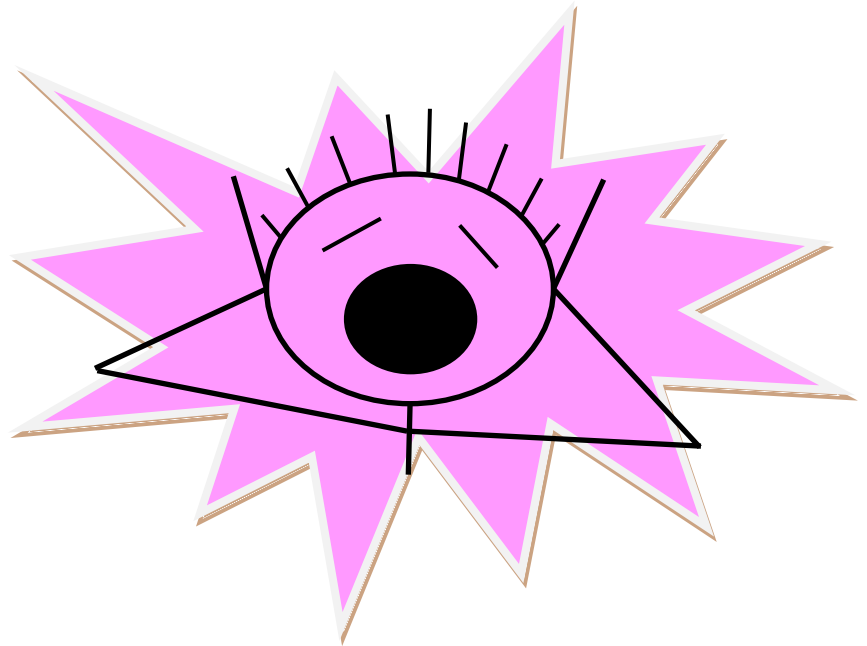


ACÚSTICA AMBIENTAL

Cuaderno 4

Efectos del Ruido sobre la Salud Humana



2017

MVOTMA

Ministra de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Arq. Eneida de León

Director Nacional de Medio Ambiente

Ing. Qco. Alejandro Nario

Contraparte Técnica

Ing. Qca. Magdalena Hill

Universidad de la República

Rector

Dr. Roberto Markarian

Decana de Facultad de Ingeniería

Ing. María Simon

Este material ha sido preparado en el marco del convenio DINAMA-IMFIA

DIA bajo la responsabilidad de

Dra. Ing. Alice Elizabeth González

González, Alice Elizabeth

Acústica Ambiental. Efectos del Ruido sobre la Salud Humana. Cuaderno 4

Montevideo, Udelar – FI – IMFIA, 2017

ISBN: 978-9974-0-1533-3 Obra completa

ISBN: 978-9974-0-1538-8 Cuaderno 4

APUNTES SOBRE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

CUADERNO 4: EFECTOS DEL RUIDO SOBRE LA SALUD HUMANA

CONTENIDOS

1	ALGUNOS CONCEPTOS SOBRE LA AUDICIÓN HUMANA	4
1.1	EL APARATO AUDITIVO	4
1.2	CAMPO AUDIBLE	5
1.3	PÉRDIDA AUDITIVA EN FUNCIÓN DE LA EDAD (PRESBIACUSIA)	6
1.4	RESPUESTA DEL OÍDO HUMANO A LOS INFRASONIDOS	7
2	EFFECTOS DEL RUIDO SOBRE LA SALUD	9
2.1	ASPECTOS GENERALES	9
2.2	EFFECTOS SOBRE EL APARATO AUDITIVO	12
3	EFFECTOS EXTRA-AUDITIVOS DEL RUIDO.....	15
3.1	EFFECTOS PRENATALES Y NEONATALES	15
3.2	ALTERACIONES RESPIRATORIAS	15
3.3	SISTEMA CARDIOVASCULAR.....	16
3.4	TRASTORNOS DEL SUEÑO	16
3.5	ALTERACIONES HORMONALES.....	20
3.6	ESTRÉS	21
3.7	DEBILITAMIENTO DEL SISTEMA INMUNOLÓGICO	23
3.8	DESPOLARIZACIÓN NEURONAL	24
3.9	EFFECTOS DEL RUIDO IMPULSIVO	24
3.10	EFFECTOS DEL RUIDO DE BAJA FRECUENCIA.....	24
3.11	EL SÍNDROME DEL AEROGENERADOR	26
4	EFFECTOS PSICOFÍSICOS.....	27
4.1	ALGUNOS ASPECTOS GENERALES	27
4.2	INTERFERENCIA CON LA COMUNICACIÓN	28
4.3	PÉRDIDA DE RENDIMIENTO	29
4.4	ALTERACIONES EN EL APRENDIZAJE	30
4.5	ACOSTUMBRAMIENTO, SÍNDROME DE ADAPTACIÓN.....	32
4.6	TRASTORNOS PSIQUIÁTRICOS	33
4.7	INCREMENTO DE LA AGRESIVIDAD.....	36
4.8	CONSUMO DE RUIDO Y ADICCIÓN	37
5	LA MOLESTIA POR RUIDO.....	40
5.1	SONIDO, SEÑAL, RUIDO.....	40
5.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS RUIDOS MOLESTOS.....	41
5.3	LA MOLESTIA POR RUIDO A NIVEL INDIVIDUAL.....	42
5.4	LA MOLESTIA POR RUIDO A NIVEL DE LA SOCIEDAD.....	45
5.5	MOLESTIA POR RUIDO DE AEROGENERADORES.....	54
	BIBLIOGRAFÍA	57

1 Algunos conceptos sobre la audición humana

1.1 El aparato auditivo

Sin pretender realizar una presentación detallada de la anatomía ni fisiología del oído humano, cabe indicar que está compuesto por tres sectores que se designan respectivamente como oído externo, oído medio y oído interno (Figura 1-1).

A estas tres partes, que realizan sucesivamente un procesamiento acústico, mecánico y eléctrico de las señales sonoras, se agrega el posterior procesamiento neurológico con progresivos niveles de complejidad hasta llegar a la corteza cerebral, donde se llevan a cabo los procesos intelectuales superiores como la comprensión inteligente de la palabra y la música. Los impulsos nerviosos también se conectan con otros centros del organismo que son muy importantes, como el *hipotálamo*, que es el centro coordinador del sistema vegetativo y de respuesta neuroendócrina, o el *sistema reticular ascendente*, que controla en gran medida los sistemas de alerta y del sueño.

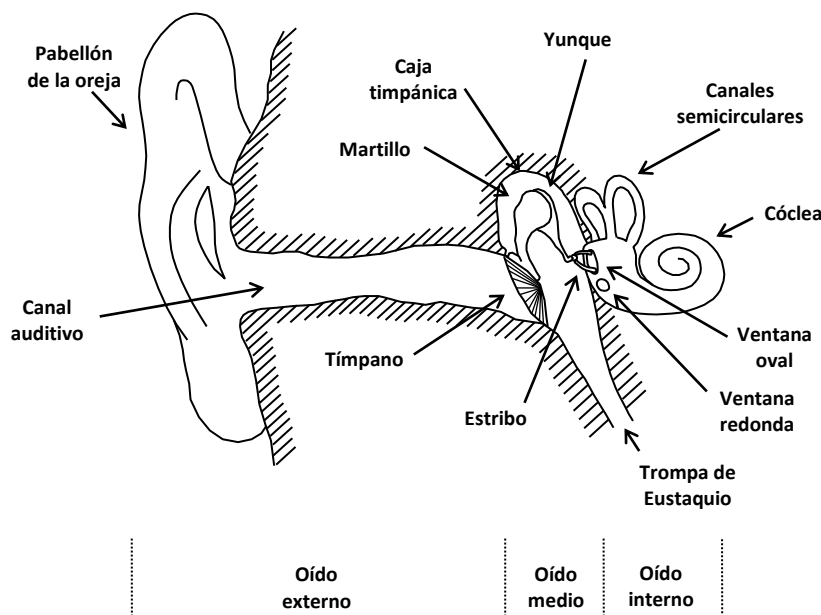


Figura 1-1. Anatomía esquemática del oído humano (tomado de Miyara, 1999)

En el oído externo, el sonido se propaga por vía aérea por el conducto o canal auricular externo; en el oído medio lo hace por vía sólida; por último, en el oído interno la propagación ocurre en medio líquido. La onda sonora ingresa al pabellón auricular (la oreja), que la conduce a través del conducto auditivo externo hasta llegar a la membrana timpánica. Allí, al pasar al oído medio ocurre un primer cambio en el medio de propagación, al pasar de vía aérea a vía sólida. Como el segundo medio de propagación tiene una impedancia acústica bastante superior a la del aire, la onda sonora se amplifica cuando ingresa a él. En el oído medio, la onda sonora se propaga a través de la cadena de huesecillos (martillo, yunque y estribo), los que transmiten el estímulo sonoro al oído interno a través de la ventana oval. En el oído interno se ubica el órgano principal de la audición: la *cóclea*; el sonido se propaga allí por vía líquida en la endolinfa. En la cóclea o

caracol se encuentra el *órgano de Corti*, una estructura que contiene las *células ciliadas* o *pilosas*. Las células ciliadas se comportan como pequeñísimos micrófonos, generando pulsos eléctricos de unos 90 mV, llamados *potenciales de acción*, como respuesta a la vibración de la ventana oval. Estos pulsos son enviados al cerebro a través de una serie de células nerviosas (neuronas) reunidas en el *nervio auditivo*, cuya función es conducir los *potenciales de acción* codificados según su secuencia temporal.

En efecto, al recibir un estímulo suficiente para generar una respuesta neuronal, ésta transmite un impulso o potencial de acción a la neurona contigua en tanto pierde su carga eléctrica (*se despolariza*), hasta recuperar su estado eléctrico inicial y quedar en condiciones de transmitir un nuevo impulso eléctrico. El *período refractario absoluto* es el tiempo que transcurre entre la despolarización y la repolarización y dura algunas décimas de milisegundo.

El nervio auditivo, a través de un conjunto de fibras, conecta las células ciliadas con las neuronas dedicadas a la audición en la corteza cerebral. Cada neurona posee una frecuencia característica a la cual presenta su mayor sensibilidad. Fuera del intervalo de mayor sensibilidad las neuronas también reciben información, pero requieren mayor energía dado que tienen umbrales mayores.

El oído humano tiene una gran capacidad para analizar sonidos complejos. De hecho, la capacidad de actuar como analizador de frecuencias en tiempo real es una de sus principales características. La membrana basilar, en la cóclea, tiene en cada punto una amplitud máxima de vibración que se identifica con una cierta frecuencia. Los componentes de frecuencias más altas se presentan cerca de la base de la cóclea, en tanto las bajas frecuencias se ubican cerca de la punta.

Cabe agregar que los canales semicirculares, que forman parte del oído interno, no participan en el mecanismo auditivo sino en el equilibrio. Sin embargo, se pueden ver afectados por lo que ocurre a nivel coclear debido a que están comunicados con la cóclea y reciben vibraciones de las que allí ocurren, pero además porque las vías nerviosas de los canales semicirculares y del órgano de Corti están espacialmente muy próximas (Miyara, 1999).

1.2 Campo audible

En general se acepta que el campo auditivo del oído humano cubre un espectro frecuencial de entre 20 Hz y 20.000 Hz, para presiones sonoras comprendidas entre el umbral de la percepción o umbral auditivo (20×10^{-6} Pa) y el umbral del dolor (200 Pa). Sin embargo, si las intensidades son suficientemente elevadas, es posible que se genere sensación auditiva a frecuencias tan bajas como 4 Hz o 5 Hz.

La zona audible no es exactamente un rectángulo en el plano frecuencia-intensidad, pues no todos los pares (f, p) comprendidos en los intervalos mencionados generan sensación auditiva. Dentro de la zona audible se definen *curvas isófonas* o *curvas de Fletcher y Munson* (Figura 1-2), que son aquellas sobre las que experimentalmente las personas perciben igual sensación de *sonoridad*.

El nivel de sonoridad se mide en fon, siendo que un tono puro de 40 dB a 1000 Hz corresponde a 40 fones. La curva de 40 fones queda definida por los pares (f, p) que estadísticamente generan

en el oyente la misma sensación de sonoridad que el tono original de 40 dB a 1000 Hz cuando se le hace escuchar otros tonos de diferente intensidad y frecuencia.

La envolvente inferior de las curvas isófonas corresponde a 0 fones y marca el umbral de la percepción, en tanto la envolvente superior indica el umbral del dolor, que se sitúa en 140 fones (algunos autores continúan considerando el umbral del dolor en 120 fones).

La respuesta del oído no es lineal. Tiene su mejor funcionamiento (o mayor sensibilidad) en el intervalo de frecuencias de 1.000 Hz a 5.000 Hz. En ese intervalo, el oído realiza una pequeña amplificación, es decir, requiere de un menor nivel de presión que a otras frecuencias para lograr una sensación auditiva equivalente. Por debajo de 1.000 Hz y por encima de 5.000 Hz, el oído es menos sensible, es decir, para generar igual sensación auditiva requiere de un mayor nivel de presión sonora que en el mencionado intervalo. Esta pérdida de sensibilidad es más pronunciada para altas frecuencias, es decir, por encima de los 5.000 Hz, que para frecuencias por debajo de los 1.000 Hz.

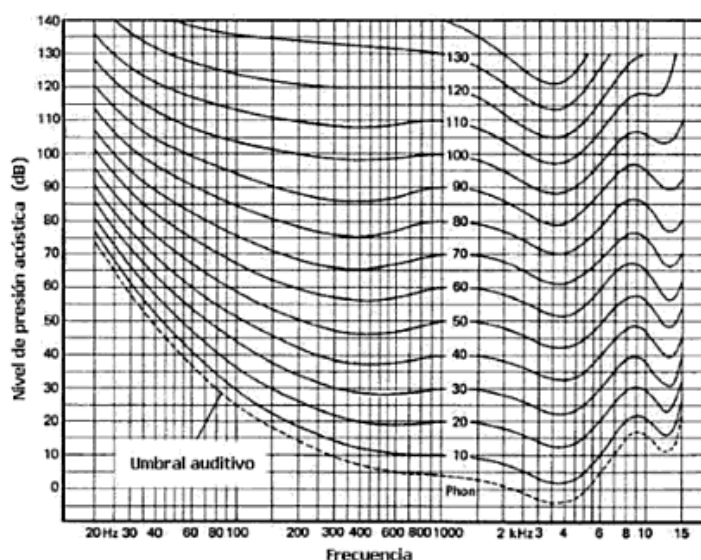


Figura 1-2. Curvas isófonas (tomada de <http://acusticaysonido.com>)

1.3 Pérdida auditiva en función de la edad (presbiacusia)

El deterioro de la audición a medida que avanza la edad de las personas ha sido largamente estudiado. La Norma ISO 7029:2000 presenta resultados de una metodología para calcular la probabilidad de pérdida auditiva debido a presbiacusia, según edad y género. Por su parte, la Norma ISO 1999:90 considera no sólo la pérdida auditiva debida a presbiacusia –que incluye en lo que da en denominar “Base de Datos A”- sino también la originada por socioacusia, es decir, presbiacusia más estilo de vida (“Base de Datos B”).

La Base de Datos “A” corresponde a una población ideal, otológicamente apantallada y no expuesta ambientalmente a ruido, sin historial de drogas ototóxicas u otros antecedentes que anticipen un incremento en el deterioro auditivo ocasionado por la edad. En definitiva, esta base proporciona datos de presbiacusia en un ambiente ideal. Sus valores admiten ser calculados matemáticamente, y la Norma presenta la totalidad de las fórmulas necesarias para ello. La Base A se calcula para cada sexo, para cada edad a partir de los 18 años, para cada frecuencia de

interés y para cada porcentaje de la población. Lo que se obtiene es un “valor de excedencia”, es decir, un valor para el que se espera que el umbral auditivo sea por lo menos igual o mayor para ese porcentaje de la población total (es decir, se espera que el “x” % de la población de cierta edad experimente una pérdida auditiva superior a “y” dB).

La Base de Datos “B” corresponde a una población propia de una sociedad industrializada, con lo que se admiten otras formas de exposición extraocupacional a ruido asociadas con el estilo de vida, como la exposición ambiental o social. Esta base no admite ser calculada matemáticamente; corresponde al procesamiento de datos audiométricos experimentales. Los datos publicados en la Norma ISO 1999:90 corresponden a intervalos de edad de 10 años (hombres y mujeres de 30 años, de 40 años, de 50 años, de 60 años) y a tres porcentajes de la población: 10 %, 50 % y 90 %, para frecuencias comprendidas entre 500 Hz y 6000 Hz.

