativa en la molestia provocada por *las voces, la música y los vendedores ambulantes*. Las personas de mayor edad mostraron una molestia superior a la de las personas con menor edad. Por ejemplo, en el caso de la molestia provocada por la música, los valores medios fueron 4.5, 4.9, 5.3, 5.8 y 6.4 respectivamente para los grupos de 16-24, 25-34, 35-44, 45-54 y >55 años.

Para las respuestas de la molestia provocada por *el ruido en general*, solamente se encontró diferencia significativa entre las respuestas de los grupos de personas con diferente *edad* ($p < 0.05$). Conforme aumenta la edad, del grupo de 16-24 al de 45-54 años, las personas expresaron mayor molestia provocada por el ruido en general, en el grupo de personas de más de 55 años, disminuyó esta molestia. Así, para los grupos de 16-24, 25-34, 35-44, 45-54 y >55 años, el valor medio de la molestia fue de 4.1, 4.7, 4.9, 5.0 y 4.6 respectivamente.

Considerando los datos de los cuatro sitios de estudio, en la figura 14 se muestran para las fuentes sonoras aisladas, los porcentajes de las calificaciones obtenidas en las categorías de 7 a 10 (que en escala verbal representan *bastante* y *muchísimo*). Se observa en la figura que las fuentes sonoras que molestan *bastante* o *muchísimo* a un mayor número de personas, están relacionadas con el transporte vehicular.

De éstas, las que destacan por tener los mayores porcentajes son: *los claxonazos, el transporte público y los vehículos particulares* (79%, 72% y 54% respectivamente). *Las sirenas de vehículos de emergencia, las motocicletas, la música de establecimientos cercanos y los vendedores ambulantes* son fuentes sonoras con porcentajes de molestia similares (41% en promedio). El ruido de *las voces* tuvo el menor porcentaje de calificaciones de *bastante* y *muchísima* molestia (18%).

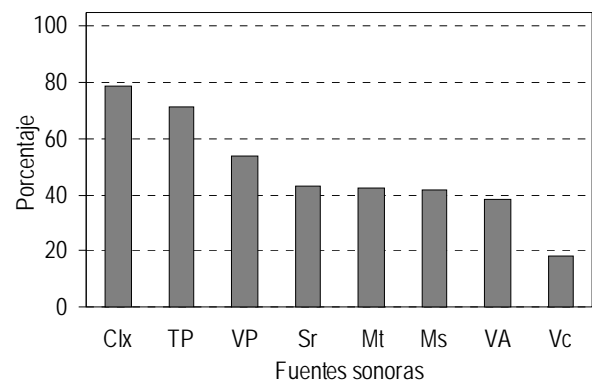


Figura 14. Porcentaje de respuestas, en las categorías de *muchísimo* y *bastante*, de molestia provocada por: Los claxonazos (Clx), el transporte público (TP), los vehículos particulares (VP), las sirenas (Sr), las motocicletas (Mt), la música de establecimientos cercanos (Ms), los vendedores ambulantes (VA) y las voces (Vc).

Se examinaron las relaciones entre la molestia provocada por el ruido en general y los siguientes aspectos previamente analizados: a) efectos provocados por el ruido de las calles, b) creencias relacionadas con el ruido, c) la percepción del ruido en la ciudad, en la zona y en la calle, d) las fuentes sonoras aisladas y e) las características demográficas: sexo, edad y nivel de estudios.

La tabla 13 muestra los resultados de las relaciones de los 4 primeros incisos, en términos del coeficiente de correlación de Spearman y su significancia. En la tabla se observa que todos los coeficientes de correlación son significativos; sin embargo,

la única relación fuerte es con el ruido percibido en la calle, donde éste explica el 56% de la varianza de la molestia.

La relación de la molestia con el sexo, la edad y el nivel de estudios mostró coeficientes de correlación no significativos de 0.03, 0.09 y 0.07 respectivamente.

Tabla 13. Relación entre la molestia provocada por el ruido en general y efectos, satisfacción con el entorno, creencias, percepción del ruido y fuentes sonoras.

Molestia/Efectos							
Sl	Cm	Pn	Cn	Vs	Ir	Sb	Ml
0.26	0.24	0.31	0.27	0.26	0.30	0.31	0.33
Molestia/Creencias				Molestia/Percepción-ruido			
Sd	Ct	Rs			R-cd	R-zn	R-cll
0.27	0.21	0.15			0.11	0.27	0.75
Molestia/Fuentes sonoras							
Clx	TP	VP	Sr	Mt	Ms	VA	Vc
0.23	0.29	0.37	0.22	0.29	0.27	0.30	0.33

Todos los coeficientes son significativos con $p < 0.01$. *Efectos*: no salir a la calle para dar un paseo (Sl), no caminar como medio de transporte (Cm), distracción de los pensamientos (Pn), distracción de la conversación (Cn), distracción de la atención visual (Vs), irritabilidad (Ir), sobresalto (Sb) y molestia en los oídos (Ml). *Creencias* de que el ruido: afecta la salud (Sd), es un problema de contaminación (Ct), es un asunto complejo de resolver (Rs) y que es un tema importante para las autoridades (Im). *Percepción* del ruido en: la ciudad (R-cd), la zona (R-zn) y en la calle (R-cll). *Fuentes sonoras*: los claxonazos (Clx), el transporte público (TP), los vehículos particulares (VP), las sirenas (Sr), las motocicletas (Mt), la música de establecimientos cercanos (Ms), los vendedores ambulantes (VA) y las voces (Vc).

Finalmente, se verificó si existe diferencia significativa entre las respuestas de molestia provocada por el ruido en general, considerando el tipo de estrategia que usan las personas para enfrentar el ruido. Los resultados mostraron que existe diferencia significativa entre las respuestas de las personas que usan estrategias enfocadas en emociones y las que usan estrategias enfocadas en acciones. El primer grupo expresó menor molestia que el segundo, los valores medios fueron 4.4 y 5.0 respectivamente.

7.7. Niveles de ruido

En este apartado se muestran los resultados de los índices de ruido registrados en el momento en el que se aplicó la encuesta y la relación entre éstos y las respuestas de molestia y percepción de ruido en la calle.

En la tabla 14 se muestran los valores de la media (aritmética) y la desviación estándar de los índices de ruido: el nivel de presión sonora continuo equivalente (Leq), el nivel máximo (Lmax), el nivel mínimo (Lmin) y los niveles L10, L50 y L90. Se observa en esta tabla que el valor de Leq, en los dos sitios de cada zona (vialidad primaria y secundaria) es diferente. Entre los sitios SMLR-1 y SMLR-2 y los sitios COY-1 y COY-2 existe una diferencia de aproximadamente 5 dBA y de 3 dBA respectivamente. En ambos casos Leq del sitio ubicado en vialidad primaria es mayor que el ubicado en vialidad secundaria. En los dos sitios ubicados en vialidades primarias (SMLR-1 y COY-1) el valor de Leq es igual y en los dos ubicados en vialidades secundarias (SMLR-2 y COY-2) existe una diferencia de tan sólo 2 dB entre ellos. Es importante mencionar que estos resultados fueron similares a los valores promedio obtenidos en las mediciones de ruido realizadas previamente en las vialidades tipo 2 y 3 en cada zona de estudio (ver capítulo 6, tabla 2).

El valor mayor del nivel máximo (Lmax) y el menor del nivel mínimo (Lmin) se midieron en los sitios SMLR-1 y SMLR-2 respectivamente.

El nivel L50 es, en general en los cuatro sitios, igual al Leq. El 10% del tiempo de medición el nivel sonoro fue mayor a 70 dBA en los sitios ubicados en vialidades primarias y en COY-2. Solamente en el sitio SMLR-2 el 90% del tiempo de medición el nivel sonoro no excedió 65 dBA.

Tabla 14. Media y desviación estándar de los niveles sonoros Leq, Lmax, Lmin, L10, L50 y L90.

Sitio		Nivel sonoro					
		Leq	Lmax	Lmin	L10	L50	L90
SMLR-1	\bar{x}	70.9	80.9	62.4	72.3	70.5	68.5
	DS	3.0	5.2	2.6	3.5	3.2	2.9
SMLR-2	\bar{x}	65.7	76.2	55.0	67.4	65.0	62.3
	DS	3.6	5.4	3.1	4.4	4.0	3.9
COY-1	\bar{x}	71.2	80.2	60.9	73.0	71.0	68.9
	DS	2.4	4.0	3.4	2.9	2.8	3.3
COY-2	\bar{x}	68.2	77.7	55.5	70.0	67.6	64.8
	DS	3.3	4.8	2.9	4.1	3.7	4.1

Con el conjunto de datos de los cuatro sitios se analizaron las relaciones entre el nivel sonoro, representado con los índices de ruido: Leq, Lmax, Lmin, L10, L50 y L90 y a) la molestia provocada por el ruido en general y b) la percepción de ruido en la calle. Dichas relaciones, en términos del coeficiente de correlación de Pearson y de la significancia, se analizaron con las respuestas de molestia y de percepción del nivel de ruido individual y promedio.

Respuesta individual

La tabla 15 muestra, para la respuesta individual, los coeficientes de correlación de Pearson entre la molestia y el nivel sonoro y entre la percepción del ruido y el nivel sonoro. Se observa en esta tabla que en los dos casos todos los coeficientes son significativos con $p < 0.01$. Los niveles sonoros que tienen mayor relación tanto con la molestia como con la percepción del ruido son el Leq y el Lmax. Aunque éstos explican un escaso porcentaje de la varianza de la molestia y de la percepción del ruido.

Tabla 15. Coeficientes de correlación de Pearson entre la molestia y el nivel sonoro y entre la percepción del nivel de ruido y el nivel sonoro.

Molestia/Nivel sonoro					
Leq	Lmax	Lmin	L10	L50	L90
0.39	0.34	0.31	0.32	0.32	0.29
Percepción del ruido/Nivel sonoro					
0.42	0.36	0.32	0.35	0.34	0.31

Todos los coeficientes son significativos con $p < 0.01$.

Respuesta promedio

Las relaciones mencionadas se analizaron con los promedios de la evaluación de la molestia, de la percepción del nivel de ruido y de los niveles sonoros mencionados, obtenidos para los intervalos de clase de 1 dB.

La figura 15 muestra la relación entre la molestia y los niveles sonoros Leq, Lmax, Lmin, L10, L50 y L90. Se observa en esta figura que las variables sonoras que tienen mayor correlación con la molestia son Leq y L10. Los coeficientes de correlación de Pearson son respectivamente 0.915 y 0.924 ($p < 0.01$ en los dos casos). Estos niveles explican, respectivamente, el 84% y 85% de la variación en la respuesta promedio de la molestia causada por el ruido.

En el caso de la relación entre la percepción del ruido y los niveles sonoros, se observa en la figura 16 que las variables sonoras que tienen mayor correlación con esta percepción son Leq y L50. Los coeficientes de correlación de Pearson son respectivamente 0.934 y 0.917 ($p < 0.01$ en los dos casos). Estos niveles sonoros explican, respectivamente, el 87% y 84% de la variación en la respuesta promedio de la percepción del nivel de ruido en la calle.

Cabe mencionar que al hacer el análisis de dichas relaciones, utilizando como nivel sonoro Leq, se observó que el coeficiente de correlación incrementaba más cuando el intervalo de Leq se encontraba entre 60 y 78 dBA.

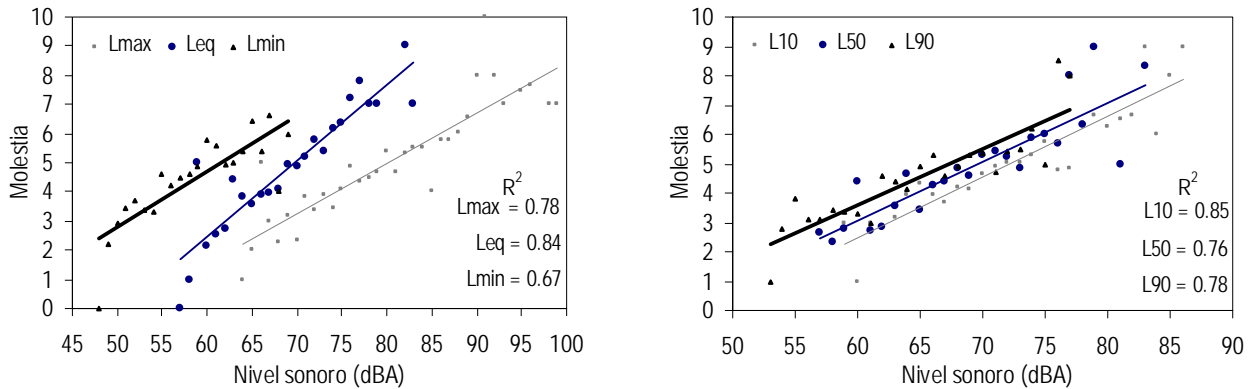


Figura 15. Relación entre los promedios, en intervalos de 1dB, de la evaluación de la molestia y los niveles sonoros Lmax, Leq, Lmin, L10, L50 y L90.

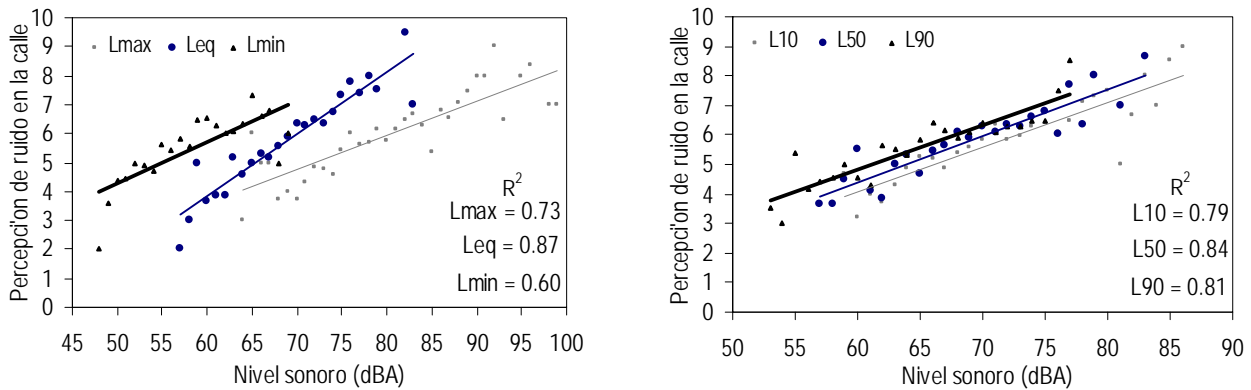


Figura 16. Relación entre los promedios, en intervalos de 1dB, de la percepción de ruido en la calle y los niveles sonoros Lmax, Leq, Lmin, L10, L50 y L90.