Estudios epidemiológicos realizados en Montevideo, cuyos resultados tienen entre 0,5 dB y 2,2 dB de error con confiabilidades entre el 95 % y el 80 % dependiendo de la edad y género, muestran que la fracción de la población con peor audición no tiene un daño más allá del que es esperable debido a la presbiacusia propia de su edad. El hecho de que para el fractil 10 % de la población se tengan en general mejores resultados que para la Base B e incluso a veces mejores que para la Base A, advierte que el deterioro auditivo inducido por estilo de vida en la población uruguaya no resulta en principio significativo (González, 2008).

1.4 Respuesta del oído humano a los infrasonidos

El ruido de baja frecuencia (Low Frequency Noise, LFN) incluye generalmente las frecuencias entre 10 Hz y 100 Hz. En 2004, Leventhall *et al.* publicaron estudios en que determinan umbrales de audición para señales de frecuencia inferior a 20 Hz, las que efectivamente pueden ser oídas por el oído humano si los estímulos son lo suficientemente intensos (Leventhall *et al.*, 2004). Un umbral de audición común para los rangos de estudio es un nivel de ruido infrasónico de 85 dBG¹ o más.

El umbral de audición en la región de los infrasonidos se ha valorado de forma fiable hasta 4 Hz en cámara acústica y hasta 1,5 Hz para auriculares musicales. En la Figura 1-3 se aprecia la curva propuesta por Watanabe y Moller para describir el umbral auditivo entre 4 Hz y 125 Hz, junto con la curva de audición a bajas frecuencias (20 Hz a 200 Hz) que presenta la Norma ISO 226:2003. El rango completo en que la Norma ISO 226:2003 presenta niveles de umbral auditivo es de 20 Hz a 12.500 Hz. Los resultados de diferentes investigaciones en el rango de 5 Hz a 20 Hz son muy similares. Alrededor de 15 Hz se produce un cambio en la pendiente de la curva, que pasa de aproximadamente 20 dB/octava en las frecuencias más altas a 12 dB/octava en frecuencias más bajas. Este resultado concuerda con los de otros autores que también efectuaron mediciones en el intervalo de 15 Hz a 20 Hz. Aunque no se tiene una explicación concluyente, se piensa que puede estar asociada a un cambio en el proceso de detección auditiva, que ocurre en la región de frecuencia en la que se pierde la sensación auditiva de tonalidad.

¹ La escala de ponderación G, definida en la norma ISO 7196:1995(E): “Acoustics – Frequency– Weighting Characteristic for Infrasound Measurements”, es de aplicación en infrasonidos y frecuencias muy bajas y altas (hasta 315 Hz). Tiene su cero en 10 Hz, su máximo en 20 Hz, pendiente de unos 12 dB/octava entre 1 y 20 Hz, pendiente negativa de -24 dB/octava a partir de 20 Hz. Pese a haberse definido hace más de 15 años, aún es muy poco aplicada.

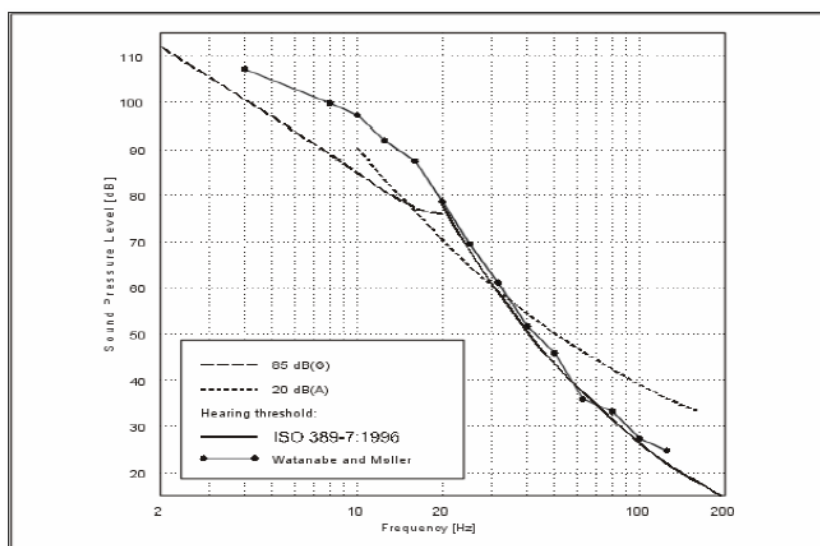


Figura 1-3. Umbrales auditivos propuestos por Watanabe y Moller, 1990 (tomado de Bellhouse, 2004)

El cambio en la pendiente de la curva del umbral próximo a los 16 Hz a una pendiente menor –es decir, a una mayor variación del nivel sonoro en este intervalo de frecuencias, corresponde una menor variación en los umbrales auditivos-, indica que la caída de la sensibilidad auditiva en las frecuencias de infrasonidos es menor que la que ocurre para frecuencias más altas. Ésta es una de las razones por las que la curva de ponderación A subestima el nivel sonoro subjetivo en las bajas frecuencias e infrasonidos.

Asimismo, cambia también la percepción de la sonoridad: en las frecuencias bajas la sensación de sonoridad se duplica cada vez que el nivel sonoro se incrementa en 5 dB, y el cambio requerido es aún más pequeño en frecuencias más bajas. En cambio, en las frecuencias medias la duplicación de la sensación de sonoridad se corresponde con un incremento de 10 dB. El *crecimiento más rápido de la sonoridad en las bajas frecuencias* es un factor *importante* en cuanto a *efectos subjetivos*.

Según Sejer Pedersen (2008), la percepción humana del sonido por debajo de 20 Hz tiene las siguientes características:

- Las personas pueden percibir sonidos por debajo de 20 Hz, a condición de que se trate de señales de intensidad elevada.
- La audición va siendo menos sensible a medida que disminuye la frecuencia, pero no hay una frecuencia determinada en la cual se pueda establecer que la audición se interrumpe.
- El umbral de audición por debajo de 20 Hz es el mismo para hombres y mujeres y comienza a deteriorarse después de los 50 años.
- Para señales de frecuencia hasta 10 Hz, es posible contar los ciclos individuales de la señal, y los cambios de frecuencia se pueden percibir con la sensación de presión en los oídos.

2 Efectos del ruido sobre la salud

2.1 Aspectos generales

De acuerdo con la definición que da la Organización Mundial de la Salud (Berglund y Lindvall, 1995):

*“La **salud** es un **estado de completo bienestar físico, mental y social**, y no sólo la ausencia de enfermedad o dolencia”,*

no puede ponerse en tela de juicio que el ruido afecta a la salud de las personas casi por definición, si se toma en consideración que puede definirse como una *“interferencia que afecta a un proceso de comunicación”* (RAE, 2014).

La exposición a ruido puede causar efectos adversos *auditivos* y *extra-auditivos* en forma directa o bien actuar como precursores de efectos adversos sobre la salud. También puede producir efectos *psicofísicos*, que muchas veces están acompañados por síntomas como dificultad en la comunicación, perturbación del reposo y descanso, disminución de la capacidad de concentración, molestia, ansiedad, agresividad, estrés, entre otros. Estos efectos alteran la vida de las personas y en muchos casos pueden modificar sus relaciones con el entorno (efectos *psicosociales*), según sea la actitud del sujeto y su sensibilidad personal al ruido.

El ruido es uno de los pocos estímulos que provoca reflejo de defensa desde el nacimiento; no es un miedo aprendido (Romano, 2000). Las reacciones reflejas que puede inducir un ruido inesperado pueden ser movimientos bruscos, interrupción abrupta de una tarea (dependiendo de las características de la misma, la exigencia mental que implica, la demanda auditiva o extra auditiva, etc.), pérdida de concentración, entre otras.

En vistas de la diversidad de efectos del ruido constatados sobre la salud humana, se suelen agrupar en tres grandes grupos:

- Efectos sobre el aparato auditivo
- Efectos extra-auditivos
- Efectos psicofísicos

Algunos de los efectos fisiológicos extra-auditivos son temporales y no dejan secuelas clínicas significativas, pero otros pueden tener consecuencias irreversibles; algunos posibles daños cardiovasculares son ejemplo de ello. La recurrencia de exposiciones sonoras puede transformar irregularidades pasajeras en patologías crónicas.

En ese sentido, el informe acerca de morbilidad y efectos del ruido presentado en 2004 por la red de investigación interdisciplinaria “Ruido y Salud” de la Organización Mundial de la Salud (WHO LARES, Large Analysis and Review of European Housing and Health Status) confirma que para un elevado nivel de exposición crónica, ocurre una cadena [salud → elevado nivel de molestia → aumento de la morbilidad]. Aparecen riesgos elevados sobre el aparato respiratorio en niños y

sobre los sistemas cardiovascular, respiratorio y músculo-esquelético en adultos (Niemann y Maschke, 2004).

Algunas de las alteraciones físicas generadas por el ruido pueden ser advertidas por el individuo, como el caso de fatiga corporal, náuseas, respuestas reflejas y dolores de cabeza. En cambio, muchas otras reacciones del organismo a nivel funcional pueden pasar desapercibidas para el sujeto afectado.

Aunque durante mucho tiempo se supuso que si no causaba molestia el ruido no generaría efectos adversos sobre la salud de las personas, esta hipótesis ha sido rebatida hace pocos años (Lam *et al.*, 2012; Nguyen *et al.*, 2012).

Existen datos suficientes que permiten considerar el ruido como un agente desencadenante de un conjunto de reacciones en el organismo, que se manifiestan a nivel fisiológico como enfermedades cardiovasculares, alteraciones del aparato digestivo, alteraciones hormonales y debilitamiento del sistema inmunitario, que puede traducirse no sólo en mayor propensión a enfermedades inmunitarias e infecciones oportunistas, sino también a cáncer y metástasis cancerosas. En efecto, la estimulación auditiva determina una respuesta compleja por parte del sistema nervioso central, que afecta a los órganos innervados por el sistema nervioso autónomo y el sistema endócrino, así como a los centros hipotálamo-diencefálicos que regulan los ciclos del sueño y la vigilia, la secreción endócrina y otras funciones. El envejecimiento prematuro del cerebro humano es para Weedon (2001) la más grave de todas las posibles consecuencias de la exposición a elevados niveles sonoros.

Sáenz Cosculluela (2004) plantea un enfoque más orientado a los derechos humanos:

“En los lugares afectados, ocasiona daños físicos y psíquicos sobre la salud, provoca degradación ambiental, desintegración del tejido social, deterioro de la convivencia ciudadana y de la calidad de vida.

El ruido provoca también comportamientos adictivos. A niveles intensos desencadena fenómenos endocrinos, como la secreción de adrenalina, generando estados de excitación. Expuestas reiteradamente a niveles de ruido aun no tan intensos, las personas experimentan ansiedad y padecen dificultades para conciliar el sueño si repentinamente se encuentran en entornos silenciosos. Provoca también tensión arterial, sordera, cefaleas; insomnio, irritabilidad, úlceras de duodeno y digestivas, riesgos de accidente, cardiopatías entre otras.

La contaminación acústica es una forma de infringir o de quebrar los derechos constitucionales fundamentales de los ciudadanos. El ruido atenta contra los derechos fundamentales de las personas.”

Los riesgos para la salud asociados con la contaminación sonora que lista la Organización Mundial de la Salud incluyen (Niemann y Maschke, 2004; WHO, 2011):

- Enfermedades cardiovasculares; hipertensión arterial; infarto de miocardio; ataque cardíaco
- Enfermedades respiratorias; bronquitis; asma
- Enfermedades del sistema músculo-esquelético

- Trastornos del sueño
- Pérdida auditiva; tinnitus (acúfenos)
- Alergias
- Artritis
- Diabetes
- Úlcera gástrica
- Estrés
- Respuestas hormonales / neuroendócrinas
- Enfermedades inmunitarias
- Molestia
- Deterioro cognitivo en niños
- Depresión; tendencias depresivas
- Migrañas
- Susceptibilidad al ruido

Algunos autores profundizan en algunos estudios y amplían la enumeración (Ising y Kruppa, 2004; Orozco *et al.*, 2010; Passchier-Vermeer y Passchier, 2000) detallando también los siguientes efectos:

- Afectación del funcionamiento del corazón, provocando fluctuaciones en la tensión arterial y vasoconstricción de los vasos sanguíneos periféricos.
- Espesamiento de la sangre.
- Riesgos para el feto.
- Dificultades de concentración en el trabajo.
- Descenso del rendimiento en el trabajo/escuela.
- Cambios de conducta en los niños.
- Interferencias con el comportamiento social (agresividad, protesta e impotencia).
- Interferencia con la comunicación verbal.

Eriksson y Katz (2015) y Pyko *et al.* (2014) ratifican que la exposición a ruido de tránsito puede elevar el riesgo de obesidad. Pyko *et al.* encontraron un incremento de 0,21 cm del perímetro de la cintura por cada incremento de 5 dBA en el L_{den} (al 95 % de confianza). Christensen *et al.* (2016)

van un paso más adelante y demuestran también una relación con el Índice de Masa Corporal (BMI por sus siglas en inglés), como puede verse en la Figura 2-1.

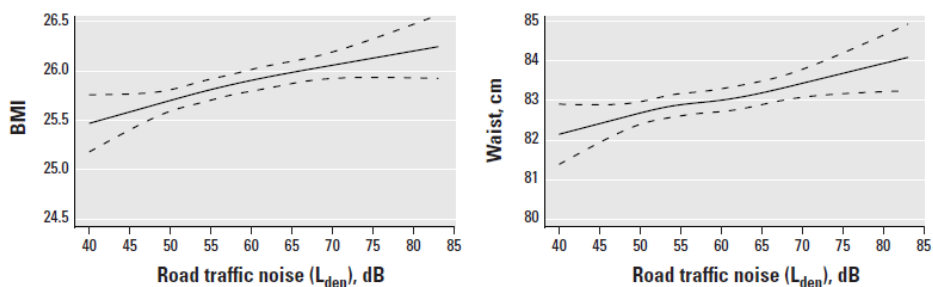


Figura 2-1. Relación entre L_{den} y el Índice de Masa Corporal BMI (Izq.) y el perímetro de cintura (der.) Tomado de Christensen et al., 2016)

La eosinofilia (un síntoma de alergia), la hiper- e hipoglucemia (concentraciones de azúcar en sangre anormalmente altas o bajas respectivamente) y la hipokalemia (nivel anormalmente bajo de potasio en sangre, que se asocia con síntomas de debilidad y anomalías del corazón) pueden ser también causadas por el ruido.

2.2 Efectos sobre el aparato auditivo

2.2.1 Efectos directos

Los efectos sobre el aparato auditivo suelen clasificarse en: trauma acústico, elevación temporal del umbral auditivo (fatiga auditiva) y elevación permanente del umbral auditivo (hipoacusia). La nomenclatura de la Sociedad Británica de Higiene Ocupacional (British Occupational Hygiene Society) recogida por Somerville (1976) establece las siguientes definiciones:

- **Trauma acústico:** se designa de este modo a la pérdida auditiva resultante de una única exposición, intensa y breve, a un ruido muy fuerte (casos típicos: explosiones, disparos). Puede generar perforación de la membrana del tímpano, dislocación de la cadena de huesecillos o daños en el oído interno.
- **Pérdida auditiva o daño auditivo (hearing impairment):** de este modo se alude genéricamente a cualquier pérdida de la audición.
- **Deterioro auditivo (handicap):** daño a la audición que tiene consecuencias sociales.
- **Discapacidad auditiva (disability):** daño a la audición que da lugar a dificultades en el trabajo.

La OMS considera que las personas expuestas al ruido ambiental en períodos de hasta 24 horas y un L_{Aeq} inferior a 70 dBA no sufrirán pérdida de la audición. No obstante, todavía no existe una confirmación basada en hechos experimentales dado que, de ocurrir efectos perjudiciales, se detectarían a largo plazo (Berglund y Lindvall, 1995).

Los principales efectos sobre el aparato auditivo pueden describirse brevemente así:

- **Trauma acústico:** daño orgánico inmediato del oído por excesiva energía sonora. En general se debe a una exposición única a niveles muy altos de presión sonora. Por lo general, como

resultado del trauma acústico suele producirse cierto grado de pérdida permanente de audición. El episodio causante del trauma es a menudo dramático, de forma que la persona implicada suele identificar fácilmente el comienzo del problema auditivo resultante.