Discusión

Muestra

En los cuatro sitios de estudio el porcentaje de personas que accedió a contestar la encuesta, que se presentó como una investigación sobre problemas ambientales, fue escaso (25% en promedio), por lo que se tuvo que solicitar a un número grande de personas su participación para completar el número de encuestas programadas (600). En algunos estudios sociales sobre el tema del ruido, realizados en otros países, se ha reportado también escasa

participación, por ejemplo: en Canadá 20% (encuesta telefónica) [1] y en Thessaloniki, Grecia 20% (encuesta enviada al domicilio de las personas) [2]. Sin embargo, en otros estudios la participación de las personas ha sido mayor, por ejemplo: en Gotemburgo Suecia 62% [3], en Okinawa Japón 82.8% [4], en ocho ciudades de Nigeria 72.3% [5], en los tres casos la encuesta fue enviada a la vivienda de las personas.

En nuestro estudio existieron dos razones principales por las que las personas se negaron a contestar la encuesta en los cuatro sitios. La primera fue porque un gran número de

personas tenía prisa por llegar a su destino y la segunda porque, dadas las condiciones de inseguridad que se viven actualmente en la ciudad, las personas tuvieron desconfianza de proporcionar cualquier tipo de información.

Las muestras obtenidas en los cuatro sitios no fueron similares en todas sus características sociodemográficas analizadas, pues se verificó la existencia de diferencias significativas en el estatus residencial, el sexo y la edad de los encuestados; sin embargo, en las características del nivel de estudios y de la actividad realizada en la calle en el momento de la encuesta, no se observó tal diferencia. Cabe recordar otras diferencias que existen entre la población en general que habita en las dos zonas de estudio (capítulo 5: Metodología). La población de SMLR es más joven que la de Coyoacán, donde, menor número de personas habitan por hectárea, a diferencia de SMLR. El porcentaje de habitantes mayores de 15 años que tiene estudios de educación media superior o superior es mayor en Coyoacán que en SMLR. En este último sitio la mayoría de la población económicamente activa recibe un salario menor que los que habitan en Coyoacán. Además, aproximadamente tres cuartas partes de los residentes de Coyoacán viven en casa propia a diferencia de SMLR, donde la mitad tiene casa propia.

Tales diferencias entre las muestras de las zonas de estudio pudo influir en los resultados que a continuación se discuten.

Aspectos afectivos

La satisfacción con diversas características del entorno, en general, fue menor en la colonia Santa María la Ribera que en Coyoacán. Aunque en ambos casos la insatisfacción fue mayor en las vías primarias que en las secundarias, sobre todo con el ruido. Lo cual está de acuerdo con los niveles sonoros registrados en éstas durante la aplicación de las encuestas. En las vías primarias el ruido fue

mayor, 4 dBA en promedio, que en las secundarias, lo cual representa una diferencia entre perceptible y claramente perceptible [6].

La satisfacción con únicamente dos aspectos ambientales: ruido y olores fue evaluada de forma similar por los peatones que transitaban por las vialidades primarias de las zonas estudiadas. Esto probablemente se debió a que en estas vías el número de fuentes de contaminación son mayores, principalmente las relacionadas con el transporte vehicular, cuyo número contabilizado fue aproximadamente 4 veces más que en las secundarias (ver capítulo 6). Entonces, parece que la gente identificó que el volumen vehicular es fuente de contaminación, tanto sonora como del aire. Lo que estaría de acuerdo con los resultados de Klæboe [7], quien reporta que el tráfico vehicular y la contaminación del aire tienen efectos combinados sobre la molestia (en nuestro caso satisfacción) provocada por el ruido y por el olor del humo de los tubos de escape de los automóviles.

Aunque la satisfacción, en general, fue mayor en Coyoacán, solamente la satisfacción con la estética del entorno tuvo una calificación media aprobatoria en este lugar. Esto se debe probablemente a que este lugar tiene mayor número de espacios con valor histórico, arquitectónico y urbanístico, incluso mayor superficie arbórea que la colonia Santa María La Ribera.

La influencia, que algunas variables demográficas ejercieron sobre la satisfacción fue muy interesante. Las mujeres y los hombres expresaron una satisfacción con los olores similar; sin embargo, las mujeres fueron en sus evaluaciones más exigentes con aspectos como la limpieza, la calidad del aire, la seguridad, el ruido, y aspectos urbano arquitectónicos.

La edad tuvo una influencia en la satisfacción con: la limpieza de las calles, el ruido, y aspectos urbano arquitectónicos; de tal forma que, conforme aumenta la edad la satisfacción disminuye. Respecto al ruido, Yang y Kang [8] sugieren que los jóvenes (10-17 años) prefieren un paisaje sonoro más intenso, mientras que las personas mayores aprecian más los elementos sonoros naturales. Esta relación negativa, en el caso de la limpieza y el ruido, no está de acuerdo con otros resultados [citado en Ref. 4], que sugieren que la satisfacción con condiciones ambientales incrementa con la edad.

En general el nivel de estudios no influyó en la satisfacción con las características del entorno. Tampoco el hecho de que las personas vivieran en la zona de estudio o no vivieran ahí (por el trabajo, el estudio u otra razón sí conocían la zona).

De acuerdo con Winneke *et. al.* [9], la gente tiene una sensibilidad general hacia los efectos ambientales, lo cual fue observado en este estudio, donde la satisfacción con todas las características ambientales se agruparon en un mismo componente. Llamó la atención que también la satisfacción con la seguridad ciudadana se ubicó en este mismo componente. Este aspecto, junto con la contaminación del aire, el ruido, el calor, entre otros efectos adversos, ha sido considerado como un estresor ambiental [citado en Ref. 7].

Aunque el ruido durante el día fue la característica del entorno con la que menor satisfacción se tuvo en las vialidades primarias, solamente un escaso porcentaje de personas consideró que era lo más importante para mejorar la zona. Para ellas resultó más elemental, en primer lugar, la seguridad ciudadana y, en segundo la limpieza de las calles y la libertad para caminar en las banquetas. Desafortunadamente en la Ciudad de México estos problemas han alcanzado cifras importantes que se han visto reflejadas

en la opinión de las personas. Para dar un panorama al respecto, en el año 2007 el número de robos (denunciados) fue de 86 647; de éstos, aproximadamente el 28% fue a transeúntes [10]. Diariamente se recogen aproximadamente 12 000 toneladas de basura, de las cuales, se ha calculado conservadoramente, que el 10% se levanta de las avenidas principales [11]. Uno de los principales motivos por los que no se puede caminar libremente por las calles, es la instalación de puestos ambulantes. Según datos del año 2006, en la ciudad se contabilizaron aproximadamente 550 mil vendedores ambulantes que invaden las calles de la ciudad [12].

Respecto al gusto por las zonas y calles de estudio, los resultados mostraron que tal gusto es mayor en Coyoacán que en la colonia Santa María La Ribera. Se ha mencionado que ambos sitios tienen espacios con valor histórico, arquitectónico y urbanístico; sin embargo, en Coyoacán éstos son más numerosos y, al igual que la mayoría de las viviendas, se encuentran mejor conservados, más limpios y con mayor superficie arbórea que aquellos de la colonia Santa María La Ribera.

Se observó mayor gusto en las respuestas obtenidas en los sitios ubicados en vialidades secundarias que en los ubicados en vialidades primarias. Estos resultados podrían estar sugiriendo que en la respuesta de las personas influyó el hecho de que estos sitios se encuentran más cerca del área central de la zona, donde se ubican plazas reconocidas por sus características estéticas y su función como lugares de recreación.

Las personas que viven en la colonia Santa María La Ribera expresaron mayor gusto por este lugar que los que no viven ahí. Además, el gusto por la zona incrementó conforme la edad de los encuestados era mayor.

Lo que sugiere que en el gusto influyó al apego que sienten las personas por el lugar. Tal diferencia en el estatus residencial no se observó en Coyoacán, probablemente porque el número de personas encuestadas mayores de edad fue inferior en este lugar y porque los lugares de recreación, que atraen a personas de diferentes edades de otros lugares de la ciudad, han contribuido al gusto y apego por esta zona.

Las variables demográficas sexo y nivel de estudios no tuvieron influencia en la evaluación del gusto por la zona y por la calle.

Otro aspecto importante que mostraron los resultados fue que, en ambas zonas, las personas expresaron mayor gusto por la zona que satisfacción con características del entorno. La satisfacción con la estética del entorno mostró mayor relación con el gusto por la zona que otras características; sin embargo ésta, por sí sola, no explica un porcentaje alto de la varianza del gusto, lo que sugiere que otros aspectos, tales como el valor histórico, identidad o apego con los sitios de estudio también podrían influir en la evaluación de tal gusto.

Efectos provocados por el ruido

La distracción de la conversación y la irritabilidad fueron los efectos que tuvieron mayor impacto en las personas, su afectación fue muchísima en un importante porcentaje de personas (aproximadamente 20%).

En las evaluaciones de la irritabilidad, el sobresalto y la molestia en los oídos, no se observó diferencia significativa. Esto podría deberse al hecho de que las personas consideraron estos efectos como sentimientos análogos de desagrado asociados con la molestia provocada por el ruido. Como algunos autores [13,14] lo han señalado: la molestia provocada por el ruido puede estar relacionada con diversos sentimientos o reacciones como por ejemplo, perturbación, insatisfacción, preocupación, desagrado,

irritación, agobio, exasperación, incomodidad, inquietud, angustia, ansiedad, distracción, coraje, frustración, miedo y odio, entre otros.

El ruido causó mayor distracción de la conversación que de la atención visual y de los pensamientos. Esto se debe a que cuando la voz es enmascarada por sonidos que ocurren simultáneamente, la inteligibilidad de la palabra se afecta, perdiéndose información que puede ser importante para comprender el mensaje oral. De acuerdo con los resultados obtenidos en las mediciones de ruido, en los sitios donde se aplicaron las encuestas el nivel sonoro excedió 45 dB (Leq), que es el valor de referencia para tener una comunicación, a un metro de distancia, con una inteligibilidad del 100% [15]. Sin embargo, asumiendo que una inteligibilidad del 95% es aceptable, la comunicación sería satisfactoria solamente en las vías secundarias con una voz normal; pero en las primarias sería necesario que la conversación se hiciera con una voz elevada.

El ruido tuvo el menor efecto en actividades como salir a la calle para dar un paseo o caminar como medio de transporte; pues casi a la mitad de las personas el ruido no les afecta o les afecta poco en su decisión de salir.

Las variables demográficas sexo y nivel de estudios influyeron significativamente en la evaluación de la irritabilidad. Las mujeres y las personas con mayor nivel de estudios expresaron mayor irritabilidad hacia el ruido. Resultados diferentes sobre la influencia del sexo fueron reportadas por Siddiqui y Pandey [16], donde mujeres y hombres de la India no mostraron diferencias al evaluar el estrés provocado por el ruido de la ciudad.

La edad tuvo una relación positiva con todos los efectos analizados; sin embargo, esta relación es clara hasta la edad de 54 años, las personas de mayor edad mostraron más tolerancia al evaluar menos fuerte el impacto de tales efectos en ellos.

Este hecho podría deberse a que a las personas de mayor edad les preocupa en mayor medida otro tipo de problemas; o bien que su capacidad auditiva ha disminuido. Los espectros sonoros del ruido medido en las calles (ver capítulo 6) mostraron niveles altos en las frecuencias 1 a 4 kHz, que son frecuencias donde se ha mostrado que hay pérdida auditiva asociada con la edad avanzada [17].

Por otro lado, la satisfacción con el ruido tuvo una relación negativa con los efectos en las actividades, distracciones y sentimientos. Es decir que, cuanto mayores son tales efectos en las personas menor es el grado de satisfacción con el ruido. Estos resultados están en concordancia con los de Osada y Yoshida [18], quienes muestran que la insatisfacción con el ambiente está relacionada tanto con la molestia como con la perturbación de actividades ocasionadas por el ruido del tráfico vehicular.

Creencias relacionadas con el ruido

De las creencias que el ruido es un problema de contaminación, es un asunto complejo de resolver y que afecta la salud, la primera fue la más fuerte para la mayoría de las personas. Lo que parece estar de acuerdo con la previsión de la OECD [citado en Ref. 19], formulada a principios de la década de los noventa, sobre una mayor consciencia de la gente por la contaminación acústica en el futuro. Sin embargo, para aproximadamente dos terceras partes de las personas la creencia de que es un asunto complejo de resolver, es bastante o muy fuerte.

Aproximadamente una tercera parte de las personas encuestadas creen que la salud se afecta muchísimo. Sobre este tema estudios previos del ruido de aeronaves han obtenido los siguientes resultados. Por ejemplo, en un caso, aproximadamente el 35% de las personas encuestadas consideraron que el ruido no era bueno para su salud [20]. En otro trabajo se

reportó que el 57% de las personas consideraron que el ruido amenazaba mucho su salud [21]. Cabe mencionar que estudios previos han reportado que las personas niegan los efectos dañinos del ruido sobre ellos; pero asumen los efectos en otros [22,23]. Muestra de esto se reportó en un estudio social [24] donde, aproximadamente, el 60% de los encuestados estuvo totalmente de acuerdo con que el ruido ambiental es perjudicial para la salud de las personas; sin embargo, solamente a un 6% le afectaba mucho en su salud y a un 35% no le afectaba nada. Así mismo, en el estudio piloto que se realizó previo a este estudio, solamente un 19% consideró que su salud se afectaba muchísimo, 17% menos que los que opinaron, en el presente estudio, que la salud de las personas se afecta muchísimo por el ruido.

Los datos, sobre la creencia acerca de la importancia del tema del ruido para las autoridades, son consistentes con lo esperado, debido a la falta de credibilidad en las instituciones. Aproximadamente el 40% de los encuestados consideraron que tal importancia es nula. En la literatura sobre el tema se ha reportado que esta creencia está relacionada con la respuesta de molestia [22,23,25], sugiriendo que el efecto se da en esta forma: las personas saben que ellos no pueden controlar las emisiones de ruido, temen que la fuente de ruido o el ruido mismo provoca algún daño y, generalmente, asumen que la institución responsable de evitar esto no le da prioridad a la salud pública [22].

Diferencias significativas de sexo se encontraron en la creencia de que el ruido afecta la salud. Las evaluaciones de las mujeres son más fuertes que las de los hombres, probablemente porque generalmente las mujeres son las encargadas de la salud familiar en nuestra sociedad. Así mismo, la creencia de que el ruido es un asunto complejo de resolver es más fuerte en ellas que en ellos.

Las dos creencias mencionadas anteriormente y la de que el ruido es un problema de contaminación mostraron una relación positiva con la edad. Aunque es claro este hecho hasta la edad de 54 años, pues en las personas mayores de 55 años estas creencias son menos fuertes, sobretodo en la de que el ruido es un asunto complejo de resolver. En opinión de algunas personas de este grupo de edades, los problemas en la ciudad se pueden resolver si las autoridades tienen el interés de hacerlo.

Los ocho efectos provocados por el ruido, analizados, tienen una relación positiva con la creencia de que el ruido afecta la salud. Los efectos que tienen mayor correlación con dicha creencia son la irritabilidad, el sobresalto y la molestia en los oídos. Es decir, que cuanto más fuerte es el efecto en estos sentimientos mayor es la creencia de que el ruido afecta la salud.

La creencia de que el ruido es un problema de contaminación explicó poco más de la mitad de la varianza de la creencia de que el ruido afecta la salud. Al parecer, las personas están conscientes de que los efectos negativos asociados a la contaminación acústica, pueden afectar la salud.

Los resultados sobre las estrategias empleadas para enfrentar el ruido están de acuerdo con estudios previos [9,26], que indican que las mejores estrategias de afrontamiento al estrés producido por el ruido son aquellas centradas en las emociones y, en menor medida, aquellas enfocadas en enfrentar activamente el problema. En nuestro caso, aproximadamente dos terceras partes de los encuestados indicaron que para enfrentar el ruido emplean estrategias enfocadas en emociones (p.e. acostumbrarse) y sólo una tercera parte usa estrategias enfocadas en acciones (p.e. evitar los sitios ruidosos).

El uso de estrategias enfocadas en emociones es más efectivo, en la reducción de los ocho efectos y la molestia ocasionados por el ruido. En este sentido Guski [22] menciona que las

estrategias utilizadas para afrontar el ruido indirectamente pueden ser muy efectivas en la reducción de la molestia. Los resultados de Kuwano [27] muestran que las personas con dificultad para habituarse al ruido expresan mayor molestia que las que tienen facilidad para habituarse. En nuestro estudio, las personas que usan las estrategias enfocadas en emociones dieron una evaluación significativamente menor de tales efectos y molestia que las personas que usan las estrategias enfocadas en acciones. Además, en el primer grupo de personas, las creencias de que el ruido afecta la salud y que es un problema de contaminación, son significativamente menos fuertes.

Percepción del ruido

Los resultados mostraron que la percepción del nivel de ruido de los espacios públicos abiertos disminuye conforme el espacio evaluado se reduce en tamaño. Es decir, que las personas expresaron que la ciudad es más ruidosa que una zona o una calle en particular. Además, las personas percibieron más ruido en los espacios públicos abiertos que en su vivienda. Resultados similares fueron reportados por Yu y Kang [28], quienes sugieren que, al menos en términos de percepción aural, el ambiente de la vivienda es más tranquilo que el de los espacios públicos abiertos.

En la evaluación del nivel de ruido de la ciudad no se encontró diferencia significativa en las respuestas obtenidas en los cuatro sitios. Lo que mostró que en cualquier sitio de la ciudad, el ruido en ésta es evaluado de forma similar. Tal diferencia sí fue observada para el ruido existente en las dos zonas de estudio, la colonia Santa María La Ribera fue calificada como más ruidosa que Coyoacán. En ambos sitios fue mayor la percepción de ruido en las vías primarias que en las secundarias, lo cual fue congruente con los niveles de ruido registrados en éstas.

Las variables demográficas sexo, edad y nivel de estudios influyeron significativamente en ciertos casos de percepción del nivel de ruido. Los hombres calificaron menos ruidosa la ciudad y la zona de estudio que las mujeres; sin embargo tal diferencia no se observó en la evaluación de la calle. A este respecto, algunos estudios [8,28] han reportado que, en diversos tipos de espacios públicos abiertos no existen diferencias significativas entre las evaluaciones de los hombres y las de las mujeres.

La percepción de ruido en la zona tuvo una relación positiva con la edad, desde los 16 años hasta los 54; sin embargo, las personas mayores de 55 años dieron evaluaciones menos fuertes. Resultados similares a los de Yu y Kang [28], que mostraron una relación negativa entre la evaluación del nivel sonoro de espacios públicos abiertos y la edad, sugiriendo que conforme incrementa la edad las personas tienden a ser ligeramente más tolerantes.

El nivel de estudios no influyó en la evaluación del nivel de ruido de los espacios públicos abiertos. Resultados opuestos fueron reportados por Yu y Kang en espacios públicos abiertos de Europa y China [28]. Sin embargo, en la vivienda, las personas con mayor nivel de estudios perciben menos ruido en este espacio que aquellos que tienen menos estudios. Es probable que efectivamente sea menos ruidosa la vivienda de los primeros, debido a que éstos pueden tener mayor información sobre los efectos negativos del ruido y tratan de evitarlos al controlar el nivel sonoro en su vivienda. Los resultados de Karami [21] mostraron que este grupo de personas se preocupa más por los efectos del ruido en la salud.

De los ocho efectos estudiados, el que tuvo una relación más fuerte con la percepción del ruido fue el sobresalto. Las personas que reportaron mayor afectación, a través de sobresalto, dieron una evaluación mayor del nivel de ruido percibido. La mayoría de las personas

reportaron acostumbrarse o no poner atención al ruido; sin embargo, al parecer es muy importante para éstas aquellos ruidos intensos e inesperados (que por estas características tienen la capacidad de provocar sobresalto). En los sitios de estudio se registraron niveles sonoros máximos de hasta 81 decibels, que correspondieron a ruidos inesperados de vehículos de emergencia y claxonazos. Gran cantidad de la energía acústica asociada con estos ruidos se registró en el intervalo de frecuencias de 1 a 4 kHz, frecuencias a las que el oído humano es muy sensible.

Otras relaciones con la percepción del nivel de ruido que llamaron la atención, fueron con las creencias de que el ruido afecta la salud, es un problema de contaminación y es un asunto complejo de resolver. Cuando estas creencias son fuertes las personas perciben el nivel de ruido, más intenso. Guski [22] menciona que la creencia general de que la fuente sonora -no el ruido en sí mismo- tiene un efecto negativo en la salud, influye en una relación positiva entre la molestia y el nivel de ruido.

Molestia provocada por el ruido

Las fuentes sonoras que ocasionaron mayor molestia están relacionadas con el tráfico vehicular. Resultados similares se han reportado en estudios sobre la molestia provocada por el ruido urbano en ambientes habitacionales [5,29,30].

De estas fuentes sonoras, las que provocaron mayor molestia fueron los claxonazos, el transporte público y los vehículos particulares. Se ha comentado que, en términos del crecimiento vehicular, la ciudad ha alcanzado una situación alarmante en los últimos años. Generalmente las calles de la Ciudad de México tienen el problema de congestión vehicular y una consecuencia es el uso excesivo del claxon y el empleo de sirenas en los vehículos de emergencia. Probablemente por ello los

claxonazos ocuparon el primer lugar como fuente de molestia. Se observó que la gente es más tolerante con el ruido de las sirenas que con el ruido generado por el transporte vehicular. Esto podría explicarse por el hecho de que los peatones consideren que el primero es necesario e inevitable y, por tanto molesta en menor medida que el segundo, como lo han sugerido estudios previos [22,31].

Aunque los vehículos particulares que transitan por la ciudad, son más numerosos que el transporte público (éste representa tan sólo el 0.9% del total de vehículos que transitan por la ciudad [32]), éste molesta en mayor medida. La causa de esto puede ser, aparte del ruido que generan las unidades de este transporte, la opinión negativa que la mayoría de las personas tienen del servicio que se ofrece a través del servicio público de transporte en la ciudad [33].

Si bien las voces de las personas fue el ruido que, en general, provocó menos molestia, aproximadamente una cuarta parte de las personas reportó que les molestaba bastante o muchísimo. Entre éstas se encuentran las personas de mayor edad, quienes también reportaron sentir mayor molestia con la música y el ruido de los vendedores ambulantes, a diferencia de las personas más jóvenes. La respuesta a esto probablemente sea porque estos tipos de ruidos enmascaran sonidos importantes para las personas mayores. Los ruidos con información verbal se caracterizan por tener un alto contenido de información (aproximadamente en el intervalo de frecuencias de 250-5000 Hz) que puede distraer la atención y entonces, otras señales acústicas importantes en las calles podrían perderse o ser parcialmente percibidas, como por ejemplo teléfonos y señales de alerta.

La molestia provocada por el ruido en general fue similar en las dos vialidades primarias y en las dos secundarias y, al igual que la percepción de ruido en las calles, las

evaluaciones fueron mayores en las primarias que en las secundarias. Lo cual fue congruente con el ruido registrado en éstas.

En términos de las variables demográficas del estatus residencial, el sexo y el nivel de estudios, los resultados mostraron que no influyen significativamente en la molestia provocada por el ruido en general. De acuerdo con otros resultados, el estatus residencial en la evaluación de la molestia es, en general, insignificante en espacios públicos abiertos [28], al igual que el sexo [28,31,34,35]. Fields [31] reporta que el nivel de estudios no es un factor que influye en la molestia, contrario a Miedema y Vos [35], quienes sugieren que existe un ligero efecto. Aunque la relación reportada por estos autores es muy débil.

Las personas expresaron mayor molestia provocada por el ruido conforme aumenta la edad; sin embargo, este hecho se observó solamente en la evaluación de las personas de entre 16 y 54 años. Las personas de mayor edad fueron tan tolerantes con el ruido, como lo fueron las personas de entre 25 y 34 años. Resultados similares han sido mostrados por Miedema y Vos [35], quienes reportaron que personas relativamente jóvenes o relativamente mayores expresan menos molestia, contrario a Fields [31], quien no encontró evidencia clara de que la molestia está relacionada con la edad.

Niveles sonoros registrados

El nivel sonoro continuo equivalente (L_{eq}) promedio, medido durante la aplicación de las encuestas, resultó igual en las dos vialidades primarias y con una diferencia (no significativa) de 2 dBA en las dos secundarias. Entre estos dos tipos de vías, la diferencia (significativa) fue de 4 dBA en promedio. Estos resultados fueron similares a los obtenidos en las mediciones de ruido realizadas previamente en las vialidades tipo 2 y 3 (ver capítulo 6, tabla 2 y 3). Además se comprobó nuevamente la estratificación del ruido en este tipo de vías.

Es importante destacar un aspecto relevante que mostraron los datos del nivel de ruido Leq y las respuestas de: molestia, percepción del nivel de ruido en la calle y satisfacción con el ruido. A niveles sonoros iguales, registrados en las dos vialidades primarias y en las dos secundarias, se observó que:

a) Las respuestas de molestia obtenidas en cada tipo de vialidad no tuvieron diferencia significativa. Es decir que, tanto en Santa María La Ribera, como en Coyoacán, el ruido molestó en igual medida a las personas encuestadas.

b) Las respuestas de percepción del nivel de ruido y de satisfacción con el ruido mostraron diferencias significativas entre las vías secundarias de cada zona. Aunque la percepción de ruido fue menor en la calle secundaria de Santa María La Ribera que en la de Coyoacán, la satisfacción con el ruido también fue menor en la primera. En las vías primarias de las dos zonas las respuestas de percepción del nivel de ruido y de satisfacción con el ruido fueron similares.

Diversos resultados de trabajos previos [36] mostraron, para la relación entre la molestia y Leq , coeficientes de correlación de hasta 0.94 para la respuesta promedio de molestia. Lo cual es consistente con nuestros resultados, que mostraron, para evaluaciones subjetivas relacionadas con el ruido en calles urbanas, que el mejor índice de ruido es Leq , porque tuvo mayor correspondencia con la respuesta (individual y promedio) tanto de la molestia como de la percepción del nivel de ruido.

Para la respuesta promedio de dichas evaluaciones subjetivas, otros índices que también mostraron ser importantes fueron: L_{10} , L_{90} y L_{max} en el estudio de la molestia y L_{50} y L_{90} en el estudio de la percepción del nivel de ruido. Los resultados de Sato *et. al.* [37] también revelaron una relación fuerte entre la molestia y ambos: Leq y L_{max} . Namba y Kuwano [38] también indican que Leq tiene

una buena correspondencia con impresiones sonoras subjetivas (sonoridad). A este respecto la Organización Mundial de la Salud sugiere que los niveles sonoros Leq y L_{max} , desde un punto de vista práctico, pueden ser los niveles sonoros base para predecir la molestia [13].

Otro aspecto relevante, que mostraron las relaciones de la respuesta individual, entre la molestia y: a) el nivel sonoro Leq y b) la percepción del nivel de ruido en la calle, fue que el nivel de ruido que perciben los peatones explica mayor porcentaje de la variación de la molestia (56%), que lo que explica el nivel sonoro medido en el sitio (15%).

Finalmente, es importante mencionar lo siguiente. Los resultados de la relación entre Leq y la respuesta individual de molestia fueron consistentes con aquellos de estudios previos [36], donde se reportaron coeficientes de correlación de entre 0.21 y 0.52. Estos resultados mostraron que la variabilidad interindividual de molestia es muy grande. Es decir, que el nivel sonoro explica un escaso porcentaje de la varianza de la molestia. Por lo tanto, algunos autores [31,35,36] han sugerido que las variables no acústicas juegan un papel muy importante en la explicación de la reacción de las personas hacia el ruido. Por otro lado, la fiabilidad de la medición de la respuesta individual de molestia, puede ser afectada por la inestabilidad (en el tiempo) de las actitudes de los individuos hacia el ruido. Por estas razones se ha sugerido que si se considera la respuesta promedio de un grupo, los resultados de la medición de la molestia son repetibles en el tiempo y pueden ser una base firme para una política de control de ruido [39].