- **Desplazamiento (incremento) temporal del umbral auditivo** (*NITTS, noise impairment temporary threshold shift*, según la notación de la Norma ISO 1999:90): El desplazamiento temporal del umbral de audición inducido por el ruido se refiere a una elevación transitoria del umbral auditivo (una pérdida de la sensibilidad auditiva) después de una exposición a ruido. En este caso, la pérdida de audición es reversible. El desplazamiento temporal se produce siguiendo un crecimiento asintótico durante las primeras horas de exposición. Después de unas 8 a 16 horas se alcanza una meseta cuya magnitud depende del nivel sonoro en dBA. Interrumpida la exposición, después de una inestabilidad inicial del umbral (que dura alrededor de 2 minutos) el aumento del umbral comienza a retroceder, y lo hace en forma aproximadamente lineal con el logaritmo del tiempo, hasta desaparecer. El proceso es tanto más rápido cuanto menor haya sido el nivel sonoro durante la exposición.

Según Chávez Miranda (2006), la recuperación de la elevación temporal del umbral auditivo es usualmente casi completa al cabo de dos horas y completa a las 16 horas de cesar la exposición, si se permanece en un estado de reposo acústico. Para el autor, este estado corresponde a niveles sonoros de menos de 50 dBA en vigilia o de 30 dBA durante el sueño.

- **Desplazamiento (incremento) permanente del umbral auditivo** (*NIPTS noise impairment permanent threshold shift*): En el desplazamiento (incremento) permanente del umbral inducido por el ruido, la pérdida de audición no es reversible sino permanente. No existe posibilidad de recuperación. Este tipo de desplazamiento puede ser resultado de un trauma acústico o estar producido por el efecto acumulativo de exposiciones repetidas a ruido durante períodos de tiempo de muchos años. Aunque no se conoce aún en detalle el proceso del desplazamiento (incremento) permanente del umbral inducido por ruido, se supone que podría seguir una evolución similar a la correspondiente al desplazamiento temporario.

La pérdida auditiva permanente o desplazamiento (incremento) permanente del umbral auditivo, cuando se relaciona con un deterioro a nivel coclear (hipoacusia de percepción), puede deberse al efecto acumulativo de exposiciones repetidas al ruido durante períodos de tiempo de muchos años. En su instalación se reconocen las siguientes fases:

- Desplazamiento (incremento) temporal del umbral auditivo
- Instalación de la pérdida en altas frecuencias (4.000 Hz - 6.000 Hz)
- Avance de la pérdida hacia frecuencias más bajas
- Dificultades funcionales en la vida cotidiana

El período subclínico, es decir, hasta que la persona que padece la pérdida se da cuenta de ello –a partir, por lo general, de que comienzan a ocurrir disfuncionamientos que la afectan en su vida cotidiana-, puede ser muy prolongado. De ahí que no se reconoce ninguna medida más adecuada que la **prevención** para preservar la salud auditiva.

Otro efecto posible y no menos crítico es la aparición de **acúfenos** o **tinnitus**, que son ruidos que aparecen en el interior del oído humano por la alteración del nervio auditivo y hacen que quien los padece escuche un zumbido interno constante, que causa ansiedad y cambios de carácter. En 2015 un grupo de científicos uruguayos liderado por el Dr. Jorge Drexler patentó un sistema de “control activo” para el tratamiento de estas afecciones, a través de la estimulación auditiva activa durante el sueño con una señal que es imagen especular de la onda (zumbido) que oye la persona afectada (Costa Delgado, 2015).

2.2.2 Valoración clínica de la pérdida auditiva

Clínicamente, la evaluación de la salud auditiva pasa, entre otros exámenes, por la realización de una audiometría. La audiometría tonal o de tonos puros permite evaluar el umbral auditivo de un sujeto a través de un estudio que consiste en la estimulación auditiva por vía aérea y por vía ósea. Se trata de una técnica no invasiva, estandarizada, de bajo costo y fácil aplicación, que permite conocer el umbral auditivo respecto al cero audiométrico que un individuo registra en cada oído y para cada una de las frecuencias de interés entre 125 Hz y 8000 Hz.

La gráfica clínica de la audiometría es de uso universal. En las abscisas se grafican las frecuencias de 125 a 8000 Hz en intervalos iguales para cada octava; en las ordenadas se anotan las pérdidas (en dB) que se registran en cada banda en relación al eje 0, que representa el “cero audiométrico”, es decir, el umbral auditivo normal para las vías ósea y aérea. Cada respuesta está representada por un pequeño círculo para el oído derecho y por una pequeña cruz para el izquierdo. Se registran ambos oídos en el mismo gráfico, el derecho en rojo y el izquierdo en azul.

Para evaluar la capacidad auditiva en relación a exposición ocupacional a ruido, se suele explorar las frecuencias comprendidas entre 500 Hz y 8000 Hz y solamente la vía aérea.

Entre otras informaciones, la audiometría permite conocer el umbral auditivo, es decir, la intensidad mínima audible para cada frecuencia. La forma del gráfico es parte del resultado: en las hipoacusias de percepción, un escotoma en 4000 Hz es característico de una pérdida auditiva inducida por exposición a ruido, en tanto un descenso progresivo en las frecuencias agudas es propio de la presbiacusia. En efecto, el daño auditivo por exposición laboral se inicia con una pérdida centrada en los 4.000 Hz, que se manifiesta en el audiograma como una “V” que recibe el nombre de *escotoma*.

Pero para que el individuo se dé cuenta de que está sufriendo un daño auditivo puede pasar aún mucho tiempo. Es que la pérdida se va propagando primero a las frecuencias vecinas y sólo cuando se alcanza un deterioro significativo en las frecuencias conversacionales es que empieza a haber dificultades para comprender la palabra hablada. Inicialmente esto se manifiesta como una dificultad para comprender a cabalidad el mensaje que se recibe, lo que se debe a la dificultad para reconocer las consonantes a consecuencia del deterioro auditivo en las frecuencias conversacionales más altas.

Estudios realizados por Serra et al. (2014) en Córdoba, Argentina, durante el seguimiento de cohortes de adolescentes, muestran que las audiometrías de alta frecuencia pueden advertir tempranamente (incluso dos a tres años antes de que se manifieste) de la incipiente instalación de una pérdida auditiva por exposición a ruido.

3 Efectos extra-auditivos del ruido

3.1 Efectos prenatales y neonatales

El sentido de la audición tiene un desarrollo primario dentro de las primeras semanas de gestación y antes de promediar el embarazo los oídos ya se han formado casi totalmente, aunque continuarán desarrollándose.

El feto está permanentemente expuesto a diferentes sonidos en el vientre materno, y por lo menos en los últimos tres meses es capaz de percibir estímulos sonoros externos e incluso manifestar algún tipo de reacción ante ellos a través de movimientos. Reacciona al ambiente en que está su madre, por lo que puede ser directamente estimulado por el ruido. Según indica Miyara (2001b), los estímulos acústicos son prácticamente los únicos capaces de atravesar la masa de tejidos hasta llegar al útero. Un experimento clásico consiste en exponer a la futura madre a diversas fuentes sonoras. Se comprueba que ello produce cambios fisiológicos y de comportamiento del feto, entre ellos aumento del ritmo cardíaco y movimientos de las extremidades. Esto sin agregar que los elevados niveles de ruido también pueden generar una situación de estrés en la madre, cuyo organismo responderá de alguna manera, no necesariamente deseable para la salud de ambos. Si la madre se encuentra expuesta a niveles sonoros elevados durante el embarazo, el bebé se acostumbrará al ruido y entonces se notará que se calma en presencia de ruido y por el contrario se pondrá nervioso en ambientes muy silenciosos. En cambio, si la madre pasa el período de gestación en ambientes más bien silenciosos, el bebé reaccionará a la inversa que en el caso anterior.

Cuando la madre está expuesta a niveles sonoros elevados, la exposición excesiva a ruido *in útero* puede redundar en parto prematuro, bajo peso del bebé al momento de nacer, defectos de nacimiento, pérdida auditiva en las altas frecuencias y retardo del crecimiento (Bearer, 2004; Niemann y Maschke, 2004; Passchier-Vermeer y Passchier, 2000). Sin embargo, para Stansfeld *et al.* (2000) la exposición durante el embarazo a ruido ocupacional, ruido de tránsito o música amplificada no estaría relacionada con bajo peso al nacer, aunque recomendaban en ese entonces la realización de estudios más amplios para evitar confusiones ante otros posibles factores que pudieran enmascarar los resultados.

En lo que tiene que ver con el desarrollo psicofísico, es de hacer notar que los niños expuestos a elevados niveles de ruido ambiental tanto durante la etapa de gestación como durante su infancia pueden presentar problemas de crecimiento, dado que existe una relación entre sueño profundo y producción de hormonas de crecimiento. Asimismo, la exposición a ruido en las unidades de cuidados intensivos para recién nacidos puede traer aparejado un daño coclear; por el contrario, el control de los factores ambientales -incluido el ruido- puede contribuir a reducir el tiempo en que requieren respirador y a la maduración más normal del sistema nervioso central.

3.2 Alteraciones respiratorias

El informe WHO LARES (Niemann y Maschke, 2004) confirmó la existencia de un nivel significativo de asociación entre la exposición a ruido y el incremento de enfermedades respiratorias en niños y adultos, independientemente de la calidad del aire. Por lo tanto, lo

constatado es que el riesgo de enfermedad respiratoria es significativamente mayor cuanto mayor es la exposición a ruido.

Esto está además avalado por diferentes trabajos científicos, que demuestran que hay una correlación muy fuerte con episodios de bronquitis.

3.3 Sistema cardiovascular

La Organización Mundial de la Salud reconoce la exposición a ruido como un factor de riesgo cardiovascular (Berglund y Lindvall, 1995; Berglund *et al.*, 1999; Niemann y Maschke, 2004; WHO, 2011).

La elevación de la tensión arterial y las alteraciones del ritmo cardíaco tienden a hacerse permanentes ante la exposición continua a elevados niveles sonoros, en tanto la probabilidad de sufrir infartos se incrementa. De hecho se calcula que una persona expuesta a ambientes ruidosos debe ser considerada como 10 años mayor de su edad cronológica a efectos de evaluar el riesgo de accidente cardiovascular.

García Sanz y Garrido (2003) informan que, cuando la persona duerme, la actividad cardiovascular se ve afectada a partir de niveles de ruido de 45 dBA y señalan:

“Picos de ruido superiores a este nivel, aunque no produzcan una interrupción consciente del sueño, provocan una aceleración cardíaca intensa, seguida de una ralentización también brutal, que provoca vasoconstricción periférica seguida de vasodilatación, con el riesgo de causar hipertensión crónica.”

3.4 Trastornos del sueño

3.4.1 Ciclos y fases del sueño

Según Hanning (2010), *“el sueño es una función que fundamentalmente realiza el cerebro para sí mismo, más que para el descanso de todo el cuerpo.”* El cerebro trabaja intensamente durante el sueño pues mientras duerme, restaura, organiza y asimila lo que ha ocurrido durante la vigilia previa y se prepara para funcionar al día siguiente (Estivill, en Vázquez, 2011).

El objetivo principal del sueño parece ser fijar los recuerdos y almacenar información en la memoria. En los niños, facilita el aprendizaje y en los adultos, contribuye a contrarrestar la reducción de la memoria y de las funciones cognitivas.

El ciclo sueño-vigilia es un ritmo circadiano determinado internamente en las personas –y en todos los animales-, pero que está condicionado por factores exógenos.

Durante el sueño se produce una gran reducción de la actividad motora y un incremento de la actividad del sistema parasimpático. El individuo está muy poco consciente de su entorno y experimenta un aumento de los umbrales perceptivos de reacción frente a estímulos externos. Aunque el oído está permanentemente alerta, durante el sueño profundo el cerebro procesa los sonidos que recibe y “decide” si amerita o no despertarse, ya sea porque el sonido tenga un significado para el receptor (por ejemplo, el llanto del niño despierta a la madre, o alguien

percibe su nombre y reconoce que lo están llamando), o porque lo entienda como una amenaza (Hanning, 2010).

En el sueño se pueden identificar dos fases principales, que se suceden a modo de ciclo varias veces en la noche: el sueño profundo y el sueño paradójico (REM).

Cada ciclo completo dura del orden de 90 minutos. Normalmente la persona se despierta entre un ciclo y otro, especialmente entre el segundo y el tercero, entre el tercero y el cuarto y entre el cuarto y el quinto (Hanning, 2010). Si esos despertares duran menos de 30 segundos cada uno, no son recordados, pero con el avance de la edad los despertares son no sólo más prolongados sino también más frecuentes, por lo que se recuerdan después.

3.4.2 Conciliación del sueño, insomnio

Bernabeu (2009) reporta que el tiempo necesario para quedarse dormido se incrementa ya a partir de niveles sonoros ambientales de 45 dBA.

Aunque muchas personas manifiestan que se acostumbran con relativa facilidad al ruido ambiental, parece ser que nunca se alcanza una habituación completa, por lo que la exposición al ruido durante el sueño siempre es perturbadora.

Por su parte el insomnio crónico resulta en efectos fisiológicos primarios, como incremento de la presión arterial, el ritmo cardíaco y los movimientos del cuerpo, arritmia, vasoconstricción y cambios a nivel respiratorio.

3.4.3 Interrupción del sueño

De acuerdo con Hanning (2010), el ruido externo no tiene por qué despertar a una persona que duerme. Miedema (2005, citado por Hanning, 2010) indica que a partir de los 32 dBA puede generarse una respuesta de excitación en el organismo -aún sin despertar-, que puede asociarse con sonambulismo y pesadillas. Hanning agrega que tales niveles pueden llegar a despertar a los ancianos, que son más susceptibles de ver interrumpido su sueño. Eventos con niveles de presión sonora a partir de 42 dBA pueden hacer que el durmiente despierte e indica:

“El sueño, cuando se interrumpe, resulta en más sueño, fatiga, dolores de cabeza y pérdida de memoria y concentración”.

El ruido que interrumpe el sueño no siempre es recordado cuando el sujeto se despierta por la mañana, por lo que un trastorno de sueño inducido por el ruido puede, algunas veces, resultar en queja de somnolencia y fatiga en vez de insomnio (Domínguez Ortega 2002, citado por García Sanz y Garrido, 2003).

3.4.4 Calidad y profundidad del sueño

Si hay ruido en el ambiente durante el sueño, aun si el individuo no se despierta puede ocurrir que pase a una fase de sueño más liviano. Se ha demostrado que sonidos del orden de aproximadamente 60 dBA reducen la profundidad del sueño, tanto más cuanto mayor es la amplitud de la banda de frecuencias de la señal sonora. La ocurrencia de ruidos puede hacer que se produzcan movimientos corporales y también reacciones vegetativas, como variaciones del

ritmo cardíaco, la presión sanguínea periférica o la frecuencia respiratoria, así como secreción de adrenalina y cortisol. Dependiendo de la fase del sueño en que se encuentre y de la naturaleza del ruido, el individuo puede despertar.

Cuando no se logra alcanzar un sueño profundo, entonces se duerme pero no se descansa. Tanto el número de horas dormidas como la calidad del sueño son importantes. El tiempo dedicado a las fases más profundas del sueño disminuye, por lo que el sujeto suele despertarse con sensación de cansancio, al ser estas fases profundas las necesarias para un sueño reparador. El tiempo de sueño REM disminuye y lo más preocupante, coincidiendo con García Sanz y Garrido (2003), es que se ha comprobado un aumento de la tasa de afectación cardíaca durante el sueño.

El sueño profundo es muy difícil de alcanzar en presencia de estímulos sonoros intermitentes. En ese sentido, la ocurrencia de eventos sonoros discontinuos afecta más que la presencia de un ruido continuo, aún si éste fuera de mayor nivel de presión. Este efecto “menos nocivo” de los ruidos estables podría incluso emplearse para contribuir a conciliar el sueño.

Según indica la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT) del Distrito Federal, México, en el caso de que el ruido no sea continuo sino intermitente o impulsivo, la probabilidad de despertar aumenta con el número de eventos por noche, disminuyendo la calidad del sueño (PAOT, S/A). Es importante tener en cuenta que estímulos débiles sorpresivos también pueden perturbar el sueño, incluso si se trata de variaciones puntuales hacia menores niveles de ruido (el corte del motor de una heladera o de una bomba de agua, por ejemplo). Si los eventos de ruido perturban repetidamente un período de sueño, no se producirá el descanso saludablemente necesario.

Al despertar, se tiene cierta percepción de la calidad del sueño pasado. Una mala calidad del sueño trae como consecuencias al día siguiente una baja en el rendimiento intelectual en tareas psíquicas y motoras, a consecuencia del cansancio y el mal humor que genera el haber “dormido mal” (disminución del nivel de atención -con los peligros que conlleva en actividades como conducir, manejar maquinaria, etc.-, cansancio, irritabilidad, aumento de la agresividad y, con el tiempo, alteraciones crónicas del sueño). Los efectos secundarios o posteriores, como por ejemplo fatiga, depresión y reducción del rendimiento, pueden prolongarse por varios días en personas hipersensibles y si esto ocurre, el equilibrio psicofísico del organismo se verá sin dudas perturbado.

Una reducción de los niveles sonoros ambientales no necesariamente redundará en un descenso de los niveles de reacción, pero esto sí ocurre ante una reducción del número de eventos sonoros que ocurre durante el sueño.

3.4.5 Trastornos crónicos del sueño

El cuerpo *se habitúa* al ruido, pero *no llega nunca a adaptarse naturalmente* al mismo, por lo que la Organización Mundial de la Salud considera que las alteraciones del sueño son efectos adversos sobre la salud.

En el Informe WHO Lares (Niemann y Maschke, 2004), los trastornos del sueño mostraron una fuerte asociación con la amplia mayoría de las enfermedades de las personas adultas. Sólo diabetes, tumores malignos y enfermedades de la piel no presentaron relación significativa. En

ancianos, los trastornos del sueño se asociaron significativamente con problemas de artritis, asma, úlcera gástrica, migraña y tendencia a la depresión.

Aunque las causas de los trastornos del sueño son muchas y muy diversas, el ruido ambiental es responsable de entre un 11 % y un 17 % de ellos (Persson Waye *et al.*, 2012). Probablemente se trate de uno de los efectos más generalizados que ocasiona el ruido. Los efectos crónicos del ruido sobre el sueño se pueden clasificar en tres grupos principales, según su momento de aparición:

- Alteraciones primarias: se refieren a dificultades para conciliar el sueño, alteraciones del patrón o intensidad del sueño e interrupciones del mismo. Otros efectos primarios de naturaleza nerviosa vegetativa que se manifiestan durante el sueño con exposición a ruido, son el aumento de la presión arterial, aumento del ritmo cardíaco, arritmia cardíaca, vasoconstricción, cambios en la frecuencia respiratoria y movimientos corporales.
- Alteraciones secundarias: son los efectos que aparecen la mañana o el día después de la exposición al ruido durante el sueño, e incluyen reducción en la calidad percibida del sueño, fatiga, somnolencia, modificaciones del carácter y el comportamiento, trastornos cognitivos y alteración del bienestar y de la actividad general.
- Efectos a largo plazo: si bien son menos conocidos, potencialmente los efectos de la alteración del sueño por el ruido pueden manifestarse después de largos períodos de exposición al ruido durante el sueño. Pueden dar lugar gradualmente a la aparición de enfermedades funcionales que, con el tiempo, pueden llegar a establecerse como enfermedades orgánicas progresivas e irreversibles. Hanning (2010) señala que incrementa el riesgo de obesidad, diabetes, hipertensión arterial, enfermedades coronarias, cáncer, depresión y trastornos del sistema inmunitario (bajas defensas). Nótese que algunas de estas asociaciones no habían sido encontradas 6 años antes en el Informe WHO Lares (Niemann y Maschke, 2004).

Existe, además, un síndrome crónico caracterizado por dolores musculares, fatiga generalizada, abatimiento y alteraciones del sueño que puede ser desencadenado por estímulos estresantes como el ruido (Bernabeu, 2009).

3.4.6 Directrices de la Organización Mundial de la Salud para Europa

En 2009 la OMS publicó las *Directivas sobre Niveles de Ruido Nocturnos para Europa* (Night Noise Guidelines NNG, por sus siglas en inglés). El informe señala que:

- Por debajo de 30 dBA como promedio anual de niveles nocturnos de presión sonora exterior no se observan efectos biológicos significativos durante el sueño (a pesar de la variabilidad en las susceptibilidades y circunstancias individuales), excepto un leve incremento en la frecuencia de los movimientos corporales debido al ruido nocturno. En consecuencia, el valor de 30 dBA puede tomarse como un valor de LOEL para ruido nocturno.
- Entre 30 dBA y 40 dBA los efectos observados son varios, siendo más susceptibles los enfermos crónicos y los niños, pero sin embargo no hay evidencia suficiente que indique que se trata de efectos biológicos adversos a la salud. En consecuencia, el nivel exterior nocturno de 40 dBA puede considerarse como un valor de LOAEL.

- Por encima de 40 dBA como nivel promedio nocturno exterior, ocurren efectos adversos a la salud como alteración en el sueño, “insomnio ambiental”² y por ende un aumento en las dosis de drogas y sedantes para conciliar el sueño.
- A partir de un nivel $L_{A, \text{noche, exterior}}$ de 55 dBA, los efectos cardiovasculares que provoca la exposición a este nivel de ruido se convierten en la mayor preocupación de salud pública. Los grupos vulnerables no están protegidos con este nivel de exposición.

Luego, las directrices europeas para niveles de ruido nocturno establecen que:

- Teniendo en cuenta la evidencia científica sobre los umbrales de exposición al ruido nocturno definidos en la Directiva sobre Ruido Ambiental (2002/49/EC), para la prevención primaria -a nivel subclínico- de los efectos adversos para la salud de la población es recomendable evitar la exposición a niveles de ruido nocturno exterior mayores a 40 dBA de $L_{\text{noche, exterior}}$. Este valor se puede considerar como el umbral para proteger a los receptores de esos efectos debido al ruido nocturno, incluyendo a la mayoría de los grupos vulnerables como los niños, enfermos crónicos y ancianos.
- Para aquellos países en donde por razones diversas alcanzar el nivel NNG no es factible en el corto plazo y en donde los responsables políticos decidan adoptar un enfoque gradual para alcanzar la meta de un nivel de ruido nocturno $L_{A, \text{noche, exterior}}$ de 40 dB, se recomienda adoptar como nivel objetivo intermedio (Interim Target, IT) un valor de 55 dB para $L_{A, \text{noche, exterior}}$, pero remarcando que debe ser sólo un objetivo intermedio dado que este nivel no protege a los grupos vulnerables.

Resulta claro que el nivel recomendado por la OMS no es fácilmente incorporable en la normativa como nivel admisible en exteriores, y más aún si se tiene en cuenta que se trata de un promedio de los niveles nocturnos equivalentes anuales. En todo caso, tampoco sería sencillo satisfacer ese valor como nivel sonoro admisible en exteriores en un período de tiempo más breve.

3.5 Alteraciones hormonales

Aunque algunos autores, como van Kamp et al. (2012), sostienen que no hay suficiente evidencia de la relación entre exposición a niveles sonoros elevados y la aparición de alteraciones o modificaciones en la secreción hormonal, otros, entre ellos Bernabeu (2009), sostienen que a partir de niveles de ruido ambiente de 60 dBA ya es posible detectar modificaciones en los niveles de algunas hormonas.

En efecto, al estar expuesto a elevados niveles de presión sonora, el organismo reacciona como lo hace ante una emergencia y la médula suprarrenal libera en sangre dos catecolaminas: adrenalina y noradrenalina. El incremento en la liberación de adrenalina y noradrenalina se relaciona en forma directa con el nivel de presión sonora, aunque la liberación de noradrenalina exigiría un mayor nivel de activación. La inyección de adrenalina estimula la activación del sistema nervioso central (SNS) produciendo un aumento de los ritmos cardíaco y respiratorio,

² El “insomnio ambiental” es esencialmente lo mismo que los “trastornos del sueño auto-reportados”, pero la primera expresión se aplica cuando este diagnóstico surge en el contexto de una encuesta social.

dilatación pupilar, piloerección, y produce un estado emocional que para algunos investigadores es inespecífico, aunque para otros se asocia con euforia y no con ira o enojo.

En principio, ambas catecolaminas tendrían diferentes funciones: la adrenalina se asociaría al miedo y la noradrenalina, al enojo, lo que explicaría el mayor nivel de noradrenalina presente en especies predatoras, como los leones, mientras que en otras más pacíficas, como los conejos, hay más adrenalina. A su vez, ambas son potentes vasoconstrictores y responsables en parte de la hipertensión arterial asociada con el ruido.

Por otra parte, la producción de cortisol por las glándulas suprarrenales se encuentra controlada por la secreción de ACTH. Esta hormona, que se produce en la hipófisis (glándula localizada en la base del cerebro), estimula la secreción de cortisol y es por tanto necesaria para que las glándulas suprarrenales funcionen. A su vez la secreción de ACTH por la hipófisis está regulada por la acción del CRH, una hormona hipotalámica que se ve estimulada por situaciones de estrés. Así pues, *existe una conexión entre el sistema nervioso, la hipófisis y las glándulas suprarrenales.*

En condiciones normales la secreción de ACTH se produce de forma oscilante, sincronizada con el ritmo sueño-vigilia o ritmo circadiano, de modo que es máxima por la mañana y mínima a medianoche. Esto permite mantener un grado de actividad elevado durante el día, en contraste con el período nocturno. Si el nivel de cortisol de la sangre aumenta excesivamente, la secreción de ACTH disminuye para contribuir a que el sistema recobre la actividad normal. Si, por el contrario, la concentración de cortisol disminuye, la producción de ACTH aumenta para estimular la producción de cortisol por las glándulas suprarrenales.

Una gran variedad de estímulos inespecíficos pueden producir un marcado incremento en la velocidad de secreción de cortisol por la corteza suprarrenal ya que casi cualquier tipo de estrés, sea físico o mental, causa de inmediato un notable incremento en la secreción de ACTH por el lóbulo anterior de la hipófisis (adenohipófisis). Unos minutos después ocurre un gran incremento en la secreción de cortisol por la glándula suprarrenal.

El cortisol incrementa la velocidad de gluconeogénesis y causa una reducción moderada de la velocidad de consumo de la glucosa en las células. Ambos factores elevan la concentración de glucosa en sangre (glucemia). Si esto ocurre en forma exagerada (50 % o más por encima de lo normal) suele designarse como *diabetes suprarrenal*. El incremento de la glucemia debería oponerse a las reacciones agresivas, dado que la agresividad se relaciona con bajos niveles de glucosa en la sangre (Bernabeu, 2009).

3.6 Estrés

El *estrés* es una reacción inespecífica ante factores agresivos del entorno físico, psíquico y social del individuo (Bernabeu, 2009). Se dice que se sufre de *estrés* cuando el organismo está sometido a sobre-esfuerzos que desafían y eventualmente superan su resistencia. El desequilibrio entre las demandas psíquicas o del entorno y la capacidad del sujeto para responder a ellas, produce un exceso de tensión nerviosa.

El estrés es una respuesta fisiológica normal del organismo para defenderse ante posibles amenazas. Un estrés moderado no es perjudicial para el organismo. Pero si esta reacción se repite o resulta sistemáticamente inefectiva puede llegar a agotar los mecanismos normales de

respuesta, produciéndose un desequilibrio en los mismos que, con el tiempo, puede manifestarse en forma de diferentes alteraciones de la salud.

Los signos del estrés pueden ser cognitivos, emocionales, físicos o del comportamiento. Pueden involucrar fatiga, cefaleas, problemas gástricos, alteraciones cardiocirculatorias, cambios en el campo visual y trastornos psicopatológicos. Incluyen manifestaciones de juicio poco favorable, actitud negativa, preocupación excesiva, mal humor, irritabilidad, agitación, incapacidad para relajarse, sentimiento de soledad, aislamiento, depresión, comer o dormir demasiado o no lo suficiente, introspección, dilación o negligencia en las responsabilidades, incremento en el consumo de alcohol, drogas o tabaco. También se produce una activación general del sistema nervioso autónomo. Diversas enfermedades cardiovasculares, alteraciones del aparato digestivo, alteraciones del sistema inmunitario de defensa o del sistema de reproducción se han relacionado con la reacción de estrés.

El hipocampo, una de las regiones del cerebro con mayor responsabilidad en los procesos cognitivos y de aprendizaje que subyacen a la memoria –especialmente importante en la memoria reciente y el procesamiento espacial-, es una de las regiones más sensibles al estrés.

Entre las consecuencias más directas, cabe considerar el *síndrome de indefensión adquirida* y la sobreestimulación. Seligman y Solomon (citados por Weedon, 2001) explicaron cómo la indefensión adquirida y/o la falta de autoridad pueden dañar la salud, en conexión con el hecho de perder el control sobre agentes estresantes que afectan directamente la calidad de vida; esto va en la línea de lo establecido por Rotter (1966, citado por Weedon 2001)) acerca de la importancia del circuito de control sobre la vida y los perjuicios para la salud que resultan de la pérdida de este control. A propósito de la sobreestimulación, Weedon (2001) indica que al incrementarse el estrés también se incrementa el estado de alerta y con ello el ritmo cardíaco, la presión arterial, la dilatación pupilar, la contracción muscular y los niveles de colesterol y ciertas hormonas en la sangre.

Todos los síntomas y signos propios del estrés pueden presentarse a causa de exposición a ruido. Cualquier sonido persistente de baja o alta frecuencia, y también el ruido ambiental, constituyen factores de estrés. La reacción ante el ruido es defensiva, la misma que el organismo adopta ante una situación de peligro: pone el cuerpo en alerta y se desencadena una serie de activaciones glandulares, cambios en la secreción endócrina y procesos fisiológicos como para prepararse para la huida o la lucha. Si bien estas reacciones son en principio normales, se convierten en patológicas tras exposiciones suficientemente prolongadas al ruido.

En lo que tiene que ver con secreciones hormonales, la liberación de adrenalina, noradrenalina y cortisol se incrementan en forma directa con el nivel de presión sonora. Tanto la corticosterona y la ACTH (hormona adrenocorticotrópica, corticotropina o corticotrofina) al estimular la secreción de cortisol, como la adrenalina y la noradrenalina, están relacionadas con la agresividad.

En condiciones de estrés agudo, la CRH (también designada como CRF o factor regulador de ACTH, es una hormona liberadora de ACTH que se produce en el hipotálamo y se almacena en la neurohipófisis) estimularía la liberación hipofisaria de ACTH; así, la hipófisis se ocuparía de que las glándulas suprarrenales liberen cortisol en cuestión de minutos. El cortisol plasmático enviaría

al hipotálamo una retroalimentación acerca del exceso que se está produciendo, para que entonces cese la liberación de CRH.

Si la exposición se mantiene, aunque exista un cierto nivel de acostumbramiento a los niveles sonoros que pueden crear malestar o motivar alerta, los efectos de interferencia que causa el ruido *no son adaptativos*: las reacciones de estrés están presentes siempre y pueden incrementarse si la exposición continúa. La estimulación constante de los centros cerebrales hace que la respuesta al estrés se mantenga, con repercusiones neurosensoriales, endócrinas, cardiovasculares, digestivas, que contribuyen a la pérdida de salud física y mental.

Adicionalmente, si el ruido se combina con otros agentes estresantes, sean éstos ambientales, sociales o psicológicos, la capacidad de adaptación del individuo se reduce: su vulnerabilidad ante factores de estrés aumenta, y también aumenta la probabilidad de sufrir efectos adversos sobre la salud³.

3.7 Debilitamiento del sistema inmunológico

Las hormonas asociadas con el estrés protegen al cuerpo en el corto plazo y promueven la adaptación a las circunstancias (alostasis), pero a la larga, este esfuerzo sin éxito por adaptarse provoca cambios que conducen a la enfermedad, al generar efectos adversos especialmente sobre el sistema inmunológico. A veces, el estrés actúa como inhibidor de la respuesta inmunitaria (estrés crónico) y otras veces, como potenciador de la función inmune, en el caso del estrés agudo (Moynihan, 2003, citado por Orozco *et al.*, 2010).

En la exhaustiva revisión que presentan Orozco *et al.* (2010), refieren abundante documentación acerca del vínculo entre el sistema nervioso central (SNC) y el sistema inmunológico. Bajo estrés, el SNC libera hormonas que perturban el equilibrio y la estabilidad del sistema inmunológico, lo que puede acarrear consecuencias graves para la salud. Las catecolaminas, la ACTH, los glucocorticoides son influenciados por eventos negativos y emociones negativas, y cada una de estas hormonas puede inducir cambios cuantitativos y cualitativos en las funciones inmunes.

Las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) suprimen la respuesta inmune de linfocitos y monocitos. Los corticoesteroides, que se mantienen con concentraciones altas durante situaciones del estrés, tienen importantes efectos supresores sobre linfocitos y macrófagos, y disminuyen la producción de muchas citocinas y mediadores de la inflamación.

El cortisol o hidrocortisona está involucrado en la respuesta al estrés y la ansiedad. Aumenta la presión arterial y el azúcar en la sangre y reduce la capacidad del sistema inmunológico para responder a las enfermedades o lesiones.

El incremento de cortisol en sangre provoca múltiples cambios inmunológicos adversos. La exposición a ruido incrementa la liberación de cortisol; este efecto también puede ser causado por la depresión. Se ha reportado un incremento de los procesos alérgicos en áreas con elevada exposición a ruido, lo que sugiere un efecto adverso del ruido sobre los mecanismos de inmunorregulación.