Conclusiones

El impacto del ruido en peatones fue estudiado en cuatro calles de dos zonas de la Ciudad de México a través de un estudio social, mediante la aplicación de una encuesta a 600 personas.

La participación de las personas en el estudio, que se presentó como una investigación sobre problemas ambientales, fue escasa, debido principalmente a la prisa y desconfianza de las personas.

Los resultados del estudio social mostraron que las personas sienten más satisfacción y gusto por Coyoacán que por Santa María La Ribera, probablemente porque el primer sitio tiene mayor número de espacios con valor histórico, arquitectónico y urbanístico. Aunque en ambos sitios existe menos satisfacción y gusto en las vías primarias que en las secundarias. La satisfacción con la estética del entorno no explica un alto porcentaje de la varianza del gusto por estos sitios, lo que sugiere que otros aspectos, como el apego, están influyendo.

El ruido no fue considerado lo más importante para mejorar las zonas de estudio, aunque éste provoca en un importante número de personas una gran insatisfacción, distracción de la conversación e irritabilidad. Con todo, el ruido no afecta actividades como salir a la calle a dar un paseo o caminar como medio de transporte; pues la mayoría de las personas usan estrategias como acostumbrarse o no poner atención para enfrentar indirectamente el ruido de las calles. Además, quienes usan tales estrategias sienten menor molestia por el ruido.

La mayoría de las personas tuvieron la creencia fuerte de que el ruido es un problema de contaminación, creencia que explicó más de la mitad de la varianza de la creencia de que el ruido afecta la salud. Lo que parece indicar que las personas están conscientes de que los efectos negativos asociados a la contaminación acústica pueden afectar la salud.

La falta de credibilidad en las instituciones se observó en el hecho de que, un importante número de personas, opinó que el interés de las autoridades en el problema del ruido es nulo. Además, un gran número de personas cree que este problema es muy complejo de resolver; sin embargo, las personas mayores no lo creen así.

Las personas, al evaluar su percepción de ruido en los espacios urbanos, opinaron que la ciudad es más ruidosa que la zona o calle en estudio. Aunque Santa María La Ribera fue calificada como más ruidosa que Coyoacán, los niveles sonoros medidos en el momento de la encuesta y previo a ésta, mostraron niveles sonoros similares.

Las personas que reportaron mayor afectación a través del sobresalto, o tuvieron las creencias fuertes de que el ruido afecta la salud, es un problema de contaminación y es un problema complejo de resolver, dieron evaluaciones más intensas del nivel de ruido percibido.

Como se esperaba, el ruido relacionado con el tráfico vehicular dominó el ambiente sonoro en las calles y esto se reflejó en las respuestas de molestia. Los claxonazos, el transporte público y los vehículos particulares provocaron la mayor molestia, que resultó similar en los dos sitios de estudio.

Se encontró que el mejor índice de ruido para las evaluaciones subjetivas fue el nivel sonoro continuo equivalente. La relación entre éste y la molestia mostró que existe una variabilidad interindividual muy grande, lo que indica que probablemente existen otras variables no acústicas que influyen en este sentimiento. Además, se observó que la percepción del nivel de ruido explica mayor porcentaje de la variación de la molestia que el propio nivel sonoro.

Considerando la respuesta promedio, el nivel sonoro explicó un alto porcentaje de la variación de la molestia.

En términos generales, se observó cierta influencia de las variables demográficas sobre la evaluación de la satisfacción con el entorno, los efectos y las creencias relacionadas con el ruido, la percepción de ruido y la molestia.

Las mujeres expresaron menor satisfacción con la limpieza, la calidad del aire, la seguridad ciudadana, el ruido y aspectos urbano-arquitectónicos. Así mismo, sintieron mayor irritabilidad hacia el ruido y fueron más intensas las creencias de que el ruido afecta la salud y que es un asunto complejo de resolver, en ellas que los hombres. Las mujeres percibieron más ruido en la ciudad y en la zona de estudio que los hombres; sin embargo el ruido les molestó en la misma medida que a ellos.

El nivel de estudios de las personas encuestadas solamente influyó en la evaluación de la irritabilidad provocada por el ruido de las calles y en la percepción de ruido en su vivienda. Quienes reportaron mayor nivel de estudios se sintieron más irritados y consideraron que su vivienda era menos ruidosa que los que tienen menor grado de estudios.

La edad tuvo una relación negativa con la satisfacción con la limpieza, el ruido y aspectos urbano-arquitectónicos. La relación fue positiva con los efectos provocados por el ruido, con las tres creencias de que el ruido: afecta la salud, es un asunto complejo de resolver y es un problema de contaminación, con la percepción del ruido en la zona y con la molestia provocada por el ruido. Sin embargo, esta relación es clara hasta la edad de 54 años; pues las personas mayores de 55 años expresaron menos afectación, sus creencias fueron menos intensas, la percepción de ruido fue menor, así como su molestia provocada por el ruido.

Referencias

- [1] Michaud DS, Keith SE, McMurphy D. Annoyance and disturbance of daily activities from road traffic noise in Canada. *J Acoust Soc Am* 2008;123(2):784-792.
- [2] Nathanail C. Urban environmental noise in Greece: a social survey. *Forum acusticum* 2005, Budapest, Hungary.
- [3] Öhrström E. Longitudinal surveys on effects of changes in road traffic noise—annoyance, activity disturbances, and psycho-social well-being. *J Acoust Soc Am* 2004;115(2):719-729.
- [4] Miyakita T. et al. Population-based questionnaire survey on health effects of aircraft noise on residents living around U.S. Airfields in the Ryukyus -part I. *J Sound Vibr* 2005;250(1):129-137.
- [5] Onuu MU. Road traffic noise in Nigeria: Measurements, analysis and evaluation of nuisance. *J Sound Vibr* 2000;233:391-405.
- [6] Sancho Vendrell FJ, Llinares Galiana J, Llopis Reyna A. op cit. p 94.
- [7] Klæboe R, Kolbenstvedt M, Clench-Aas J, Bartonova A. Oslo traffic study -part 1: an integrated approach to assess the combined effects of noise and air pollution on annoyance. *Atmospheric Environment* 2000;34:4727-4736
- [8] Yang W, Kang J. Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces. *Appl Acoust* 2005;66:211-229.
- [9] Winneke G, Neuf M, Steinheider B. Separating the impact of exposure and personality in annoyance response to environmental stressors, particularly odours. *Environmental International* 1996;22:73-81.
- [10] Procuraduría General de Justicia del D.F. Dirección General de Política y Estadística Criminal. *Estadística Anual 2007*. Disponible en: <http://www.pgjdf.gob.mx>. Consultada el 25 de octubre de 2008.
- [11] Terra Noticias. Arrojan capitalinos toneladas de basura a las calles, publicado el 29 de marzo de 2008. Disponible en: <http://www.terra.com.mx>. Consultada el 25 de octubre de 2008.
- [12] Diario el siglo de Torreón. *Pone el ejemplo el DF: acabó con ambulantes*, publicado el 9 de marzo de 2008. Disponible en: <http://www.elsiglodetorreon.com.mx>. Consultada el 25 de octubre de 2008.

- [13] WHO. Berglund B, Lindvall T (Eds). Community noise. World Health Organization, Stockholm: Stockholm University and Karolinska Institute; 1995.
- [14] Guski R, Felscher-Suhr U, Schuemer R. The concept of noise annoyance: how international experts see it. *J Sound Vibr* 1999;223(4):513-527.
- [15] EPA. United States Environmental Protection Agency. Noise and Urban Pedestrian Areas. Report: 550/9 80-321, November 1980.
- [16] Siddiqui RN, Pandey J. Coping with environmental stressors by urban slum dwellers. *Environment and Behavior* 2003;35(5):589-604.
- [17] Bies DA, Hansen CH. Engineering Noise Control: theory and practice. Great Britain: Allen & Unwin; 1988, p 68.
- [18] Osada Y, Yoshida T. Path analysis of the community response to road traffic noise. *J Sound Vibr* 1997;205(4):493-498.
- [19] WHO. Community noise. Stockholm, Sweden: Archives of the Center for Sensory Research; 1995.
- [20] Lim Ch, et al. Effect of background noise levels on community annoyance from aircraft noise. *J Acoust Soc Am*, 2008; 123, 766–771.
- [21] Karami K, Frost S. Nuisance caused by aircraft noise in the vicinity of Tehran International Airport. *Environmental Management and Health* 1999;10(2):90-95.
- [22] Guski R. Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. *Noise & Health* 1999;3:45-56.
- [23] Job RFS, Hatfield J. Effective communication on health messages regarding noise-induced health effects. *Noise & Health* 2000;2:33-38.
- [24] Libro blanco sobre los efectos del ruido ambiental en la sociedad y su percepción por parte de la ciudadanía. Madrid, Abril de 2008.
- [25] Schomer PD. Criteria for assessment of noise annoyance. *Noise Control Eng J* 2005;53(4):125-137.
- [26] Ruiz C, Hernández B, Hernández-Fernaud E. Estrategias de afrontamiento al estrés producido por el ruido percibido dentro de la vivienda. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano* 2004;5(1 y 2):133-152.
- [27] Kuwano S, Morimoto M, Matui T. A questionnaire survey on noise problems with elderly people. *Acoust Sci & Tech* 2005;26(3):305-308.
- [28] Yu L, Kang J. Effects of social, demographical and behavioral factors on the sound level evaluation in urban open spaces. *J Acoust Soc Am* 2008;123(2):772–783.
- [29] Zannin PH, Calixto A, Diniz FB, Ferreira JAC. A survey of urban noise annoyance in a large Brazilian city: the importance of a subjective analysis in conjunction with an objective analysis. *Environmental Monitoring Impact Assessment Review* 2003;23:245-255.
- [30] Martín MA. Exposure effect relationships between road traffic noise annoyance and noise cost valuations in Valladolid, Spain. *Appl Acoust* 2006;67:945-958.
- [31] Fields M. Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas. *J Acoust Soc Am* 1993;93(5):2753-2763.
- [32] SETRAVI. Informe enero-abril de 2007. Disponible en: www.setravi.df.gob.mx. Consultada el 15 de mayo de 2007.
- [33] D. Canal y Soto. Los microbuses, nudo ciego del transporte popular en el DF. *Revista Gente Sur*, 15. Diciembre 15, 2005. Disponible en: <http://www.gentesur.com.mx> Consultada el 25 de marzo de 2007.
- [34] Fyhry A, Klæboe R. Direct, indirect influences of income on road traffic noise annoyance. *Journal of Environmental Psychology* 2006;26:27-37
- [35] Miedema HME, Vos H. Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. *J Acoust Soc Am* 1999;105(6):3336-3344.
- [36] Job RFS. Community response to noise: A review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction. *J Acoust Soc Am* 1988;83(3):991-1001.
- [37] Sato T, Yano T, Björkman M, Rylander R. Road traffic noise annoyance in relation to average noise level, number of events and maximum noise level. *J Sound Vibr* 1999;203(5):775-784.
- [38] Ecological Psychoacoustics. Elsevier, Great Britain, 2004. Cap. 7, S. Namba, S. Kuwano. *Environmental Acoustics: Psychological Assessment of noise*.
- [39] Hall FL, Taylor SM. Reliability of social survey data on noise effects. *J Acoust Soc Am* 1982;72(4):1212-1221.

Conclusiones generales y recomendaciones para la lucha contra el ruido urbano

Conclusiones generales

Este trabajo de investigación mostró que el ruido en espacios públicos abiertos es un problema importante en las dos zonas estudiadas de la Ciudad de México. En los dos tipos de espacios estudiados, vialidades y plazas, los niveles sonoros registrados fueron mayores a los valores recomendados por organismos internacionales para evitar el efecto de molestia durante el día.

Los resultados indicaron que en las plazas, espacio público abierto de reunión muy importante en la ciudad, la contaminación acústica es de consideración, mostrando que el ocio urbano también es una fuente significativa de ruido.

Los resultados han puesto de manifiesto que en la Ciudad de México, con más de 3 millones de vehículos, un importante porcentaje de la variación del ruido medido en las vialidades se debe al flujo vehicular.

El estudio mostró que el ruido en la ciudad se encuentra estratificado. Las cinco categorías propuestas para el sistema vial de la Ciudad de México resultaron adecuadas, pues entre éstas los índices de ruido decrecen significativamente conforme el tipo de vialidad cambia. Los niveles sonoros registrados en las vialidades tipo 1 a 4 son inaceptables porque podrían inducir a una deficiencia auditiva (aunque esto también depende del tiempo de

exposición) o producir perturbaciones de los modelos de comportamiento y síntomas de daño grave, producir interferencia de las actividades y provocar molestia grave. Solamente en la vialidad tipo 5 se observó un nivel aceptable para evitar el efecto de molestia grave. Subjetivamente el ambiente sonoro en las vialidades tipo 1 se percibiría como cuatro veces más ruidoso que el de las vías tipo 5.

Aunque, una comparación general mostró que, en el mundo, existen ciudades con mayor contaminación por ruido que en la Ciudad de México, una gran parte de ella está expuesta a niveles de ruido altos e inaceptables.

El estudio social mostró que, aunque el ruido no fue considerado lo más importante para mejorar las zonas de estudio, éste tiene un impacto negativo importante en la satisfacción con los espacios estudiados, en la distracción de la conversación y en la irritabilidad. Sin embargo, no afecta actividades de uso de las calles; pues, la mayoría de las personas, enfrentan indirectamente el ruido que hay en éstas a través de estrategias emocionales, que ayudan a expresar menor molestia por el ruido.

Los resultados indican también que las personas están conscientes de que los efectos negativos asociados a la contaminación acústica pueden afectar la salud. Sin embargo, creen que este problema es muy complejo de resolver. Aunado a esto, creen que el interés de

las autoridades en el problema del ruido es nulo.

Las personas perciben más ruido en la ciudad en general, que en la zona o calle en estudio. Aunque los niveles sonoros fueron similares en las dos zonas estudiadas, se percibió más ruido en aquella donde existe menor satisfacción y gusto por la misma. Además, aquellas personas que expresaron mayor afectación a través del sobresalto o tuvieron creencias fuertes sobre otros efectos negativos del ruido, percibieron mayor ruido.