³ En general, ante la confluencia de varios factores de estrés, la capacidad de adaptación de los seres vivos se reduce y su resistencia a la acción de otros agentes se ve vulnerada.

3.8 Despolarización neuronal

Los procesos de despolarización-repolarización de las neuronas están asociados con la transmisión de impulsos nerviosos (potenciales de acción) de una neurona a otra. Cuando las neuronas están en reposo, están polarizadas. Al transmitir un impulso o potencial de acción se despolarizan y no pueden volver a transmitir otro hasta que recuperen su condición inicial. Esto tarda algunas décimas de milisegundo.

Como la respuesta neuronal es proporcional a la intensidad del estímulo, ante elevados niveles sonoros las neuronas se pueden despolarizar y quedar momentáneamente no aptas para transmitir otros estímulos.

Zwart (2015) obtuvo un valor de unos 50 ms trabajando sobre la audición de los saltamontes, y encontró que esa ventana temporal es independiente de la intensidad del sonido. Si hubiera suficientes puntos en común con la audición humana, entonces sería esperable que el tiempo máximo de despolarización esté topeado y no dependa de la intensidad del sonido.

3.9 Efectos del ruido impulsivo

Un evento sonoro se considera impulsivo cuando el incremento de los niveles sonoros asociados con él ocurre en un período extremadamente breve.

El cerebro responde frente a los ruidos impulsivos con una reducción del líquido cefalorraquídeo, el que facilita la coordinación del sistema nervioso central y amortigua los cambios de presión intracraneana.

Las tareas que requieren coordinación de manos y ojos son especialmente sensibles al ruido impulsivo. De todos modos, cuando se trata de ruidos impulsivos que se repiten periódicamente o según un patrón temporal regular identificable por el receptor, la molestia y perturbación que generan suele ser menor que si se trata de eventos aislados inesperados o de ocurrencia randómica.

3.10 Efectos del ruido de baja frecuencia

Si bien cualquier sonido no deseado es potencialmente molesto, en muchos casos el ruido de baja frecuencia (LFN, por sus siglas en inglés) puede exacerbar la reacción de molestia en comparación con otros ruidos, especialmente cuando el ruido se percibe como fluctuante o modulado en frecuencia. DeGagne *et al.* (citado por Safe Environs Program, 2009) indican que “*el ruido de baja frecuencia no necesita considerarse “fuerte” para que cause efectos de molestia e irritación.*”

Esto no quita que buena parte de los adolescentes y jóvenes disfruten de esa poco saludable exposición (Miyara, 2001b):

“(…) la resonancia de la caja torácica ante los ruidos de baja frecuencia de la percusión y los bajos de la música de discoteca. Dicha resonancia se produce, según las proporciones del individuo, entre los 30 Hz y los 80 Hz (el bombo, omnipresente en la música de discoteca,

emite alrededor de 40 Hz). Este efecto, claramente perceptible cuando el sonido es intenso, resulta agradable para muchas personas.”

Según Kryter (1968), los infrasonidos y las bajas frecuencias en general actúan como agentes estresantes no específicos que producen, entre otros efectos, una ligera tendencia al cansancio. Krahe (2010) indica que el ruido de baja frecuencia puede afectar de manera directa la salud mental de las personas.

Se estima que los efectos sobre la salud de los componentes de baja frecuencia son más severos que los del ruido comunitario en general. Por ejemplo, LFN causa cansancio, nerviosismo y frustración y afecta la concentración y el sueño. Los síndromes médicos reconocidos son similares a las quejas de algunas víctimas del ruido de baja frecuencia, pero normalmente no asociados con la exposición al ruido, aunque el estrés por cualquier causa predispone a estos síndromes. Pese a ello, Leventhall (citado por Hanning, 2010), sostiene que, sin dudar de los síntomas que reportan otros investigadores en sus estudios, los niveles sonoros en las bajas frecuencias son demasiado bajos como para causar efectos fisiológicos directos. Según él, los síntomas son resultado del estrés psicológico causado por el ruido, especialmente el de baja frecuencia, y por los desórdenes del sueño.

El sistema nervioso central es sensible a los infrasonidos. La exposición a ellos puede causar baja eficiencia en el trabajo y mala memoria, entre otros síntomas.

Las ondas cerebrales alfa y gamma pueden ser interferidas por los ruidos de baja frecuencia, lo que puede tener consecuencias sobre el sueño, la conciencia y la salud mental. El ritmo alfa se modifica cuando existen estímulos acústicos. También se produce una reducción de la reacción frente a estímulos luminosos. Estos cambios en las corrientes cerebrales producidos por el ruido se pueden cuantificar objetivamente a través de electroencefalogramas.

Si el ruido es limitado a la gama de LFN, es más molesto y estresante que si se incluye otras frecuencias que pueden contribuir a reducir la molestia. Por esto, la Organización Mundial de la Salud recomienda que los componentes en bajas frecuencias se evalúen por separado cuando la diferencia (dBC – dBA) es de más de 10 dB, dado que, de acuerdo con su reporte (Berglund *et al.*, 1999):

“El ruido intenso de baja frecuencia puede producir síntomas claros, incluyendo daños respiratorios y dolor en la audición. A pesar de que los efectos de las frecuencias bajas de menor intensidad son difíciles de establecer por razones metodológicas, la evidencia sugiere que el número de efectos adversos puede ser mayor para ruido de baja frecuencia que para ruidos con igual energía pero contenida en frecuencias más altas. Las reacciones manifestadas respecto a la sonoridad y la molestia son mayores para frecuencias bajas que para otros ruidos del mismo nivel sonoro, independiente de la ponderación empleada; la molestia es incrementada por el traqueteo y las vibraciones inducidas por el ruido de baja frecuencia; la inteligibilidad de la palabra se puede reducir en mayor medida por ruidos de baja frecuencia que por otros ruidos (excepto aquellos en el rango de frecuencias del habla, a causa de la asimetría espectral del enmascaramiento).

(...) debe notarse que un elevado contenido de componentes de baja frecuencia en el ruido pueden incrementar considerablemente los efectos adversos sobre la salud.”

3.11 El síndrome del aerogenerador

Existe un conjunto de síntomas inespecíficos que configuran lo que se conoce como *síndrome del aerogenerador* (“wind turbine syndrome”, designación propuesta por Pierpont, citada por Hanning, 2010), que incluyen hipervagotonía (se manifiesta por ritmo cardíaco lento, de 20 a 50 latidos por minuto), desórdenes del sueño -somnolencia, insomnio-, náuseas, fatiga, vértigos, dolor de cabeza, debilidad, mareos, trastornos gastrointestinales y dificultades de concentración y en la memoria. Se trata de síntomas genéricos frecuentes, por lo que no hay consenso acerca de que indiquen un efecto del ruido de aerogeneradores en personas que viven cerca de ellos. De acuerdo con los estudios e investigaciones de Pierpont (2006, en Hanning 2010), los síntomas principales del síndrome del aerogenerador se explican mejor como perturbaciones vibratorias de los órganos torácicos.

4 Efectos psicofísicos

4.1 Algunos aspectos generales

Antes de iniciar el desarrollo de este capítulo es necesario aclarar que no es posible establecer una frontera clara entre efectos físicos extra-auditivos y psicofísicos, dado la raíz orgánica e involuntaria de gran parte de las respuestas del organismo ante la exposición a elevados niveles sonoros. En particular, buena parte de los efectos psicofísicos son consecuencia directa de las alteraciones en las secreciones hormonales y del estrés.

Martimportugués et al. (2003) afirman que los efectos extraauditivos y psicofísicos del ruido son “complejos y sutiles”. Muchos de ellos están relacionados con lo que ella llama “*depresión de los sufridores del ruido*”. Muchos de estos efectos resultan de la interacción de diversas variables psicosociales y ambientales.

Para la Psicología Ambiental⁴, evaluar los efectos del ruido en la salud no sólo se tiene en cuenta el nivel sonoro a que está expuesto el individuo y otras propiedades físicas del ruido, su duración y composición, sino que se consideran, y en muchas ocasiones tienen más importancia, otros aspectos tales como la edad del receptor, la predictibilidad del estímulo acústico, el control que el receptor puede tener sobre la fuente sonora, y sus actitudes y creencias con respecto al ruido. Dicho en otras palabras, no sólo se tiene que tomar en cuenta las características físicas del sonido, sino también otros factores relacionados con la situación y el contexto particular en que es percibido y con las características socioculturales de los receptores.

Entre las manifestaciones psicofísicas que puede producir el ruido, García Sanz y Garrido (2003) mencionan irritabilidad, astenia, susceptibilidad, agresividad, trastornos mentales, de la personalidad y del carácter. Pero hacen hincapié en que estos efectos son consecuencia de *una cadena que comienza con la disminución de la concentración, la inseguridad y la inquietud*. Esto es compatible con Berglund et al. (1999), quienes agregan que el ruido afecta la capacidad de concentración y el rendimiento en el trabajo, produciendo irritación, fatiga, estrés y problemas de relacionamiento social. La lista de los principales efectos psicofísicos asociados con exposición a ruido se complementa con insomnio y dificultad para conciliar el sueño; depresión y ansiedad; neurosis; aislamiento social; falta de deseo sexual o inhibición sexual.

El tipo de tarea a realizar, la concentración o el esfuerzo que ésta requiere, pueden influir en la valoración del ruido que realice el individuo. Aspectos no menores en todo esto son la personalidad, el estado psíquico y la sensibilidad individual del receptor, que modificarán la valoración que éste elabore acerca de un ruido o un ambiente ruidoso determinado.

La exposición crónica a ruido laboral o a ruido de tránsito se asocia con depresión y agresividad (Stansfeld y Matheson 2003; Ising y Kruppa 2004, citados por Kight y Swaddle, 2011); también

⁴ La Psicología Ambiental es una especialidad de la Psicología, de carácter aplicado, que estudia las respuestas del individuo ante las condiciones ambientales a que está expuesto. Analiza el comportamiento de las personas e instituciones en relación a la interacción que establecen con su entorno natural y cultural. Se vale de los conocimientos teóricos y prácticos propios de la psicología pero a su vez de otros muchos aportes de disciplinas diversas como la sociología, antropología y las ciencias de la salud, económicas y jurídicas, para comprender las conductas causantes del deterioro ambiental, o por el contrario, en aquellas otras conductas que permiten la conservación del entorno y los valores, actitudes, creencias y normas que inciden en ellas (Puertas Valdeiglesias y Aguilar Luzón, S/A).

puede inducir miedo. La personalidad y el género inciden en estas respuestas, lo que podría traducirse en una modificación en las conductas.

Los niños expuestos a altos niveles de ruido pueden presentar deficiencias en la percepción del habla y en su comprensión lectora (Hygge et al., 2002). La exposición a ruido también se relaciona con reducción de la memoria intencional, accidental y de reconocimiento en niños (Lercher et al., 2002).

4.2 Interferencia con la comunicación

En una conversación normal, la comprensión depende del nivel sonoro emitido al hablar, de la entonación, de la pronunciación, de la distancia entre el hablante y su interlocutor, del nivel y las características del ruido de fondo o circundante y de la agudeza auditiva y capacidad de atención de los protagonistas.

La energía acústica del habla se genera en el intervalo de frecuencias entre 100 Hz y 5000 Hz y con predominio entre 300 Hz y 3000 Hz. El nivel de presión sonora de la comunicación oral normal es de 50 dBA a 55 dBA a un metro de distancia, pero las personas que hablan en voz alta o a gritos pueden fácilmente generar niveles de 75 dBA u 80 dBA.

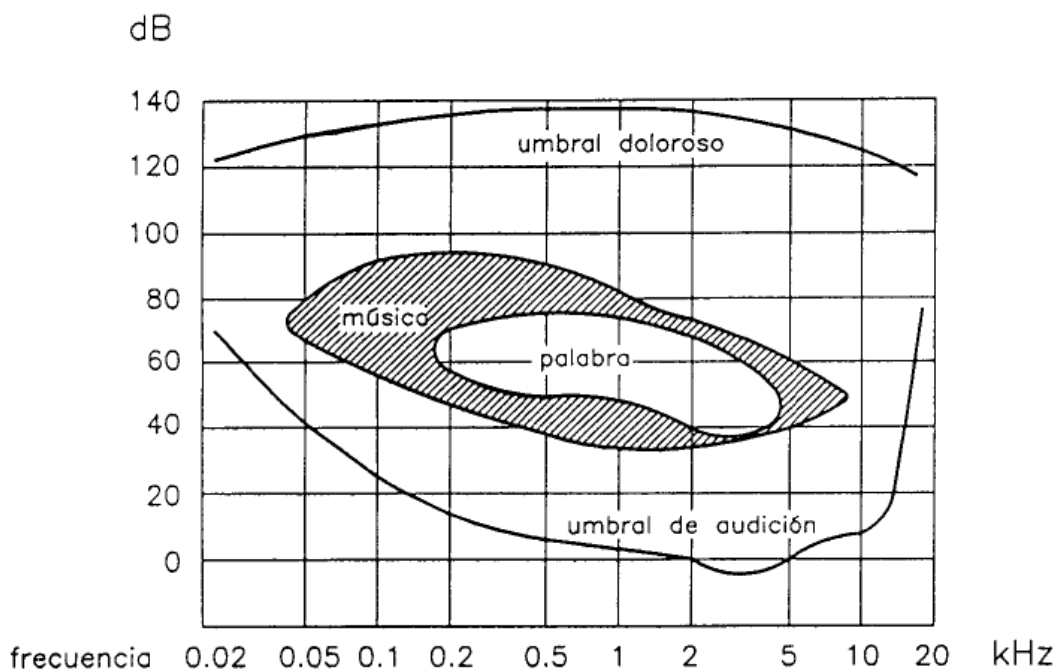


Figura 4-1. Zona audible y zona del habla (tomado de BLANCO ÁLVAREZ, Universidad de Oviedo)

La voz hablada es inteligible cuando su intensidad supera al ruido de fondo en por lo menos 15 dBA pero cuando el ruido de fondo supera los 40 dBA, se empieza a dificultar la comunicación oral. Cuando la persistencia del ruido reduce la posibilidad de comunicación oral, las personas deben hacer esfuerzos adicionales para comunicarse.

A partir de los 65 dBA, la comunicación obliga a elevar la voz. Esta situación impuesta por el ruido puede provocar que el sujeto se sienta “no escuchado” y quizás adopte una actitud agresiva o indiferente hacia su receptor. Éste puede ser, además, el comienzo de otros efectos y reacciones que pueden sobrevenir a posteriori.

4.3 Pérdida de rendimiento

Es largamente conocido que el ruido puede causar efectos adversos en el rendimiento de las personas en el trabajo. De acuerdo con el Manual de Efectos del Ruido de la USEPA (1981), las tareas que suelen verse afectadas por el ruido son por lo menos las siguientes:

- Tareas que impliquen concentración, aprendizaje, o procesos analíticos.
- Tareas que implican hablar y / o escuchar.
- Tareas que requieren motricidad fina
- Tareas simultáneas
- Tareas que requieren un rendimiento continuo
- Tareas que incluyen vigilancia prolongada y pocas señales
- Cualquier tarea que involucre señales auditivas
- Tareas que requieren atención a canales múltiples de información

Cada actividad tiene un “*nivel de activación*” con el que es compatible, y excesiva calma o excesivo ruido pueden llevar a que la persona no la realice con calidad o rendimiento óptimos. Si bien es cierto que cuando se trata de tareas monótonas y repetitivas el ruido puede no afectar e incluso mejorar el rendimiento –lo que, según Broadbent (1971, citado por Suter 1991) puede deberse a que se eleva el nivel de excitación- cuando el nivel de presión sonora es elevado es usual que ocurra lo contrario. Davies y Jones (1984, citados por García Sanz y Garrido 2003), afirman que en las tareas complejas el ruido afecta más a la *calidad* del trabajo, en tanto en las tareas sencillas, lo que se nota más es una baja en la *cantidad* de trabajo realizado.

Como resultado de la acción activadora del ruido se produce una focalización de la atención del sujeto sobre los aspectos más relevantes (o que él considera como tales) de la tarea que realiza, dejando de lado el resto. Es decir, en presencia de ruido hay tendencia a centrarse sobre lo prioritario o más exigente de una tarea, aunque de todos modos el rendimiento global va a disminuir en comparación con el esperable si la tarea se realizara en un ambiente silencioso.

Berglund y Lindvall (1995) agregan que el ruido afecta la capacidad de concentración y el rendimiento en el trabajo, produciendo irritación, fatiga, estrés y problemas de relación social.

Lahtela *et al.* (1986, citados por Suter 1991) indican que a partir de los 80 dB es esperable que ocurran efectos adversos sobre el desempeño humano.

Martimportugués *et al.* (2003) indican que el ruido produce interferencias en el procesamiento de la información: básicamente se ven afectadas la atención y la memoria, reduciendo el

rendimiento en tareas complejas cuando la intensidad del ruido sobrepasa los 70 dB a 90 dB, siempre dependiendo de la personalidad y la sensibilidad al ruido del receptor o su predisposición a verse afectado por él. Stansfeld *et al.* (2000) indican que el ruido de tránsito afecta en forma diferencial a la memoria reciente y a la de largo plazo; sugieren a su vez que las respuestas en individuos con antecedentes neuróticos o de ansiedad pueden ser diferentes a las de aquellos que no presentan tales antecedentes.

De acuerdo con los estudios de Griefahn realizados a comienzos de los '80 (citado por Berglund *et al.*, 1995, 1999), cuanto más agudo es el ruido y más estrecho su ancho de banda, el efecto adverso sobre el rendimiento será mayor. En cualquier caso, los efectos son variables, dependiendo del tipo y complejidad de las tareas, así como de otros factores relativos al ambiente y al sujeto expuesto. También se ha sugerido que el infrasonido reduce el rendimiento en el trabajo: según Recuero (2001) el rango de frecuencias capaces de provocar una caída del rendimiento en el trabajo va de 2 Hz a 2000 Hz. Indica además que algunos fenómenos naturales con contenido de frecuencias infrasónicas, como tormentas y tornados lejanos, también podrían ser causa de bajos rendimientos.

En cuanto al patrón temporal, el ruido intermitente puede afectar el rendimiento de forma más adversa que un ruido constante de igual nivel sonoro continuo equivalente; si las intermitencias no son periódicas tienen más probabilidad de producir efectos adversos que si fueran regulares no previsibles y el ruido impulsivo puede ser aún más perjudicial.

Stansfeld y Matheson (2003) coinciden con Suter (1991) en cuanto a que los efectos sobre el rendimiento que se presentan después de la exposición a ruido pueden ser más negativos que los que se registran durante la propia exposición. Incluso la anticipación de una exposición a niveles sonoros elevados en ausencia de una exposición real puede perjudicar el rendimiento. Estos autores señalan que el ruido produce también interferencias en el procesamiento de la información, básicamente a través de la atención y la memoria.

El ruido también influye en los procesos de selectividad en la memoria y en la elección de estrategias para llevar a cabo las tareas.

4.4 Alteraciones en el aprendizaje

El ruido posee propiedades estimulantes a la vez que desestructuradoras sobre los procesos cognitivos. Generalmente tiene efectos adversos sobre los procesos de aprendizaje de los niños en etapa escolar, sobre todo si la exposición a ruido ambiental es crónica.

En efecto, ante elevados niveles de ruido ambiental los procesos de aprendizaje se retrasan, en tanto la cantidad de errores de comprensión del mensaje hablado crece. Esto incide tanto en los procesos de adquisición de conocimientos en general como en la capacidad de expresarse correctamente en el idioma nativo. Es que la mayor cantidad de información en el mensaje oral está dada por las consonantes, cuya pronunciación implica la emisión de sonidos más breves y de frecuencias más elevadas que los que corresponden a las vocales.

Según indica González (2004):

Las consecuencias más usuales son el aprendizaje incorrecto de algunos vocablos (por ejemplo, cambiando algún fonema como en el caso de “aujero” por “agujero”), la escritura incorrecta en consecuencia (que en el ejemplo dado bien pudo ser “ahujero” o “augero”), y la comprensión equívoca del concepto (en este ejemplo, el niño no relacionaría el vocablo con la palabra madre “aguja” y, según la última escritura incorrecta propuesta, hasta la podría relacionar más con “auge” que con “aguja”). Extensas son las anécdotas vinculadas a intercambiar los vocablos “lis” por “lid” y “la lima” por “la anima” en la letra del Himno Nacional en el primer caso y de la Marcha Mi Bandera en el segundo.

La pérdida auditiva se instala primero en las frecuencias más elevadas, lo que dificulta el reconocimiento de las consonantes, cuyas frecuencias son además fácilmente enmascarables por los ruidos ambientales habituales. Luego, no sólo la comprensión del mensaje, que en nuestro idioma difícilmente se puede reconstruir con un acierto elevado solamente a partir de las vocales (vete o vente son mensajes opuestos y tienen las mismas vocales) se ve menoscabada, sino que es muy frecuente la recepción de un mensaje erróneo.

Cuando a esto se suman dificultades de aprendizaje, niveles sonoros elevados, enmascaramiento por ruido ambiental, problemas de desarrollo psico-físico o contexto social crítico, los niveles de éxito en el proceso de enseñanza-aprendizaje pueden ser mucho más bajos de lo esperado. Asimismo, el uso generalizado de computadoras eleva los niveles de ruido de fondo de las aulas y aporta un ruido de banda ancha capaz de enmascarar algunas frecuencias conversacionales, complicando aún más este panorama.

Gómez Albán (2007) refiere un estudio publicado en 1973 que compara desempeños en un mismo local escolar antes y después de la instalación del aeropuerto de Múnich. La autora indica:

“La menor fijación en la memoria a largo plazo en presencia de frecuentes interrupciones a causa del ruido, sería la responsable de la reducción del rendimiento académico.”

También refiere efectos significativos sobre la discriminación auditiva de las palabras y sobre la competencia en la lectura en los niños expuestos a ruido durante por lo menos 2 años. Concluye la autora:

“El efecto del ruido sobre la realización de diversas tareas, particularmente intelectuales, tiene dos etapas. En la primera el efecto es perturbador y luego de un proceso de acostumbamiento se recupera parcialmente el rendimiento, pero a costa de mucha fatiga”.

Jiménez de la Torre y López Barrio (2001) aplican una batería de pruebas de atención y memoria en estudiantes de Primaria de 11 a 13 años expuestos a ruido de tráfico de diferentes niveles de presión sonora: 50 dBA, 60 dBA y 70 dBA, para analizar su incidencia sobre el rendimiento intelectual y sobre la ansiedad en relación con el desempeño de una población de control no expuesta a ruido. Los resultados mostraron una reducción significativa en el rendimiento en las pruebas de atención de los escolares expuestos a ruido en comparación con los no expuestos. El rendimiento en memoria se vio afectado significativamente sólo para el nivel de presión sonora

más elevado que se analizó (70 dBA). No se constató ningún efecto significativo de la exposición al ruido sobre el nivel de ansiedad.

En resumen:

- Ante elevados niveles sonoros, ocurren problemas de discriminación auditiva.
- Los niños más pequeños requieren bajos niveles de ruido para desarrollar las competencias básicas que contribuyen al desarrollo cognitivo y del lenguaje, independientemente de su coeficiente intelectual.
- La comprensión lectora disminuye en presencia de ruido.
- El ruido genera falta de atención y concentración en grupos escolares, aumento de errores, imprecisión en las respuestas, falta de calidad de las mismas, estados de ansiedad, fatiga mental y, como resultado general, bajo rendimiento escolar.
- El rendimiento en pruebas de memoria de corto plazo y secuencial (por ejemplo, recordar un conjunto de objetos mostrados, su orden de aparición, los que se omiten en relación al conjunto inicial o pruebas similares) se ve disminuido en presencia de ruido. Esta disminución del rendimiento será tanto mayor cuanto más tiempo se haya tenido al sujeto expuesto al ruido.
- Los malos resultados se prolongan una vez suprimido el ruido evidenciando la ocurrencia de un efecto remanente. El tipo de sonido, continuo o intermitente, muestra escasa influencia en estos resultados.

4.5 Acostumbramiento, síndrome de adaptación

A mediano o largo plazo, el organismo *se habitúa* al ruido, pese a que *nunca llega a adaptarse* al mismo. Esto puede ocurrir por dos mecanismos diferentes, cada uno de los cuales implica un “costo” para el organismo.

El primer mecanismo es la disminución de la sensibilidad del oído y su precio, la pérdida auditiva temporal o permanente. Muchas de las personas a las que el ruido no les molesta posiblemente no lo oigan. Ciertamente, tampoco oyen otros sonidos que les son útiles o necesarios.

El segundo mecanismo funciona a nivel cerebral: el oído percibe el ruido, pero el cerebro se ocupa de no prestarle atención, es decir, son las capas corticales del cerebro las que se habitúan. Sin embargo, las señales sonoras desencadenan consecuencias fisiológicas de las que no necesariamente se tiene conciencia: incremento de la frecuencia cardíaca, flujo sanguíneo o actividad eléctrica cerebral. El llamado *síndrome de adaptación* se refiere justamente a esto (Tolosa 2003, citado por Bernabeu, 2009).

Estudios realizados en Hong Kong han demostrado que, si bien los niveles sonoros elevados no generan el mismo nivel de molestia que en países occidentales, las consecuencias orgánicas adversas ocurren de todos modos (Lam *et al.*, 2012). Esto es particularmente preocupante, dado que cuando algo no genera molestia u otros efectos adversos conscientes, se reduce la autoprotección hacia el agente agresor.

4.6 Trastornos psiquiátricos

4.6.1 Desórdenes psiquiátricos y sensibilidad al ruido

El ruido afecta el control emocional y el desarrollo de las diferentes tareas cotidianas. Las personas de carácter introvertido y las mujeres suelen ser, por lo general, más sensibles. Para Harris (1995), el umbral auditivo en 12.000 Hz es un buen indicador de la sensibilidad individual al ruido.

Dice García de la Villa (Fontán, 2005):

“En psiquiatría no podemos hablar de una enfermedad del ruido, pero estar expuesto a él puede influir en ciertas patologías y generar otras como insomnio, ansiedad o depresión. Y si ese elemento que nos molesta persiste, la persona tiene el riesgo de sufrir un problema de tipo crónico.”

Stansfeld *et al.* (2002), plantean la relación entre sensibilidad al ruido y desórdenes psiquiátricos, encontrando una asociación significativa entre depresión y alta sensibilidad al ruido. Es que, si bien en principio el ruido ambiental no causa directamente enfermedades mentales, se presume que puede acelerar e intensificar el desarrollo de trastornos mentales latentes. Los ruidos de baja frecuencia tienen especial incidencia en este sentido. La correlación entre casos probables de afecciones psicológicas (obtenidos mediante el test de Goldberg, que permite discriminar entre los casos probables y no probables de afecciones depresivas o ansiosas) y psiquiátricas depende muy débilmente del nivel de presión sonora y no de manera monótona, de donde los autores concluyen que es posible que haya interferencia de factores sociodemográficos. En cambio hay una importante correlación entre casos de personas sensibles al ruido y el test de Goldberg, evidenciando una concomitancia entre la *sensibilidad al ruido y los desórdenes psicológicos*, que según los autores no necesariamente significa una relación de causalidad.

Sin embargo, considerando hallazgos posteriores vinculados con alteraciones en la secreción hormonal, en particular de cortisol y catecolaminas, el vínculo entre sensibilidad al ruido y depresión como respuestas fisiológicas no parece demasiado inesperado o sorprendente. De hecho, van Kamp y Davies (2008) afirman:

“Existe una creciente idea de que la sensibilidad al ruido está altamente correlacionada con una sensibilidad más general a los factores estresantes ambientales, pero también con una vulnerabilidad a los problemas de salud mental. Aunque la evidencia todavía es anecdótica, podría ser la hipótesis de que los individuos sensibles al ruido podrían beneficiarse más de una variación equilibrada entre zonas ruidosas y tranquilas en entornos urbanos, pero no exclusivamente unas u otras.”

4.6.2 Depresión

El vínculo entre ruido y depresión viene dado por el hecho de que el ruido fomenta la liberación de cortisol, la hormona “del estrés y la depresión”.

Entre los medicamentos antidepresivos, los hay que actúan estimulando el sistema noradrenérgico. Acerca de éste, dice Ramírez (2006):

“Dado que sistema noradrenérgico participa en lucha y huida, resulta fácil comprender cómo el aumento de su función podría predisponer a una persona hacia una agresividad impulsiva. Encargado de la seguridad, su lema podría resumirse en: “mejor evitarlo que sentirlo”. De ahí que, como dice Gray, el sistema noradrenérgico sea esencial para el sistema de inhibición del ‘mal’ comportamiento.”

Otro mecanismo de acción de los medicamentos antidepresivos consiste en regular la recaptación de la serotonina, un neurotransmisor que se relaciona con muchas funciones biológicas. En general se considera a la serotonina como un inhibidor de la mayoría de las formas de agresión, y predominantemente de las de carácter impulsivo: el aumento de la actividad serotoninérgica reduce la hostilidad y la impulsividad, mientras que, por el contrario, su disminución aumenta la frecuencia e intensidad de las reacciones agresivas y antisociales, más las de tipo impulsivo (explosivo e incontrolable) que las premeditadas. Pero así como el exceso de serotonina causa relajación, sedación, y una disminución del impulso sexual, su déficit se asocia con depresión, ansiedad, alteraciones del apetito, sensación de dolor, conductas agresivas (Ramírez, 2006). Puede conducir a cambios permanentes en las funciones cerebrales.

En relación a la acción de sustancias químicas sobre la recaptación de la serotonina, anota Ramírez:

“Los fármacos que aumentan la actividad serotoninérgica reducen la impulsividad y refuerzan la tolerancia a una situación de espera; por el contrario, los que producen una disminución serotoninérgica aumentan la frecuencia e intensidad de las reacciones agresivas y arriesgadas.”

Adicionalmente, las generaciones actuales de medicamentos antidepresivos suelen actuar o sobre la producción de noradrenalina o sobre la recaptación de la serotonina. Frecuentemente es necesario combinar ambos tipos de fármacos en el tratamiento de la depresión (Rinaldi, 2012).

La trílogía depresión-agresividad-dolores de cabeza se presenta con bastante frecuencia y es usual que quien tiene por lo menos uno de esos tres sufrimientos en realidad tenga al menos dos.

Kampen y Davies (2008) han planteado evidencias crecientes de la relación entre sensibilidad al ruido y trastornos mentales; Stansfeld et al. (2000) han relacionado sensibilidad al ruido y depresión; Ramírez (2006) fundamenta las conexiones entre depresión y agresividad.

Ante ambos asuntos hoy, a la luz del estado del arte y tomando en consideración las respuestas vegetativas del organismo ante elevados niveles de presión sonora y los principios activos a los que responden ciertos trastornos de salud, parece poco discutible la interrelación entre *depresión, agresividad, dolores de cabeza y sensibilidad al ruido*.

4.6.3 Autoexclusión social

Aunque no siempre se tiene conciencia de ello, el oído es un órgano principal en la inserción social y en la comunicación, mucho más que la visión. Quien no oye, no ostenta ningún indicador externo que “avise” a los demás que no está participando del mismo fenómeno auditivo que sus

acompañantes, escogidos u ocasionales, por lo que los demás descuentan que es “uno más” en la rueda, hasta que queda en evidencia lo contrario.

En un estudio realizado en un Hospital Universitario en Cuba, González Andreu *et al.* (2012) trabajaron con 65 adultos de más de 60 años, que presentaban algún nivel de déficit auditivo. Al comenzar el estudio 58 de ellos manifestaban algún grado de depresión. Las investigadoras indican:

“Los pacientes con déficit auditivo suelen afrontar problemas de comunicación que se explican por la afectación en la interpretación de los sonidos agudos, se malinterpretan los mensajes fácilmente, se hace más difícil la comunicación no verbal (gestos o expresiones) porque centran su atención en los labios del otro y no suelen atender otras señales y al no entender, las personas en esta situación pueden volverse recelosos y desconfiados, tienden a estar de mal humor y a aislarse.

La dificultad para recibir los mensajes o su percepción alterada, dificultan la vida social del individuo y al deteriorarse la comunicación, favorece el aislamiento y origina una mayor tendencia hacia la depresión, la cual es la misma sin importar si la aparición de la sordera es súbita o gradual.”

Los pacientes fueron provistos de prótesis auditivas ajustadas a sus necesidades de acuerdo con la patología que presentaban, con lo que buena parte de ellos logró reinsertarse socialmente. Al finalizar el estudio, se tenía 48 casos en condiciones afectivas normales como consecuencia de la rehabilitación auditiva (Tabla 4-1), incluso llevando casos de depresión establecida a una condición afectiva normal.

Estado afectivo	Antes del ajuste de la prótesis auditiva		Después del ajuste de la prótesis auditiva	
	Casos	%	Casos	%
Normal	7	10,8	48	73,9
Depresión ligera	39	60,0	11	16,9
Depresión establecida	19	29,2	6	9,2
Total	65	100	65	100

Tabla 4-1 Incidencia de la mejora en la audición sobre el estado afectivo (González Andreu et al., 2012)

4.6.4 Angustia

Para Montserrat-Esteve (S/A), en psicopatología se diferencia entre el miedo (desencadenado por un peligro conocido, real) -con su grado extremo el pánico- y la angustia (desencadenada por un peligro desconocido). También se debe diferenciar la angustia (más visceral) de la ansiedad (más intelectual) o la intranquilidad (más motora).