El ruido relacionado con el tráfico vehicular dominó el ambiente sonoro en las calles. Los claxonazos, el transporte público y los vehículos particulares provocaron la mayor molestia.

Se verificó una variabilidad interindividual muy grande en la respuesta de molestia provocada por el ruido, lo que indica que existen variables no acústicas que influyen en este sentimiento. Por ejemplo, la percepción del nivel de ruido explicó mayor porcentaje de la variación de la molestia que el propio nivel sonoro. Sin embargo, el nivel sonoro explicó un alto porcentaje de la variación de la molestia promedio.

En términos generales se observó cierta influencia de las variables demográficas. Las más importantes fueron el sexo y la edad. Las mujeres, en algunos casos, son más exigentes y menos tolerantes que los hombres. La edad tuvo una relación negativa con ciertos aspectos y positiva en otros; sin embargo, en el segundo caso, las personas mayores de 55 años expresaron menos afectación, sus creencias fueron menos intensas, la percepción de ruido fue menor, así como su molestia provocada por el ruido.

El estudio mostró que las calles en la ciudad tienen altos niveles sonoros que impactan de forma negativa a sus usuarios. Este tipo de espacio juega un importante papel en la

movilidad urbana de los capitalinos, que en algún momento del día son peatones.

En los últimos años se ha visto un incipiente interés, de parte de las autoridades y de los ciudadanos, por el rescate de la habitabilidad de los espacios públicos abiertos y por el fomento del tránsito de los peatones, que es numeroso. Pero que también es vulnerable, porque se expone a factores negativos, como la contaminación sonora. Sin embargo, en los programas para lograr tales objetivos, este tipo de contaminación no ha sido integrado. Es importante que este tema sea tomado en cuenta, porque puede ser disuasivo de la movilidad a pie y del uso del espacio público abierto. Si la calidad del espacio público aumenta, la gente optará por pasar más tiempo en éste y podrá desarrollar una amplia gama de actividades.

Los resultados de este trabajo no sólo muestran un panorama del problema de ruido en la Ciudad de México, sino que sirven de base para trabajos futuros de mayor dimensión sobre la contaminación sonora.

Para esto, el trabajo futuro de investigación que se requiere es conocer la situación de ruido en la ciudad y el impacto que tiene éste en los habitantes, para entonces poder actuar en consecuencia contra este tipo de contaminación. Es necesario para esto realizar mapas de ruido que permitan determinar la exposición al ruido de los habitantes de la ciudad, siguiendo para ello, la experiencia y recomendaciones de países que ya lo han puesto en marcha [1]. Además, se requiere de un estudio social para conocer cómo responden los mexicanos a las condiciones actuales de ruido y cuáles son las variables que modifican su respuesta.

Con esta información, además de campañas de información y de educación para la población y medidas de carácter técnico y administrativo, se podrá sustentar una política de lucha contra el ruido en la ciudad.

Recomendaciones para la lucha contra el ruido urbano

La lucha contra el ruido requiere de una solución multidisciplinaria, como ha sido mostrado en diversos países [2,3], donde, desde hace varios años han puesto en práctica planes de acción, que incluyen medidas relacionadas con la información, la educación y la investigación, medidas técnicas y administrativas.

Medidas relacionadas con la información, la educación y la investigación

“Llamar al ruido una molestia es como llamar al smog una inconveniencia. El ruido debe ser considerado un peligro para la salud de las personas dondequiera” [4].

A diferencia de otros problemas ambientales, cuyos efectos son indiscutibles en la salud, el ruido afecta de forma compleja la salud y bienestar de las personas, lo cual dificulta atribuirle efectos dañinos graves o inmediatos. Simplemente se le asocia con la molestia y se acepta como algo inevitable relacionado con la vida urbana.

Aunado a esto, el aspecto cultural juega otro papel importante en la aceptación del ruido. De forma que, lo que una sociedad puede considerar como ruido para otra solamente represente una manifestación de la vida cotidiana. Tal es el caso de la sociedad mexicana, donde generalmente todo evento familiar o público (político, religioso, deportivo, cultural, etc.) está acompañado con altos niveles sonoros producidos por las mismas personas, la música o instrumentos empleados para generar ruido.

Es probable que por estas razones la población en México no haya adquirido la consciencia de que el ruido es perjudicial para la salud, que en unos casos es una falta de respeto a las reglas

de convivencia y que además afecta el bienestar.

Para que el ruido sea considerado un verdadero problema de contaminación, es necesario que a la población se le proporcione información objetiva sobre, por ejemplo: los efectos que produce el ruido en las personas, los niveles de ruido que existen en los diferentes tipos de espacios habitables, los niveles de ruido recomendados por organismos internacionales para evitar los efectos dañinos en dichos espacios y las medidas para controlar o reducir esta contaminación.

También es importante informar sobre la cuantificación de la contaminación sonora, pues es evidente esta falta de conocimiento. Por ejemplo, en el programa de protección ambiental del D.F. 2002-2006 [5], se afirma lo siguiente: “los niveles de ruido en la ciudad frecuentemente triplican las normas internacionales consideradas como adecuadas para la salud”. Al referirse a un estudio en la ciudad efectuado en 1985 por la Comisión de Ecología del D.F. se indica que: “alrededor del aeropuerto se alcanzan niveles de ruido de hasta 150 decibeles y en otras zonas de la metrópoli los autobuses y camiones generan ruido por arriba de 120 decibeles”. También se hace referencia a otro estudio realizado en vialidades de la delegación Venustiano Carranza en 1989 y 1990 por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, dice que: “al comparar las mediciones de estos dos años se encontró una disminución del ruido, en 1989 se detectaron niveles de entre 80 dB y 86 dB mientras que en 1990 estos fueron entre 70 dB y 76 dB”. Tal disminución del ruido lo atribuyeron al programa *hoy no circula*. Esto significaría que dejaron de circular 9 vehículos de cada 10, lo cual no fue así.

En la ciudad de México se ha diseñado un programa de monitoreo de ruido en el Centro Histórico, que recientemente ha sido anunciado y difundido a través de los medios de comunicación [6], mencionado, por ejemplo [7] que: “en esta zona se han registrado niveles sonoros que exceden las normas internacionales, en algunos sitios se han registrado 70 decibeles, cuando lo normal deberían ser 40 decibeles”.

Estos dos ejemplos muestran varios hechos. Al parecer, la escala de decibeles se ha considerado lineal, al decir que los niveles de ruido triplican las normas internacionales; no se ha comprendido que los niveles recomendados por organismos internacionales (por ejemplo: OMS y OCDE) son un promedio de la energía sonora sobre un periodo de tiempo y no el nivel sonoro máximo medido, como el de 150 dB reportado en el estudio de la Comisión de Ecología del D.F. Además se desconoce que las guías de los organismos internacionales se refieren al nivel sonoro para un tipo de espacio o uso de suelo, que debería observarse en horarios determinados para evitar un tipo de afectación específica.

Por otro lado, es importante, a través de la educación, influir en la conducta de las personas para prevenir la generación del ruido; motivando, además, la responsabilidad y el compromiso que tiene cada individuo en la lucha contra el ruido. Estas acciones pueden ser un instrumento muy importante al fomentar cambios en los comportamientos y en la conciencia ciudadana, al estimular una respuesta activa frente al problema, que individualmente se enfrenta principalmente acostumbrándose o ignorando el problema.

Otro aspecto importante en la lucha contra el ruido es el apoyo financiero para la investigación científica sobre, por ejemplo: la situación actual de la contaminación sonora en nuestras ciudades, los efectos del ruido ambiental en los mexicanos y los métodos de

reducción o control del ruido. También es importante la formación de especialistas en materia de métodos de medida, análisis y evaluación de la contaminación por ruido.

En la Ciudad de México el tema del ruido urbano se abordó científicamente por primera vez en 1959; sin embargo, hasta la fecha el trabajo científico ha sido escaso y limitado, pues la investigación se ha quedado en un nivel exploratorio. Tal es el caso del programa de monitoreo de ruido en el Centro Histórico [6], financiado por el gobierno de la ciudad a través del Instituto de Ciencia y Tecnología del D.F. y con apoyo del Instituto Politécnico Nacional. Aunque es el primer programa de monitoreo permanente en la ciudad, no ha sido presentado con un plan integral para abatir el problema de ruido en dicha zona.

Medidas técnicas

Algunas medidas de carácter técnico para controlar o disminuir el ruido urbano son las siguientes.

La planeación urbana es una medida muy importante que ayuda a evitar que el problema de la contaminación sonora se incremente y a prevenir que se genere en nuevos sitios. Por esto, los programas de desarrollo urbano deben tener en cuenta criterios de protección contra la contaminación sonora. Especialmente la asignación de los usos de suelo debe buscar que no se superen los valores límite de inmisión de ruido recomendados para prevenir los efectos negativos de éste. Procurar especial atención al impacto del desarrollo de usos no residenciales potencialmente ruidosos (industrial, comercial, etc.) sobre el uso del suelo residencial. Así como tener especial cuidado en la ubicación y orientación de los edificios con usos sensibles, desde el punto de vista acústico (sanitario, educativo, etc.), para evitar la inmisión de ruido, a través del diseño y distancia de separación suficiente entre éstos y las fuentes de ruido más significativas.

Por otro lado, la gestión del tráfico vehicular permitirá controlar ciertos aspectos de éste que contribuyen a reducir el problema del ruido. Por ejemplo, los vehículos automotores deben tener en buen funcionamiento aquellos elementos capaces de producir ruido. Es importante también actuar sobre las prácticas de conducción “agresivas” que produzcan ruido (especialmente observadas en los conductores del transporte público y taxistas), así como restringir el uso del claxon, salvo en situaciones de emergencia. Coordinar los semáforos en los cruces para una mejor fluidez del tráfico y evitar la necesidad de desaceleración y aceleración frecuentes. En este sentido, también es importante hacer un análisis de la conveniencia de la colocación de topes, pues la aceleración después de éstos puede incrementar el nivel sonoro. Prohibir el tránsito del transporte pesado por ciertas calles o zonas donde se encuentren edificios sensibles o bien restringir su uso en cierto horario. El tipo y las condiciones del pavimento es un factor que influye en el ruido del tráfico, por lo que es de suma importancia tener especial cuidado en el mantenimiento de las vías públicas. Aunque se ha mostrado que los materiales porosos pueden ayudar a reducir el nivel sonoro, después de cierto tiempo, cuando la superficie se alisa el efecto disminuye; sin embargo podría considerarse su colocación en zonas sensibles.

Otro aspecto importante que debe ser considerado para reducir el ruido urbano son aquellas fuentes sonoras no relacionadas con el transporte; pero que son potencialmente ruidosas y en algunos casos de larga duración, por ejemplo: el comercio (formal e informal), la industria, los trabajos públicos y las obras de construcción. Por lo que es necesario identificar y actuar sobre cada una de estas fuentes para mitigar el ruido que producen.

Finalmente, otra herramienta que puede ayudar a evitar los problemas de contaminación

sonora, en cierta medida, es el diseño urbano-arquitectónico. Se logra una atenuación significativa del ruido a lo largo de los cañones urbanos diseñando las fachadas de tal manera que reflejen el sonido en forma difusa (fachadas con irregularidades o movimiento de volúmenes formados por balcones, ventanas, esquinas, etc.) y no geoméricamente (fachadas lisas). 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. Un diseño adecuado de balcones, así como un aislamiento a través de los elementos de las fachadas, pueden ofrecer una protección considerable contra el ruido. La obstrucción de la trayectoria del ruido se puede lograr a través de barreras, pantallas acústicas o elementos del mobiliario urbano; sin embargo en una situación urbana su diseño y ubicación deben ser planeados para ubicarlos donde sea apropiado. La vegetación es efectiva en el incremento de la atenuación del sonido en altas frecuencias a lo largo de una calle, además este elemento natural puede influir positivamente en la percepción del ruido del tráfico.

Medidas administrativas

En este tipo de medidas se mencionan los instrumentos normativos contra el ruido y las disposiciones económicas.

Si bien en México existen desde hace algunos años normas de emisión, que ayudan a reducir la contaminación sonora de fuentes individuales, éstas no consideran al ruido ambiental como el resultado de la presencia de un conjunto de fuentes sonoras, tampoco contemplan el impacto que tiene este ruido en los espacios, tanto exteriores como interiores, en los diversos tipos de uso de suelo.

Actualmente, con el programa de monitoreo de ruido en el Centro Histórico, se pretende determinar si se cumple con los niveles máximos establecidos en la norma ambiental NADF-005-AMBT-2006, que son 65 dBA en el periodo diurno y 62 dBA en el nocturno. Sin embargo, esta norma solamente aplica a las emisiones sonoras de aquellas actividades o giros que para su funcionamiento utilicen maquinaria, equipo, instrumentos, herramienta, artefactos o instalaciones que generen emisiones sonoras al ambiente. Si bien estas fuentes contribuyen al paisaje sonoro, el tráfico vehicular es una importante fuente de ruido que no se ha contemplado.

Por lo tanto, si se quiere proteger a las personas en los espacios donde realizan sus actividades, es necesario ampliar los tipos de instrumentos legislativos y adoptar una normatividad para las inmisiones, que se basan en criterios de calidad acústica o en valores de orientación para la exposición al ruido que deban aplicarse a situaciones específicas para evitar el impacto negativo en la salud y bienestar de las personas, y que normalmente se incorporan a los procedimientos de planificación.

Por otro lado, las medidas económicas para fomentar la prevención o disminución de la contaminación sonora incluyen impuestos por la emisión de ruidos, incentivos económicos para fomentar la reducción de ruido y del desarrollo de productos menos ruidosos, así como el pago de compensaciones a las personas afectadas por el ruido.

Debido a la naturaleza compleja de la contaminación por ruido, es importante que la política de lucha contra el ruido urbano implemente la aplicación de diversos tipos de medidas, bajo un esquema integral sólidamente fundamentado para tener resultados efectivos.

Referencias

- [1] Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. Version 2, 13th January 2006. European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN).
- [2] European Comisión. Future noise policy, Green Paper. Brussels 1996. Disponible en: <http://www.nonoise.org/library/eunoise/greenpr.htm>
Consultada el 15 de marzo de 2006.
- [3] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the Assessment and Management of Environmental Noise.
- [4] EPA. United States Environmental Protection Agency. Noise: a health problem. August 1978.
- [5] Secretaría de Medio Ambiente del D.F. Programa de protección ambiental del D.F. 2002-2006.
- [6] Archundia M. Medirán decibeles en puntos de mayor ruido en el centro.
Disponible en: <http://www.el-universal.com.mx/ciudad/94834.html>
Consultada el 6 de abril de 2009.
- [7] Televisa. Noticiero a las tres, 21 mayo 2009.

A

Ejemplos de funciones exposición-respuesta al ruido ambiental

1. First London (Heathow) aircraft noise survey **1961**. En Schultz TJ. Synthesis of social surveys on noise annoyance. J Acoust Soc Am 1978;64(1):377-404.

Información del estudio:

- Fuente sonora: transporte aéreo.
- Muestra estudio social: 1731 personas.
- Variable dependiente: porcentaje de personas altamente molestadas (%HA).
- Variable independiente: Ldn en dB.
- Para evaluar la molestia: combinación de respuestas a una pregunta directa sobre la molestia (¿El ruido de las aeronaves te molestan mucho, moderadamente, un poco o nada?) y las respuestas de otras cinco preguntas que indirectamente implican perturbación.
- Escala de molestia: numérica de 0 a 6 (en el análisis se eliminó la categoría 6 por escasez de respuestas).

Se calcularon funciones para dos casos: (1) considerando las evaluaciones de 4, 5 y 6 en la escala de molestia y (2) considerando las evaluaciones de 5 y 6 en la escala.

Las ecuaciones para predecir el porcentaje de personas altamente molestadas, como una función del Ldn, en ambos casos son:

$$(1) \% HA = 0.413(L_{dn} - 35) + 0.025(L_{dn} - 35)^2$$

$$(2) \% HA = -0.099(L_{dn} - 35) + 0.027(L_{dn} - 35)^2$$

La figura 1 muestra el porcentaje de personas altamente molestadas como una función del Ldn.

2. United States street traffic noise survey **1974**. En Schultz TJ. Synthesis of social surveys on noise annoyance. J Acoust Soc Am 1978;64(1):377-404.

Información del estudio:

- Fuente sonora: transporte vehicular.
- Muestra estudio social: 1843 personas.
- Variable dependiente: porcentaje de personas altamente molestadas (%HA).
- Variable independiente: Ldn en dB.
- Para evaluar la molestia: ¿En qué medida fue molesto el ruido en su barrio durante el año pasado?
- Escala de molestia: verbal de 5 categorías: (1) absolutamente nada, (2) ligeramente, (3) moderadamente, (4) mucho y (5) extremadamente.

Las personas consideradas como altamente molestadas fueron las que eligieron 4 ó 5 en la escala de molestia.

La ecuación para predecir el porcentaje de personas altamente molestadas, como una función del Ldn, es:

$$\% HA = 0.905L_{dn} - 41.86$$

Coefficiente de determinación $r = 0.70$

La figura 2 muestra el porcentaje de personas altamente molestadas como una función del Ldn.

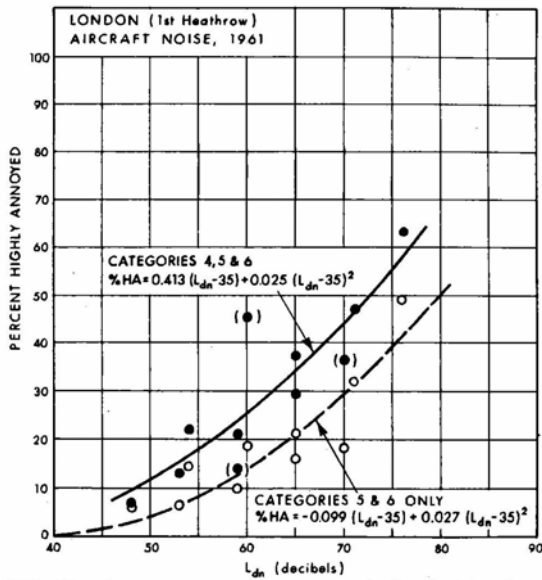


Figura 1. Relación entre el nivel de ruido de aeronaves y el porcentaje de personas altamente molestadas. Heathrow, Londres (1961).

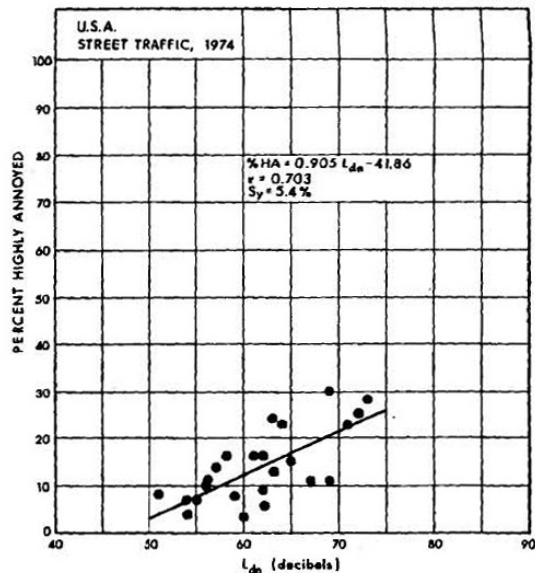


Fig. 2. Relación entre el nivel de ruido debido al tráfico de las calles y el porcentaje de personas altamente molestadas. Estados Unidos de Norteamérica (1974).

3. Schultz TJ. Synthesis of social surveys on noise annoyance. *J Acoust Soc Am* 1978;64(1):377-404.

Información del estudio:

- Análisis de la información de 11 estudios realizados previamente en diversos países.
- Fuente sonora: medios de transporte (aéreo y terrestre).
- Muestra estudio social: -
- Variable dependiente: porcentaje de personas altamente molestadas (%HA).
- Variable independiente: los índices de ruido utilizados en los estudios ($L_{eq}(24 \text{ horas})$, NNI, L_{50} , NEF, CNR, entre otros) fueron convertidos al índice L_{dn} en dB.
- Para evaluar la molestia: en cada estudio se utilizaron diferentes preguntas.
- Escala de molestia: en cada estudio se empleó una escala diferente; por ejemplo: escala numérica de 11 puntos, escala numérica de 7 puntos con los extremos etiquetados como “definitivamente satisfecho” y “definitivamente insatisfecho”, escala verbal de 5 categorías: (5) extremadamente; (4) mucho; (3) moderadamente; (2) ligeramente; y (1) absolutamente nada, escala verbal de 5 categorías: no se nota el ruido; se nota pero no molesta, molesta, pero no mucho; bastante molesto, altamente molesto.

Las personas contabilizadas como altamente molestadas fueron aquellas cuya respuesta se encontró entre el 27% y 29% más alto de la escala usada en cada estudio.

Se obtuvo una función promedio para predecir el porcentaje de personas altamente molestadas por el ruido del transporte (L_{dn}) de cualquier tipo.

$$\% HA = 0.8553L_{dn} - 0.0401L_{dn}^2 + 0.00047L_{dn}^3$$

La figura 3 muestra el porcentaje de personas altamente molestadas como una función del L_{dn} .

4. Fidell S. Nationwide urban noise survey. J Acoust Soc Am **1978**;64(1):198-206.

Información del estudio:

- Estudio realizado en siete ciudades de Estados Unidos de Norteamérica
- Fuente sonora: transporte vehicular, motocicletas, mascotas, voces, aviones, helicópteros, construcción, equipo de jardinería, radio y TV.
- Muestra estudio social: 2037 personas.
- Variable dependiente: porcentaje de personas altamente molestadas (%HA).
- Variable independiente: Ldn en dB.
- Para evaluar la molestia: ¿En qué medida fue molesto el ruido en su barrio durante el año pasado?
- Escala de molestia: verbal de 5 categorías: (1) absolutamente nada, (2) ligeramente, (3) moderadamente, (4) mucho y (5) extremadamente.

Las personas contabilizadas como altamente molestadas fueron las que eligieron para su respuesta la categoría 4 ó 5.

La ecuación para predecir el porcentaje de personas altamente molestadas, como una función del Ldn, es:

$$\%HA = 0.91L_{dn} - 42$$

Coefficiente de correlación $r = 0.70$, con límites de confianza de 0.45 a 0.86 (para un intervalo de confianza del 95%).

El porcentaje de personas altamente molestadas por el ruido (Ldn) puede ser obtenido con la figura 4.

La ecuación para predecir el porcentaje de personas altamente molestadas considerando el nivel de ruido, edad promedio, ingresos promedio del hogar y duración de residencia promedio es:

$$\%HA = 0.7192L_{dn} - 0.1218 \times (\text{edad promedio}) - 0.3287 \times (\text{ingresos promedio del hogar}) - 0.2086 \times (\text{duración de residencia promedio}) - 18.53$$

La correlación múltiple contabiliza sólo el 4% más de variancia que la correlación simple entre la exposición al ruido y la molestia.

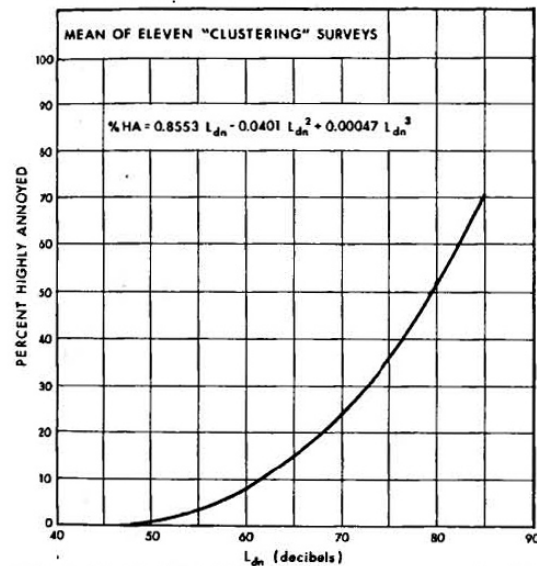


Fig. 3. Relación entre el nivel de ruido y el porcentaje de personas altamente molestadas. Schultz (1978).

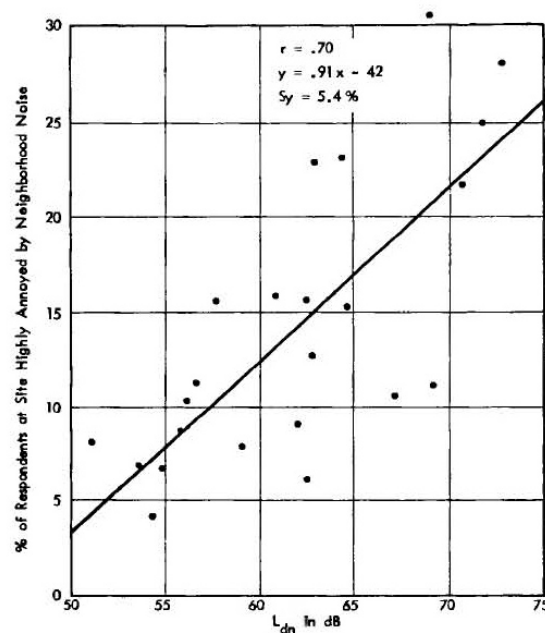


Fig. 4. Relación entre el nivel de ruido y el porcentaje de personas altamente molestadas. Fidell (1978).

5. Hall FL, Birnie SE, Taylor SM, Palmer JE. Direct comparison of community response to road traffic noise and to aircraft noise. *J Acoust Soc Am* **1981**;70(6):1690-1698.

Información del estudio:

- Estudio realizado alrededor del aeropuerto internacional de Toronto, Canadá.
- Fuente sonora: transporte aéreo y vehicular.
- Muestra estudio social: 673 personas.
- Variable dependiente: porcentaje de personas altamente molestadas (%HA).
- Variable independiente: Ldn en dB.
- Para evaluar la molestia: Las preguntas específicas sobre el ruido fueron: ¿qué sonidos ha notado en la vivienda? y ¿cómo evalúa cada uno de los sonidos mencionados? La respuesta a la primera pregunta se obtuvo de una lista de 19 sonidos (que incluía el ruido del transporte vehicular y aéreo). La evaluación de la segunda pregunta fue realizada con la siguiente escala.
- Escala de molestia: verbal de 9 categorías: extremadamente agradable, considerablemente agradable, moderadamente agradable, ligeramente agradable, neutral, ligeramente molesto, moderadamente molesto, considerablemente molesto y extremadamente molesto.

Las personas contabilizadas como altamente molestadas para cada fuente de ruido fueron las que eligieron para su respuesta las categorías moderadamente y considerablemente molesto.

Las ecuaciones para predecir el porcentaje de personas altamente molestadas por el ruido del transporte vehicular y aéreo (Ldn) son:

Transporte vehicular:

$$\%HA = -19.7 + 0.000139L_{dn}^3$$

Transporte aéreo:

$$\%HA = -40.2 + 0.0003129L_{dn}^3$$

La figura 5 muestra una comparación de las funciones obtenidas en este análisis para el transporte vehicular y el aéreo y la función obtenida por Schultz (1978).

6. Fidell S, Barber DS, Schultz TJ. Updating a dosage-effects relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. *J Acoust Soc Am* **1991**;89(1):221-233.

Información del estudio:

- Análisis de la información de 15 estudios realizados previamente en diversos países. El propósito de este trabajo fue hacer una comparación con el trabajo de Schultz (1978).
- Fuente sonora: medios de transporte (aéreo y terrestre).
- Muestra estudio social:
- Variable dependiente: porcentaje de personas altamente molestadas (%HA).
- Variable independiente: Ldn en dB.
- Para evaluar la molestia: en cada estudio se diseñaron preguntas diferentes para evaluar la molestia. Por ejemplo: ¿Cómo podría describir sus sentimientos con relación al ruido del transporte aéreo en este barrio? ¿Es usted molestado por el ruido del transporte? ¿Cuánto le perturba o molesta el ruido del transporte aéreo?
- Escala de molestia: en cada estudio la escala que se usó fue diferente, por ejemplo: escala verbal de 5 categorías: altamente molesto, considerablemente molesto, moderadamente molesto, ligeramente molesto y absolutamente nada molesto. Escala verbal de 3 categorías: un poco molesto, bastante molesto y muy molesto. Escala numérica de 10 puntos, donde 0 significa “absolutamente nada molesto” y el 9 significa “extremadamente molesto”.

Las personas contabilizadas como altamente molestadas fueron aquellas cuya respuesta se encontró entre el 27% y 29% más alto de la escala usada en cada estudio.