En lo relativo a la angustia, que puede o no acompañar a la depresión, para Montserrat-Esteve (S/A) es una manifestación de estrés que se traduce desde el punto de vista bioquímico en una elevación de los niveles de catecolaminas (especialmente adrenalina y noradrenalina) y de 17-hidroxicorticosteroide en sangre y orina. Sin embargo, no resulta simple determinar si la angustia ha sido provocada por el incremento de tales sustancias o éste es consecuencia de la situación angustiante. En todo caso, y siguiendo el razonamiento de Ramírez (2006), seguramente la mejor

hipótesis sería pensar en que hay una retroalimentación que conduce a que a mayor liberación de catecolaminas la angustia crece y recíprocamente, a mayor angustia se elevan los niveles de estas sustancias en sangre y orina.

4.7 Incremento de la agresividad

Los comportamientos agresivos son propios de todos los animales. Se relacionan con el instinto sexual y el sentido de territorialidad, en razón de las necesidades de adaptación y supervivencia.

En las personas, la agresividad es una respuesta compleja que responde a diferentes causas entre las que se encuentran factores genéticos pero también culturales. A fines de los '90 se habían publicado ya diversos estudios realizados en Reino Unido, que conectaban directamente exposición al ruido con reacciones criminales, furia descontrolada, asaltos u homicidios (Weedon, 2001). Las conexiones entre exposición a ruido y comportamiento agresivo son fuertes, al extremo que se considera que el ruido ha sido causa de suicidios y crímenes. Estivill (en Vázquez, 2011) afirma:

“La gente que está sometida a niveles altos de ruido es más agresiva y menos tolerante.”

Y agrega:

“Se puede reconocer a las personas con elevado nivel de exposición a ruido a través de sus conductas agresivas”.

Se entiende que hay causas ambientales para la agresividad a nivel social y entre ellas, Benítez *et al.* (1996) mencionan explícitamente al ruido:

“La situación ambiental es la que ocasiona en el hombre normal un continuo stress que desemboca en la agresividad, como ondas sonoras, música estridente, ruidos de los vehículos y luces de gran intensidad energizada y al mismo tiempo cambiantes, y coadyuvan los olores y sabores que en el ambiente se propagan (...) Todos estos son agresivos a los ojos y oídos por irritación (...) las células nerviosas conducen la carga eléctrica al cerebro provocando cambios conductuales, además de las dificultades en las relaciones personales.”

Se asume que, a largo plazo, la ACTH tendería a reducir la agresividad al estimular la producción de cortisol, cuya función se refiere a controlar el estrés biológico mediante la terminación de las reacciones nerviosas de defensa previamente activadas por el estrés. El incremento en el cortisol tiende a incrementar el nivel de glucemia en sangre y con ello, a oponerse a las reacciones agresivas, dado que éstas se relacionan con bajos niveles de glucosa en la sangre (Bernabeu, 2009). El consumo de alcohol tiene el mismo efecto hipoglucémico; la relación entre consumo de alcohol y agresividad está claramente establecida y las posibilidades de que el ruido catalice un proceso hacia el alcoholismo son reales, ya que se considera que la adicción al ruido puede ser una puerta de entrada a otras adicciones, comenzando por las drogas sociales (Miyara, 2001b).

Para Ramírez (2006), con el desarrollo de la bioquímica han dejado de ser válidas las teorías que relacionaban unívocamente un comportamiento con una sustancia química, pasando a los modelos de neuromodulación múltiple, según los cuales hasta las pautas comportamentales más sencillas están bajo un complejo control neurohormonal e influidas por varias sustancias

químicas que interactúan. El estudio más exhaustivo de los neuroreguladores ha mostrado que muchos aspectos de las alteraciones comportamentales pueden estar ocasionados por perturbaciones en la neurotransmisión, pero a su vez, el comportamiento también puede resultar en una retroalimentación que influye sobre la química del organismo.

Acerca de las conductas agresivas, Mizcek y Thompson (1984, citados por Ramírez 2006) afirman:

“...en lugar de considerar sólo la biología como la causa del comportamiento, es también preciso considerar lo inverso, a saber, que el ser agresor o víctima es el suceso que pone en movimiento a los procesos neurobiológicos.”

Y añade Ramírez, citando a Niehoff (1999):

“El propio comportamiento produce cambios biológicos, en cómo se sintetizan los neurotransmisores, en cómo actúan los receptores o en cuáles son los genes que se expresan.”

A diferencia de lo que ocurre con otros animales, el cerebro humano tiene estructuras que le permiten controlar e incluso desactivar muchas respuestas agresivas.

Una de las teorías más aceptadas en la actualidad acerca de la agresividad es la teoría cognitiva neosociacionista de Berkowitz, que considera tres dimensiones de la agresividad: los aspectos genéticos y biológicos de la persona, el condicionamiento previo o “aprendizaje social” y el reconocimiento de aspectos de la situación o “indicios agresivos” que llevan a facilitar la concreción de la agresión o a inhibirla (Carrillo Castro, 2007).

Explica Penado Abilleira (2012):

“(...) en el planteamiento neosociacionista, acontecimientos como frustración, provocaciones, ruidos altos, temperaturas molestas, olores desagradables, producirían afectos negativos. Automáticamente se estimularían ideas, recuerdos, reacciones motoras expresivas y respuestas fisiológicas asociadas a luchar; activándose emociones primitivas como ira o miedo. De esta forma, se crearían asociaciones fuertes en la memoria de modo que un estímulo cualquiera puede disparar toda la respuesta. Es un modelo especialmente útil para explicar la agresión hostil.”

Sin embargo, Benítez et al. (1996) encontraron una coincidencia absoluta entre inteligencia superior y agresividad intensa al aplicar una batería de tests psicológicos a una muestra de 300 personas; el 38 % de la muestra se ubicaba en el rango de inteligencia superior según el Test del Dominó, que se orienta a evaluar principalmente la inteligencia lógica. Si se toma en cuenta que este tipo de inteligencia diferencia al hombre de otros animales, desde una perspectiva social, esta constatación resulta preocupante.

4.8 Consumo de ruido y adicción

Buena parte de la población juvenil en todo el mundo no sólo se expone voluntariamente a elevados niveles sonoros sino que además los generan: la música, el tono de voz, el estilo de vida y de diversión es más ruidoso cada día. Es que las publicidades que bombardean todo el tiempo a la sociedad por todos los medios imaginables conducen a que se asocie diversión con ruido,

bienestar con ruido, compañía con ruido, todo lo presuntamente agradable debe estar incondicionalmente acompañado por ruido (González y Echeverri, 2008).

Muchas veces esa necesidad de exponerse a niveles sonoros elevados refleja –en forma manifiesta o encubierta- el deseo de incomunicación. Es un comportamiento agresivo y autoagresivo muy eficaz, a la vez que una forma de canalizar la necesidad de concitar la atención, aún si no es para cosechar juicios elogiosos o de aprobación: lo que se busca es el protagonismo (González, 2004).

La escucha de equipos portátiles a niveles muy altos tiene dos características que como indica Miyara (2001b) le confieren un gran atractivo: como se suelen escuchar con auriculares endoaurales, no sólo se logra el máximo volumen muy cerca del tímpano sino que lo que oyen los demás es mucho menos y no suele llegar a molestarles. Pero por otro lado, señala algo mucho más crítico:

“Existen efectos psíquicos que no es posible lograr con otros medios. En efecto, su uso produce una contradicción o inconsistencia intersensorial, es decir, entre lo que se ve y lo que se escucha, entre la acústica del lugar y la que evoca el programa escuchado. Se desarticula la percepción holística o global, gestáltica, creándose estados de alienación similares a los que se logran con drogas alucinógenas. A diferencia de la escucha mediante altavoces, los auriculares a menudo atenúan los sonidos del ambiente, favoreciendo la desconexión auditiva del entorno.”

Para Romano (2000), la adicción al ruido es una respuesta traumática a carencias afectivas iniciales: el ruido que en la primera infancia aparece encubriendo la voz materna o llenando su ausencia, se puede convertir luego en algo buscado para canalizar la necesidad de desvinculación con el entorno. Y a partir del “consumo” de niveles sonoros elevados, la necesidad de mayores estímulos y su satisfacción a través de drogas sociales (alcohol, tabaco) y luego de otras que no lo son puede convertirse en una caída en picada vertiginosa, difícil de detener.

Como señala Miyara (2001b), el ruido intenso enmascara e impide la comunicación verbal, por lo que en realidad aísla o reduce el intercambio a lo que pueda expresarse en forma no verbal (gestos, miradas, contacto físico). Simultáneamente, el ritmo cardíaco se acelera, la circulación periférica se incrementa, la excitación general del sistema nervioso aumenta y se genera una situación de estrés y ansiedad permanente que aumentan la intolerancia y fomentan la agresividad. En ese marco de incomunicación y excitación, las conductas agresivas innecesarias o injustificadas son más frecuentes y, ante la repetición del estímulo, es más probable que luego se vuelvan habituales (“normales”) aún en ausencia del mismo.

Los niveles sonoros elevados en locales de diversión para jóvenes son parte clave en los ingresos de sus promotores: a niveles de ruido más elevados, el organismo consume más energía y siente necesidad de ingerir alimentos y líquidos; pero también es mayor la incomunicación, la sobreexcitación de los jóvenes y luego el consumo de bebidas en la barra. A su vez, los intensos componentes de baja frecuencia de la música en esos locales pueden generar vibraciones mecánicas que se perciben en la caja torácica y el abdomen y que se asocian con expresiones como “*los bajos me retumban en el pecho*” o “*en todo el cuerpo*”. Esto acelera la necesidad del organismo de reabastecerse de líquidos. En las palabras de Miyara (2001b):

“Está comprobado tanto en forma directa como indirecta que a mayores niveles mayor consumo de bebidas y alimentos. La vía indirecta consiste en medir los niveles de adrenalina y noradrenalina, hormonas biológicamente segregadas en situaciones de peligro para preparar el organismo para la defensa o la agresión. Las mismas generan mayor consumo energético y mayor evaporación de líquidos, tanto por estimular el movimiento como por poner los músculos en tensión. A esto se agrega el efecto adictivo que producen dichos estímulos hormonales, que inducen al individuo a repetir y profundizar la experiencia”.

En resumen, el “consumo” de ruido puede ser adictivo, lo que se relaciona con los fenómenos orgánicos relacionados con la secreción de hormonas como la adrenalina. Como toda adicción, provoca fenómenos de dependencia o síndrome de abstinencia. Es también una de las posibles vías de inicio de otros consumos que pueden a su vez convertirse en adicciones, como el alcohol u otras drogas, dado que las respuestas que puede generar el ruido tienen un tope dado por el umbral del dolor, por lo que la necesidad de mayores estímulos del individuo es fácilmente “redireccionable” hacia el consumo de sustancias. Cabe agregar que la combinación de exposición a elevados niveles de presión sonora con consumo de tabaco o de alcohol aumenta el riesgo de pérdida auditiva temprana, lo que puede retroalimentar el círculo de consumo de ruido.

5 La molestia por ruido

5.1 Sonido, señal, ruido

La percepción de ciertos sonidos como ruido implica la presencia de dos dimensiones inseparables del fenómeno: la existencia de una señal (el sonido) y, al mismo tiempo, una consideración o evaluación de carácter negativo respecto a ella por parte del receptor.

La Organización Mundial de la Salud (Berglund et al., 1999) toma la definición de *molestia por ruido* propuesta por Lindvall et al. en 1973:

“...una sensación de incomodidad asociada a un agente o condición que un individuo o grupo de ellos sabe o cree que los afecta adversamente”.

López Barrio (1997, citada por García Sanz y Garrido, 2003) define la molestia de la siguiente forma:

“...un sentimiento desagradable o una actitud negativa producida por una emisión sonora no deseada o juzgada como innecesaria, que invade el espacio vital del individuo”.

La definición que da Yano (2002, citado por Alimohammadi et al., 2009) es más amplia, admitiendo que en la molestia generada participan no sólo las características físicas del ruido sino también factores individuales y actitudinales así como los efectos inmediatos de ese ruido:

“La no-deseabilidad de un ruido no sólo incluye el no desear el propio ruido, sino también muchas otras variables relacionadas con la fuente y el contexto en el que es experimentado”.

El que un sonido se valore como “ruido” o como “señal” depende no sólo de variables estrictamente físicas, sino por factores relacionados con la situación en que es percibido ese sonido y con las características personales del receptor. López Barrio (1989) afirma:

“Cuando un sonido es valorado como “ruido”, éste se convierte en un factor de desajuste psicofisiológico para la persona que lo percibe, por el contrario, cuando el sonido es valorado como “señal”, pasa a ser un elemento enriquecedor del medio donde es percibido, siendo positiva la reacción psicológica del sujeto frente al mismo.”

El sonido se transforma en ruido molesto por razones que no tienen que ver con los factores acústicos (tono, intensidad y duración), aunque según Kryter (1968) en general son más molestos los ruidos con gran concentración de energía en bandas estrechas o tonos puros. La molestia aparece, por ejemplo, cuando un sonido es percibido como intromisión en la intimidad, o cuando el receptor está especialmente preocupado o concentrado. Las actividades que se ven afectadas, aunque diferentes variables psicosociales relacionadas con las condiciones de vida, las actitudes hacia la fuente de ruido, las exposiciones previas al ruido, el momento del día, las variables personales y sociodemográficas, el estado de salud o psicológico, la personalidad, la educación, las costumbres, los valores sociales dominantes, tienen una incidencia mucho mayor. En general es mayor el malestar y la aversión, a igualdad de niveles sonoros, hacia aquellos ruidos originados por fuentes que el receptor considera que son innecesarios o evitables.

El malestar que ocasiona el ruido se relaciona directamente con el nivel de presión sonora, el número de veces que ocurre ese estímulo. Seguí Pons *et al.* (2007) han indicado que existen varios factores que hacen que el ruido sea molesto, unos de carácter psicológico o personal y otros de carácter físico e incluso social. Si entre los primeros se incluye la hora del día en que se produce el suceso, la actividad que está realizando el receptor, la relación entre el receptor y el productor del ruido, el nivel de temor que el ruido produce, el sentido de la inevitabilidad y la situación temporal de la fuente. Obviamente, en este enfoque predomina lo físico sobre lo psíquico.

Ante un mismo nivel sonoro, aparecen muy diversas respuestas de molestia y una gran variabilidad de efectos psicológicos y fisiológicos no auditivos, pues la valoración subjetiva del sonido es una variable fundamental de la respuesta que induce. Esto se debe a que no es posible establecer una correspondencia biunívoca entre nivel de presión sonora y molestia. Incluso un mismo individuo puede acusar grandes variaciones en su sensibilidad al ruido de acuerdo con el tipo de ruido o la fuente que lo ocasione, con la hora del día, con su condición física y fisiológica o con su estado de ánimo. Sin embargo, la evaluación de las respuestas individuales y sociales a las molestias de ruido y la predicción de las quejas que puedan surgir en la comunidad sólo puede realizarse de forma aproximada y teniendo en cuenta variables eminentemente sociológicas.

5.2 Características de los ruidos molestos

La evaluación de la molestia a través de parámetros acústicos no es para nada sencilla y, estrictamente hablando, no debería ser posible. Desde un punto de vista práctico, para intentar proteger la calidad de vida de la población en relación a las molestias que puede causar el ruido, las normativas utilizan parámetros como el L_{Aeq} , L_{AMax} y algunos niveles de permanencia L_{Ai} , aún a sabiendas de que la información que brindan al respecto no es completa.

Entre las características físicas del ruido que se vinculan con la molestia se incluyen el nivel sonoro, la frecuencia del sonido, su duración, la periodicidad y su predictibilidad, la naturaleza tonal y la naturaleza impulsiva.

Kjellberg *et al.*, 1997 (citado por Herbrandson y Messing, 2009) estudiaron qué tan bien pueden predecir la molestia que generarán distintos niveles sonoros (audibles) expresados en cierta escala como “número único” (en dBA o dBC, por ejemplo). Observaron que la escala de ponderación A es la que genera la peor predicción entre las escalas disponibles. Sin embargo, los autores notaron que, si la diferencia (dBC – dBA) es de más de 15 dB, cuando se suman aritméticamente 6 dB al nivel sonoro expresado en escala A se logra que aproximadamente el 70 % de las predicciones sean bastante acertadas.