La ecuación para predecir el porcentaje de personas altamente molestadas, como una función del Ldn, es:

$$\%HA = 0.0360L_{dn}^2 - 3.2645L_{dn} + 78.9181$$

Coefficiente de correlación $r = 0.63$.

La figura 6 muestra una comparación de la función obtenida en este análisis y la propuesta por Schultz (1978).

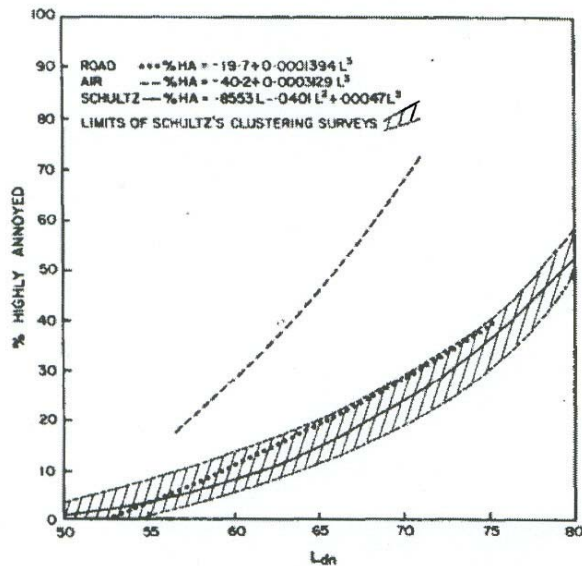


Fig. 5. Relación entre el nivel de ruido y el porcentaje de personas altamente molestadas. Comparación de las funciones obtenidas por Hall *et al.* (1981) y la función obtenida por Schultz (1978).

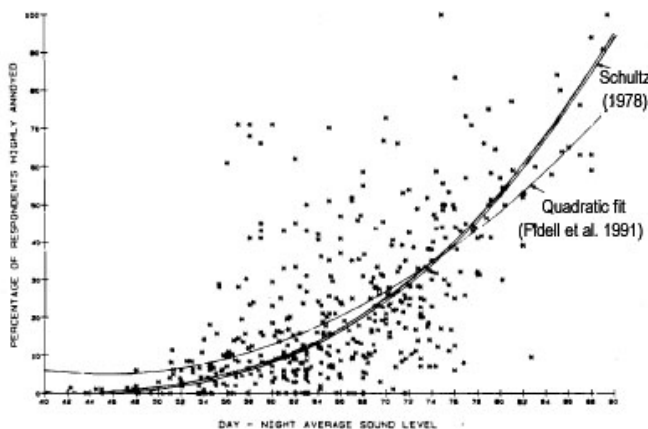


Fig. 6. Relación entre el nivel de ruido y el porcentaje de personas altamente molestadas. Comparación de la función obtenida por Fidell *et al.* (1991) y la función obtenida por Schultz (1978).

7. Miedema HME, Vos H. Exposure-response relationships for transportation noise. *J Acoust Soc Am* 1998;104(6):3432-3445.

Información del estudio:

- La información de 55 estudios realizados previamente en diversos países, fue analizada para obtener funciones que explican la relación exposición-respuesta al ruido.
- Fuente sonora: los medios de transporte vehicular, aéreo y ferroviario.
- Muestra estudio social: 63 969 personas encuestadas en los 55 estudios.
- Variable dependiente: porcentaje de personas altamente molestadas (%HA).
- Variable independiente: Ldn en dB.
- Para evaluar la molestia: se consideró la pregunta, realizada en cada estudio, que se refería a la molestia general provocada por la fuente de ruido estudiada.
- Escala de molestia: en los diversos estudios se emplearon escalas numéricas con categorías de 3, 4, 5, 6, 7, 10 y 11 categorías.

El porcentaje de personas altamente molestadas fue derivado con un punto de corte cercano a 72 en una escala de 0 a 10.

Las ecuaciones para predecir el porcentaje de personas altamente molestadas, como una función del Ldn, para los diferentes medios de transporte fueron calculadas con dos métodos:

Método 1 (straight forward least squares regression analysis):

Transporte aéreo:

$$\% HA = 0.53(DNL - 42) + 0.0285(DNL - 42)^2$$

Transporte vehicular

$$\% HA = 0.03(DNL - 42) + 0.0353(DNL - 42)^2$$

Transporte ferroviario

$$\% HA = 0.01(DNL - 42) + 0.0193(DNL - 42)^2$$

Método 2 (multilevel approach):

Transporte aéreo

$$\% HA = -0.02(DNL - 42) + 0.0561(DNL - 42)^2$$

Transporte vehicular

$$\% HA = 0.24(DNL - 42) + 0.0277(DNL - 42)^2$$

Transporte ferroviario

$$\% HA = 0.28(DNL - 42) + 0.0085(DNL - 42)^2$$

Las ecuaciones obtenidas con los dos procedimientos son similares, excepto para el ruido del transporte aéreo a altos niveles de exposición. La curva para el transporte aéreo obtenida con el método 2 predice, a altos niveles de exposición, más molestia que la curva obtenida con el método 1.

En la figura 7 se muestran las funciones para cada medio de transporte, obtenidas con los dos métodos.

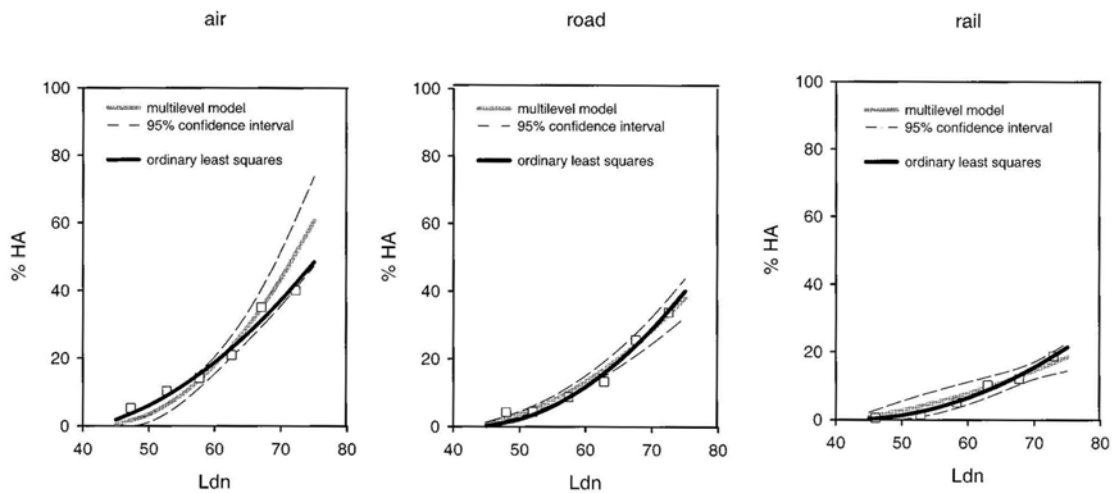


Fig. 7. Relación entre el nivel de ruido y el porcentaje de personas altamente molestadas por el ruido del transporte aéreo, vehicular y ferroviario obtenidas por Miedema y Vos (1998).

8. Martín MA, *et al.* Exposure-effect relationships between road traffic noise annoyance and noise cost valuation in Valladolid, Spain. *Appl Acoust* **2006**;67:945-958.

Información del estudio:

- Fuente sonora: el tráfico vehicular.
- Muestra estudio social: 296
- Variable dependiente: porcentaje de personas altamente molestadas (%HA) y la molestia promedio.
- Variable independiente: Ldn en dBA y Lmax.
- Para evaluar la molestia: se preguntó sobre el grado de molestia producida por diferentes fuentes sonoras, que entre todas forman el ruido del tráfico en general.
- Escala de molestia: verbal de cinco categorías.

Las personas contabilizadas como altamente molestadas fueron aquellas cuya respuesta se encontró en las dos categorías más altas de la escala.

La figura 8 muestra el porcentaje de personas altamente molestadas como una función del Ldn.

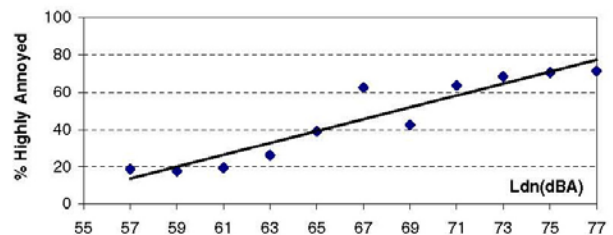


Fig. 7. Relación el nivel de ruido y el porcentaje de personas altamente molestadas por el ruido del transporte vehicular. Coeficiente de correlación $r = 0.94$. Martín *et al.* (2006).

B

Hoja de datos de apoyo para la medición del ruido

I. Datos para el control

Zona:	A <input type="checkbox"/>	Fecha:	DÍA	MES	AÑO	Día de la semana:
	B <input type="checkbox"/>					

Elaboró: _____

Calle: _____ Punto de medición: _____

Hora de medición	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Inicio-Fin de la medición									
Clave de la sesión									

II. Factores que afectan la medición

Factor/Hora de medición	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Ruido intrusivo									
a) viento, b) lluvia, c) conversaciones, d) niños jugando, e) pájaros, f) insectos, g) perros, h) vehículos de emergencia, i) helicóptero, j) motocicleta, k) construcción, l) eventos deportivos, m) música, n) vendedores ambulantes, ñ) recolección de basura, o) claxon, p) teléfono, q) alarma, r) silbato, s) transporte en diablitos o carretones. Escribe, donde aplique: "C" para ruido localizado a menos de 2 m y "L" para ruido localizado a más de 2 m.									
Interferencia									
a) superficies temporales, b) objetos temporales, c) personas Escribe, donde aplique: "C" para interferencia localizada a menos de 2 m y "L" para interferencia localizada a más de 2 m.									
Condición del piso									
a) seco, b) húmedo, c) mojado									

III. Aforo vehicular

Vehículos/Hora de medición	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Ligeros (automóviles)									
Pesados (carga/pasajeros)									
Motocicletas									

Para contabilizar vehículos pesados

9:00	
10:00	
11:00	
12:00	
13:00	
14:00	
15:00	
16:00	
17:00	

IV. Información de apoyo

Ancho de la vialidad: _____ Perfil del tramo de vialidad: L U No. de sentidos de la vialidad _____

Cerca de intersección vial: S N Cerca de semáforos S N Cerca de parada de transporte público S N

Camellón: S N Descripción: _____

No. de carriles: _____

Tipo de transporte para pasajeros: _____

Materiales de fachadas cercanas: _____ No. niveles de las edificaciones: Junto: _____ Frente: _____

No. niveles de las edificaciones: Junto: _____ Frente: _____

Tipo de pavimento: _____

Vegetación: S N Descripción/Localización: _____

V. Observaciones

9:00	
10:00	
11:00	
12:00	
13:00	
14:00	
15:00	
16:00	
17:00	



Encuesta: Impacto del ruido urbano en peatones

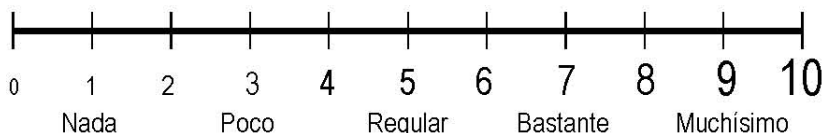
Presentación: "Se está realizando un trabajo de investigación de la Universidad Nacional Autónoma de México sobre problem ambientales en esta zona. Le gustaría colaborar respondiendo una encuesta que dura aproximadamente 10 minutos, sus respuest serán tratadas confidencialmente."

Datos para el control y ubicación

Día / Mes / Año / Formato de 24 hrs.
 / / / L-M-M-J-V-S-D Hora: Folio: _____

Colonia/Barrio/Zona: _____ Calle: _____

Instrucciones: Después de cada pregunta le mencionaré las opciones de respuesta o, si es el caso, le mostraré esta req graduada numéricamente de 0 a 10 y verbalmente de nada a muchísimo para que usted de una calificación.



SECCIÓN 1. Aspectos afectivos

1	¿Vive en esta zona?	Si <input type="checkbox"/> (1)	No <input type="checkbox"/> (2)
---	---------------------	---------------------------------	---------------------------------

2	Califique del 0 al 10, ¿en qué medida se siente satisfecho con las siguientes características de _____ ? Nombre de la colonia/barrio/ descripción breve de la zona <i>Mostrar escala</i>		<i>Calificación</i>
		2.1. La limpieza de las calles	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		2.2. La calidad del aire	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		2.3. La seguridad ciudadana	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		2.4. El ruido durante el día	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		2.5. Los olores	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		2.6. La conservación de las banquetas	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		2.7. La libertad para caminar en las banquetas	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		2.8. La estética del entorno	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

3	De las características anteriores, indique en orden de importancia, ¿cuáles considera que son las dos más importantes para mejorar esta zona?
	3.1 1ª No. _____ 3.2 2ª No. _____

4	Califique del 0 al 10, ¿cuánto le gusta..? <i>Mostrar escala</i>		<i>Calificación</i>
		4.1. Esta zona	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		4.2. Esta calle	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

SECCIÓN 2. Actividad peatonal

5	¿Cuál es el motivo por el que usted está caminando por esta calle?	5.1. Compras	<input type="checkbox"/>	5.5. Paseo o ejercicio	<input type="checkbox"/>
		5.2. Trabajo	<input type="checkbox"/>	5.6. Para tomar otro medio de transporte	<input type="checkbox"/>
		5.3. Estudio	<input type="checkbox"/>	5.7. Otro:	<input type="checkbox"/>
		5.4. Trámites personales	<input type="checkbox"/>		

SECCIÓN 3. Efectos provocados por el ruido

6	Califique del 0 al 10, ¿cuánto influye el ruido para que tome la decisión de no..? <i>Mostrar escala</i>		<i>Calificación</i>
		6.1. Salir a la calle para dar un paseo	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		6.2. Caminar como medio de transporte	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
7	Califique del 0 al 10, la distracción o perturbación que causa el ruido de esta calle sobre... <i>Mostrar escala</i>		<i>Calificación</i>
		7.1. Sus pensamientos	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		7.2. Su conversación	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		7.3. Su atención visual	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
8	Califique del 0 al 10, ¿en qué medida, el ruido que hay en las calles le provoca..? <i>Mostrar escala</i>		<i>Calificación</i>
		8.1. Irritabilidad	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		8.2. Sobresalto	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		8.3. Molestia en los oídos	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

SECCIÓN 4. Creencias relacionadas con el ruido y estrategias para afrontarlo

9	Califique del 0 al 10, ¿en qué medida cree que el ruido que hay en las calles..? <i>Mostrar escala</i>		<i>Calificación</i>
		9.1. Afecta la salud	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		9.2. Es un problema de contaminación	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		9.3. Es un asunto complejo de resolver	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		9.4. Es un tema importante para las autoridades	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
10	Usted, para enfrentar el ruido que hay en las calles...	10.1. Trata de no poner atención	<input type="checkbox"/>
		10.2. Realiza una queja ante las autoridades	<input type="checkbox"/>
		10.3. Camina más deprisa	<input type="checkbox"/>
		10.4. Piensa que hay problemas peores en la ciudad	<input type="checkbox"/>
		10.5. Se acostumbra	<input type="checkbox"/>
		10.6. Evita los sitios ruidosos	<input type="checkbox"/>

SECCIÓN 5. Percepción del ruido y molestia provocada por el ruido

11	Califique del 0 al 10, ¿qué tan ruidoso es el ambiente en..? <i>Mostrar escala</i>		<i>Calificación</i>
		11.1. La ciudad	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		11.2. Esta zona	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
12	Considerando las últimas veces que ha pasado por esta calle, califique del 0 al 10, ¿cuánto le han molestado las siguientes fuentes de ruido? <i>Mostrar escala</i>	<i>Calificación</i>	<i>Calificación</i>
		12.1. Las motocicletas	
		12.2. Los vehículos particulares	
		12.3. Las voces	
		12.4. El transporte público	
		12.5. La música de establecimientos cercanos	
		12.6. Los vendedores ambulantes	
		12.7. Las sirenas de vehículos de emergencia	
		12.8. Los claxonazos	
11 Cont.	Califique del 0 al 10, ¿qué tan ruidoso es el ambiente en..? <i>Mostrar escala</i>		<i>Calificación</i>
		11.3. Esta calle en este momento	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
		11.4. Su vivienda	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
13	Califique del 0 al 10, ¿cuánto le molesta el ruido en este momento? <i>Mostrar escala</i>	<i>Calificación</i>	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

SECCIÓN 6. Información demográfica

14	¿Cuál es su nivel de estudios terminados?				
	Sin estudios <input type="checkbox"/> (1)	Primaria <input type="checkbox"/> (2)	Secundaria <input type="checkbox"/> (3)	Preparatoria o carrera técnica <input type="checkbox"/> (4)	Universidad <input type="checkbox"/> (5)
15	Sexo H <input type="checkbox"/> (1) M <input type="checkbox"/> (2)		16 Edad: _____ años		

SECCIÓN 7. Información objetiva del ruido

Fuentes sonoras:

17 Leq1MN:

D

Pruebas no paramétricas

Las primeras técnicas de inferencia estadística que aparecieron fueron las que hicieron cierto número de suposiciones sobre la naturaleza de la población de la que se obtuvieron los datos. Puesto que los valores de población son “parámetros”, estas técnicas estadísticas fueron llamadas *paramétricas*. Posteriormente se desarrollaron un gran número de técnicas de inferencia que no hacen suposiciones severas acerca de la población, llamadas *no paramétricas* o *libres de distribución*.

En una prueba estadística *paramétrica* se especifican ciertas condiciones a cerca de los parámetros de la población de la que se obtuvo la muestra investigada. Tales condiciones son las siguientes:

- Las observaciones deben ser independientes entre sí. La selección de un caso cualquiera de la población con miras de inclusión en la muestra no debe afectar las posibilidades de incluir cualquier otro.
- Las observaciones deben hacerse en poblaciones distribuidas normalmente.
- Las variables correspondientes deberán haberse medido por lo menos en una escala de intervalo, de manera que sea posible usar las operaciones de la aritmética (suma, división, multiplicación).

En una prueba estadística *no paramétrica* no se especifican las condiciones de los parámetros de la población de la que se sacó la muestra, solamente hay algunas suposiciones que se asocian con este tipo de pruebas:

- Las observaciones deben ser independientes entre sí.
- Las variables correspondientes no requieren mediciones tan fuertes; la mayoría de las pruebas se aplican a datos de una escala ordinal y nominal.

A ciertas técnicas no paramétricas se les llama *pruebas de rango* o *pruebas de orden*, estos nombres indican diferencias con las pruebas paramétricas. Al computar pruebas paramétricas los datos de las muestras se pueden sumar, dividir y multiplicar, estos datos deben ser numéricos. En cambio muchas pruebas no paramétricas, se fijan en el orden, rango o clasificación de los datos, no en sus valores numéricos, por ello la importancia de la escala de medición que se usa para generar los datos.

Todos los datos se generan mediante una de las siguientes cuatro escalas de medición:

1. Escala nominal: en la escala nominal de la medición, las observaciones solamente se pueden clasificar o contar y *no existe un orden específico* entre las clases o categorías. Los datos pueden ser numéricos o no numéricos. Las categorías tienen las siguientes propiedades:

- a) Mutuamente excluyente: propiedad que implica que una persona, objeto o medición no puede pertenecer a dos categorías sino que se ha de incluir en una sola categoría.
- b) Exhaustivo: propiedad que implica que cada individuo, objeto o medición debe aparecer en una sola categoría.

Ejemplos:

- Dato nominal no numérico: género, lugar de nacimiento.
- Dato nominal numérico: Número del Seguro Social

2. Escala ordinal: los datos se pueden usar para *ordenar* o clasificar las observaciones. Cada categoría tiene mayor jerarquía que la siguiente, los datos pueden ser numéricos o no numéricos. Las categorías tienen las siguientes propiedades:

- a) Las categorías para los datos son mutuamente excluyentes y exhaustivas.
- b) Las categorías para los datos se clasifican por intervalos o se ordenan de acuerdo con las características particulares que poseen.

Ejemplos:

- Dato nominal no numérico: las tallas chica, mediana, grande.
- Dato nominal numérico: Las clases de individuos que se expresan como 1, 2, 3,...

3. Escala de intervalo: los datos tienen las propiedades de datos ordinales y además, la diferencia o distancia entre los valores tienen un tamaño constante. El intervalo entre las observaciones se expresa en términos de una unidad fija de medida, estos datos deben ser numéricos. Las propiedades de la escala de intervalo son:

- a) Las categorías para los datos son mutuamente excluyentes y exhaustivas.
- b) Las categorías están ordenadas de acuerdo con la cantidad de la característica que poseen.

- c) Diferencias iguales en la característica se representan por diferencias iguales en la medición.

Ejemplo:

- Las mediciones de temperatura. La unidad fija de medida, el grado, permite decir cuánto calor hay más en un lugar que en otro.

4. Escala de razón o de relación: los datos tienen las propiedades de los datos de intervalo y además el cociente entre dos valores y el punto cero son significativos. Las propiedades de la escala de relación son las siguientes:

- a) Las categorías para los datos son mutuamente excluyentes y exhaustivas.
- b) Las categorías tienen un intervalo u orden de acuerdo con la cantidad de la característica que poseen.
- c) Diferencias iguales en la característica se representan por diferencias iguales en los números que se han asignado a las categorías mencionadas.
- d) El punto o valor 0 representa la ausencia de la característica.

Ejemplo:

- Variables como la distancia, altura, salarios y peso se miden con esta escala.

Existen un extenso número de pruebas no paramétricas, a continuación se explican las usadas en este trabajo, que son

Los ejemplos mostrados han sido tomados de las referencias 1 a 4.

Prueba de Mann-Whitney

Esta prueba se usa para verificar si dos grupos independientes han sido tomados de la misma población, se requiere que la escala de medición de los datos sea, al menos ordinal.

Se ilustrará este caso con el siguiente ejemplo. Se toman dos muestras aleatorias e independientes de los saldos de cuentas de cheques de 2 sucursales de un banco, los datos se muestran en la tabla 1. Se desea conocer si las poblaciones de los saldos de cuentas de cheques de las dos sucursales son idénticas.

Tabla 1. Saldos en cuenta para las dos sucursales bancarias.

Sucursal 1		Sucursal 2	
Cuenta	Saldo \$	Cuenta	Saldo \$
1	1095	1	885
2	955	2	850
3	1200	3	915
4	1195	4	950
5	925	5	800
6	950	6	750
7	805	7	865
8	945	8	1000
9	875	9	1050
10	1055	10	935
11	1025		
12	975		

Paso 1: Ordenar de manera creciente los datos combinados y asignarles un rango (tabla 2).

Tabla 2. Saldos en cuenta para las dos sucursales bancarias.

Saldo	Elemento	Rango asignado
750	6° de la muestra 2	1
800	5° de la muestra 2	2
805	7° de la muestra 1	3
850	2° de la muestra 2	4
...
950	6° de la muestra 1	12.5
950	4° de la muestra 2	12.5
...
1195	4° de la muestra 1	21
1200	3° de la muestra 1	22

Paso 2: Sumar los rangos de cada muestra (tabla 3).

Tabla 3. Clasificación combinada de los datos en las dos muestras.

Sucursal 1			Sucursal 2		
Cuenta	Saldo \$	Lugar	Cuenta	Saldo \$	Lugar
1	1095	20	1	885	7
2	955	14	2	850	4
3	1200	22	3	915	8
4	1195	21	4	950	12.5
5	925	9	5	800	2
6	950	12.5	6	750	1
7	805	3	7	865	5
8	945	11	8	1000	16
9	875	6	9	1050	18
10	1055	19	10	935	10
11	1025	17			
12	975	15			
T =		169.5			83.5

Paso 3: El procedimiento de prueba se puede basar en la suma de los rangos de cualquiera de las muestras. Para este ejemplo se usará la de la sucursal 1. Como los tamaños de las muestras son mayores a 10 se puede emplear la aproximación normal a la distribución T de la suma de rangos en las muestras. La media y desviación estándar son:

$$\mu_T = \frac{1}{2}n_1(n_1 + n_2 + 1)$$

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{1}{2}n_1n_2(n_1 + n_2 + 1)}$$

Entonces, para la sucursal 1:

$$\mu_T = 138 \text{ y } \sigma_T = 15.17$$

Paso 4: Calcular el estadístico de prueba z .

$$z = \frac{T - \mu_T}{\sigma_T} = \frac{169.5 - 138}{15.17} = 2.08$$

Con nivel de significancia igual a 0.05, z debe ser menor que -1.96 o mayor que $+1.96$ para rechazar la hipótesis nula. Como $z = 2.08$ se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las dos poblaciones de saldos en las dos sucursales no son idénticas.

Prueba de Kruskal-Wallis

Prueba no paramétrica para analizar si k muestras independientes son de poblaciones diferentes. En ella se necesitan datos de nivel ordinal (ordenados por rango). La hipótesis de nulidad supone que las k muestras proceden de la misma población o de poblaciones idénticas con respecto a los promedios.

El estadístico de prueba de Kruskal-Wallis, que se basa en la suma de rangos en cada una de las muestras se calcula con la siguiente ecuación:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \left(\frac{R_1^2}{n_1} + \frac{R_2^2}{n_2} + \frac{R_3^2}{n_3} + \dots + \frac{R_k^2}{n_k} \right) - 3(N+1)$$

Donde:

n = tamaño de las muestras

$N = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k$ (número total de observaciones)

R_1 = Suma de rangos asignados a las n_1 observaciones de la muestra 1

R_k = Suma de rangos asignados a las n_k observaciones de la k -ésima muestra.

Ejemplo:

Se ha puesto a prueba cuatro diferentes mezclas de pintura para determinar si existen diferencias significativas en las medias del tiempo de secado. Los resultados se muestran en la tabla 4. Probar que las 4 mezclas tienen igual tiempo de secado, utilizar un nivel de significancia de 0.05.

Paso 1: Planteamiento de las hipótesis.

H_0 : Las cuatro muestras proceden de la misma población, es decir, no hay diferencia en el tiempo medio de secado.

H_1 : Las cuatro muestras proceden de distintas poblaciones.

Paso 2: Asignar rango a cada observación en la muestra conjunta y sumar los rangos para cada muestra (tabla 5).

Tabla 4. Clasificación combinada de los datos en las dos muestras.

Tiempo de secado			
Mezcla A	Mezcla B	Mezcla C	Mezcla D
14.3	10.8	14.5	16.0
18.7	12.4	14.8	17.2
15.0	11.6	15.3	17.7
17.2	16.1	14.0	13.3
18.1	13.4	16.3	16.1
17.6	13.8	10.8	
15.8			

Tabla 5. Clasificación combinada de los datos en las cuatro muestras.

Mezcla A	Rango	Mezcla B	Rango
14.3	9	10.8	1.5
15.0	12	11.6	3
15.8	14	12.4	4
17.2	19.5	13.4	6
17.6	21	13.8	7
18.1	23	16.1	16
18.7	24		
	122.5		37.5
Mezcla C	Rango	Mezcla D	Rango
10.8	1.5	13.3	5
14.0	8.0	16.0	15
14.5	10.0	16.8	18
14.8	11.0	17.2	19.5
15.3	13.0	17.7	22
16.3	17.0		
	60.5		79.5

Paso 3: Cálculo del estadístico de prueba.

$$H = \frac{12}{24(24+1)} \left(\frac{122.5^2}{7} + \frac{37.5^2}{7} + \frac{60.5^2}{6} + \frac{79.5^2}{5} \right) - 3(24+1) = 10.04$$

Paso 4: De una tabla de valores χ^2 se obtiene el valor de $\chi_{.05}^2$ con 3 grados de libertad, que es de 7.81.

Para probar la hipótesis nula con nivel de significancia de 0.05, se compara el valor de H calculada con el valor crítico de $\chi^2_{.05}$. Como $H > \chi^2_{.05}$ se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las cuatro muestras proceden de distintas poblaciones.

Referencias

- [1] Anderson DR, et. al. Estadística para administración y economía. México: Thomson editores, 7a. ed., 1999.
- [2] Bonilla G. Métodos prácticos de inferencia estadística. México: Trillas, 2a. ed., 1991.
- [3] Lind DA, et. al. Estadística para administración y economía. Colombia: Alfaomega 11a. ed., 2004.
- [4] Siegel S. Estadística no paramétrica. México: Trillas, 1982.