Barti (2000) señala que son muchas las cuestiones que afectan las sensaciones percibidas por las personas ante un estímulo sonoro, y ni su nivel de presión sonora ni su composición espectral ni su evolución temporal ni su distribución estadística son suficientes para describir la molestia que puede producir la señal en un receptor. De ahí que las mediciones de nivel sonoro continuo equivalente con escala de ponderación frecuencial A no dan una aproximación buena al grado de molestia que puede percibir el receptor. Según sus estudios, los parámetros que se correlacionan mejor con la molestia son la *sonoridad* como parámetro psicoacústico y la *agudeza (sharpness)*

de la muestra como parámetro vinculado a la distribución estadística de los niveles sonoros registrados.

Estos resultados son ratificados por Barrigón *et al.* (2003), quienes indican que las variaciones de los valores de esos dos parámetros son capaces de explicar por lo menos el 50 % de la variación del porcentaje de personas que consideran que el ambiente sonoro es muy desagradable. De los dos, la agudeza es la que mejor se relaciona con la percepción de que un ambiente sonoro es muy desagradable. A medida que la percepción de desagrado es menos intensa, las relaciones entre los indicadores sonoros y el porcentaje de personas molestas es cada vez menos significativa. En este caso, de acuerdo con estos investigadores, el L_{Aeq} es el indicador que mejor se relaciona con la percepción de que un ambiente sonoro es desagradable en alguna medida, aunque sólo sea capaz de explicar un 22 % de la variabilidad detectada. Es interesante notar que, si un ambiente sonoro no resulta ni agradable ni desagradable, ningún parámetro resulta significativo para describirlo.

Asimismo, según indican Barrigón *et al.* (2003), “ningún parámetro permite prever si determinado ambiente acústico va a resultar en alguna medida agradable a las personas”.

5.3 La molestia por ruido a nivel individual

5.3.1 Manifestaciones orgánicas de la molestia por ruido

Entre las manifestaciones orgánicas asociadas con la molestia por ruido, hay tres que según Colby *et al.* (2009) se consideran las principales:

- El “efecto *nocebo*”, como efecto opuesto al efecto placebo: si una persona cree que “algo” le va a hacer daño, resultará dañada por ese “algo”.
- La *disfunción de integración sensorial*, que se refiere a una hipersensibilidad anormalmente exacerbada a uno o varios estímulos sensoriales, como por ejemplo el ruido.
- Los *desórdenes somatomorfos*, que son una forma grave de somatización, donde los síntomas físicos (dolor de cabeza, fatiga, dolores en las articulaciones, nerviosismo, problemas de sueño, ardor en los ojos, náuseas, mareos, debilidad, problemas de memoria, síntomas gastrointestinales, síntomas respiratorios) pueden causar una gran angustia, a menudo a largo plazo. Se refieren a la presencia de síntomas físicos que producen malestar objetiva y clínicamente significativo que sugieren una enfermedad física, pero que no pueden explicarse completamente como enfermedad ni como efectos directos del consumo de una sustancia ni como otro trastorno mental. Las personas con trastornos psicósomáticos de este tipo están generalmente convencidas de que sus síntomas tienen una causa física.

5.3.2 Características personales del receptor

Las respuestas de distintos individuos frente a un mismo ruido pueden ser muy diferentes, ya que, en el decir de López Barrio (1989), citando a Lowin: “la conducta es función tanto de los factores personales como del entorno o ambiente en que ella se desarrolla.” La forma en que cada persona experimenta la molestia, su sensibilidad y el grado de tolerancia al ruido son

factores intrínsecos de cada individuo, que además resultan influidos por la personalidad e historia del individuo y por las circunstancias en que se encuentra.

Algunas personas manifiestan su descontento, mientras que otras lo padecen sin expresarlo. Estas personas tienen otro tipo de estados de ánimo cuando están expuestas a ruido, como incomodidad, inestabilidad, depresión, frustración, fatiga, entre otros. Muchas veces las personas afectadas hablan de intranquilidad, inquietud, desasosiego, depresión, desamparo, irritabilidad, enojo, fastidio, nerviosismo, exaltación, ansiedad o rabia.

Los índices de molestia individual se hallan fuertemente afectados por un conjunto de factores sociológicos, como la clase social, la edad, el género, la integración en el barrio o en el trabajo, el tiempo de estancia en el domicilio, o el nivel de educación. Así, por ejemplo, Luckas y Doobs (1972 citados por García Sanz y Garrido, 2003) señala que los niños y los jóvenes se ven menos afectados que los adultos o las personas mayores; y agregan que durante el sueño, las mujeres son menos sensibles a las molestias por ruido que los hombres. Otras características que inciden en la respuesta del receptor son el contenido de información y el sentido que tenga la información para el receptor, la previsibilidad, la evitabilidad, la controlabilidad de la fuente, las demandas de la tarea que el receptor esté realizando y las actitudes hacia la fuente de ruido (Passchier-Vermeer y Passchier, 2000).

Alimohammadi *et al.* (2009) indican que la molestia que genera el ruido se relaciona más fuertemente con las características personales del receptor que con las de la fuente de ruido. Entre estas características incluyen cuatro categorías y en cada una de ellas destacan los elementos que tienen mayor vínculo estadístico con la molestia experimentada:

- Factores actitudinales: sensibilidad al ruido; actitud del individuo en cuanto a si se requiere controlar el ruido; evaluación propia del nivel de ruido en el lugar de trabajo.
- Rasgos psicológicos: ansiedad.
- Salud auditiva.
- Factores personales: edad⁵, estado civil, tiempo de residencia en el lugar⁶.

En este último grupo de factores pesaba también el ser o no propietario de su lugar de trabajo, ya que el estudio se realizó en trabajadores que se desempeñaban en oficinas, ventas y actividades afines (“trabajadores de cuello blanco”).

Para López Barrio (1989) incide también *el simbolismo que se atribuye a los sonidos*, que no siempre se corresponde con lo que intuitiva o primariamente podría pensarse que significan. Por ejemplo, movilizarse en vehículo propio está bien visto y se asocia con cierto nivel socioeconómico, pero el ruido de tránsito es una de las causas de molestia más generalizada en las ciudades; los ruidos tecnológicos –electrodomésticos, equipos - se asocian con “poder” y

⁵ Los autores concluyen que la población que se siente más molesta es la de 30 a 49 años, en tanto personas menores y mayores acusan menor nivel de molestia. Estos resultados coinciden con los obtenidos en Montevideo (2014-2015).

⁶ A diferencia de lo esperado desde el punto de vista de la habituación al ruido, cuanto mayor es el tiempo de residencia en el lugar mayor es el nivel de molestia experimentado por la población estudiada, ratificando que se “tolera” pero no se “integra”.

“progreso” y no con ineficiencia o imperfección de las máquinas; las energías renovables están muy bien vistas en cuanto energías “ambientalmente correctas”, pero sin embargo, el ruido de aerogeneradores cosecha muchas quejas. Bernabeu (2009) señala que el grado de molestia está relacionado también con factores tales como miedos asociados a la fuente del ruido o el grado de legitimación que el afectado atribuya a la misma.

5.3.3 Sensibilidad al ruido

La sensibilidad al ruido y el malestar que puede producir difiere de un sujeto a otro (Bernabeu, 2009), pero de todos modos se traduce en cambios fisiológicos y de comportamiento reales que repercuten negativamente en la calidad de vida de esas personas. Es esperable que las personas modifiquen su conducta y sus hábitos en respuesta a la agresión a que los somete el ruido, y muchas veces esto conduce a cuadros depresivos, con el consiguiente consumo de psicofármacos. Es que la depresión es una enfermedad claramente asociada con el ruido y que puede considerarse como uno de los grados más graves entre las consecuencias que puede generar el ruido sobre la salud. Algunos trastornos neuróticos pueden provocar mayor intolerancia al ruido.

Según Tolosa (citado por Bernabeu, 2009), durante el día se suele experimentar malestar moderado a partir de los 50 dBA, y fuerte a partir de los 55 dBA. En el periodo nocturno, en estado de vigilia, estos valores disminuyen en 5 dBA o 10 dBA.

Evans y Kantrowitz (citado por Jakovlejić et al., 2008) indican que existe una relación entre el estatus económico y la molestia que se enmarca en lo que ellos llaman “injusticia ambiental”: las clases sociales más bajas se ven expuestas a muchas condiciones ambientales adversas, pero carecen de posibilidades de elección al respecto. Es que el confort acústico o la calidad acústica tanto del ambiente como en el interior de la vivienda no forman parte de las necesidades básicas⁷ de las personas, y recién cuando todas ellas están satisfechas es que tiene sentido comenzar a preocuparse por otros aspectos.

Hanning (2010) señala que el hecho de que el ruido de aerogeneradores sea “invasivo” en el sentido de que es audible dentro de la vivienda, genera en el receptor un fuerte sentimiento de haber perdido el control del entorno en el que habita. Esto conduce a respuestas de estrés que dificultan conciliar el sueño y dormir profundamente, por lo que la sensibilidad al ruido de aerogeneradores se incrementa durante la noche.

En los escritos sobre la vida de Manuel Kant que publicara Kuno Fisher en los primeros números de la Revista Contemporánea en Madrid, se refiere al inusual nivel de molestia que causaba al filósofo cualquier tipo de ruido (Fisher, 1876):

“(…) Para que la habitación le fuera agradable, había de ser lo más silenciosa posible. Mas como esta condición era difícil satisfacerla en una ciudad como Koenisberg, cambiaba frecuentemente de casa. La que tomó en las proximidades del Pregel estaba expuesta al

⁷ En Uruguay, en 1990 la Dirección General de Estadística y Censos (actualmente Instituto Nacional de Estadística) definió conceptualmente las necesidades básicas como “el conjunto de requerimientos psicofísicos y culturales cuya satisfacción constituye una condición mínima necesaria para el funcionamiento y desarrollo de los seres humanos en una sociedad específica”. Y propuso que los umbrales de privación se fijasen tomando como referencia lo que la imagen colectiva de lo que una sociedad o comunidad particular considera como condiciones dignas de vida.

bullicio de los buques y de las carretas polacas. Una vez se mudó de casa porque cantaba demasiado el gallo de un vecino; intentó primero comprárselo, y no consiguiéndolo, tuvo que abandonar su habitación. Por último, compró una casa modesta cerca de los fosos del castillo. Pero aquí tampoco se vio libre de molestias desagradables. Próxima a su casa, estaba la prisión de la ciudad, en donde hacían cantar a los presos ritos religiosos a fin de mejorarlos y corregirlos, y que iban a parar cuando abrían las ventanas a los mismos oídos de Kant. Contrariado en extremo por estas interrupciones (...) escribió a su amigo Hippel, alcalde primero de la ciudad y al propio tiempo inspector de la prisión (...): «Os suplicamos encarecidamente que libertéis a los moradores de esta vecindad de las oraciones estentóreas que hipócritamente entonan los que en la prisión se encuentran. No digo yo que carezcan de motivo y de causa para quejarse como si la salud de su alma corriera peligro al cantar un poco más bajo, y que no pudieran oírse ellos mismos, teniendo las ventanas cerradas. (...) Una palabra vuestra al carcelero, si os dignáis darle como regla lo que acabo de deciros, pondría para siempre término a este desorden y aliviaría de una gran molestia a aquel por cuya tranquilidad os habéis incomodado tantas veces. –Manuel Kant.» Mas no fue tan solo el canto de la prisión lo que interrumpía su tranquilidad. Oíanse frecuentemente en la vecindad músicas de baile que hacían perder a nuestro filósofo el tiempo y el buen humor, lo que tal vez contribuyó no poco a producirle la aversión que por la música sentía y que llegara a llamarla «un arte importuno». Hasta en su Estética conservó aún el mal efecto que estas perturbaciones le produjeron.”

Sin dudas, difícilmente se llega a tal nivel de aversión a todo lo que suena, dando la razón a Schopenhauer en cuanto a que “no es casualidad que los países y regiones menos desarrollados sean también los más ruidosos” (citado por Werner, Méndez & Salazar, 1995) y a que “la inteligencia es una facultad humana inversamente proporcional a la capacidad para soportar el ruido” (citado por Sáenz Cosculluela, 2004).

5.3.4 Control sobre la fuente

La posibilidad de identificar el origen específico del ruido y su ubicación espacial, y estimar que puede ser controlado por normas o actuaciones de la autoridad pública, mejoran la postura del receptor. Moch (1984, citado por García Sanz y Garrido 2003) ha constatado que cuando se percibe que el ruido es controlable la aversión hacia el mismo se reduce, mejorando cómo se lo evalúa perceptivamente y en consecuencia mejora la actitud hacia el trabajo y el rendimiento.

Sin embargo, es curioso anotar que, si bien pueden ser útiles con tal finalidad, el grado de correlación entre el número de quejas formales y el nivel de exposición al ruido es muy bajo y, por tanto, la valoración del problema a través de este método suele subestimar su importancia. Ya en 1995 García había constatado, en un estudio en la Comunidad Valenciana, que un 18 % de la población estaba muy molesta por el ruido ambiental y un 16 % más experimentaba alguna molestia, y, sin embargo, sólo un 1 % de los encuestados manifestó haber efectuado alguna denuncia.

5.4 La molestia por ruido a nivel de la sociedad

Cuanto mayor es la contaminación acústica, mayor es la insatisfacción con la vivienda, los vecinos, el entorno físico y social, el gobierno, el municipio, etc. Se produce lo que se llama

“estrés ambiental”, con repercusiones fisiológicas y psicológicas ante la percepción de la amenaza y la falta de recursos para afrontar el problema de la contaminación acústica.

La mayoría de las investigaciones sobre evaluación de la molestia generada por exposición al ruido se basan en encuestas de opinión, lo que agrega complejidad a la comparación de resultados y a la posibilidad de generalizarlos.

5.4.1 Incidencia de factores psicosociales

Desde una perspectiva sociológica, cada sociedad y cada cultura definen y aceptan un nivel sonoro particular, de manera que lo que una sociedad considera como ruido molesto, para otra es simplemente un contexto de la vida individual y de interacción social.

La noción de ruido, que se relaciona con los valores culturales predominantes en una sociedad y con los valores propios de las subculturas que la integran, es una construcción social, un concepto que implica una valoración social negativa sobre ciertos sonidos, de manera que incluso la música puede ser considerada socialmente un ruido.

El ruido incide en el comportamiento social. Así, Mosher (citado por García Sanz y Garrido, 2003) plantea que se da una disminución en los comportamientos de solidaridad cuando existe un ruido ambiental alto, y que la amabilidad disminuye en aquellas zonas donde se llevaban a cabo obras de construcción ruidosas.

Los estudios más recientes insisten en la complejidad de la respuesta subjetiva, en la que habría que incluir no solamente los aspectos psíquicos, sino también los perceptivos. Este tercer factor, el perceptivo, lejos de la preocupación de los estudios técnicos y psicofísicos por identificar las características físicas del sonido como los atributos más relevantes, centra su atención en los procesos psicológicos de interpretación y atribución de significados, especialmente sociales y culturales, en relación a las preferencias sonoras. Dicho de otro modo, como ha señalado Amphoux (1991 citado por García Sanz y Garrido, 2003), la valoración del sonido depende no tanto de lo que el sonido es en sí –características físicas objetivas–, sino de lo que dicho ambiente representa para cada uno y del significado que le otorga el sujeto. Es decir, a las características o rasgos objetivos se sobrepone la percepción del oyente, las variables subjetivas.

Es por ello que no debe aspirarse a lograr un nivel de presión sonora óptimo, sino a arribar a *un umbral de tolerancia* que resulte valorable para la cultura del grupo humano en cuestión.

Diferentes autores (Raw y Griffiths, 1988; Sato, 1993; Herranz Pascual y López Barrio, 2000; Martimortugués, 2003) indican que las variables psicosociales explican un porcentaje mayor de varianza (50 %) sobre los efectos del ruido que las variables físicas relacionadas con éste, que explican no mucho más del 30 % de la variabilidad de las respuestas en estudios normalizados acerca de molestia. Martimortugués (2003) indica además, citando a Guski (1983), que en estudios relativos a malestar ocasionado por el ruido comunitario es importante considerar *no sólo el ruido percibido, sino también el silencio percibido*.

Herranz Pascual y López Barrio (2000) ajustan una metodología para intentar anticiparse al impacto que producirá una cierta fuente de ruido sobre una sociedad. Más allá del interés en sí

de su propuesta, las dos grandes cuestiones teóricas que abordan en su fundamentación son en sí mismas ejes de reflexión que pueden a su vez orientar acciones:

▪ ***El impacto depende escasamente de los parámetros acústicos.***

En cuanto a los factores físicos del ruido, los de mayor significancia según Herranz Pascual y López Barrio (2000) son la intensidad; frecuencia; intermitencia y regularidad del ruido; naturaleza de la fuente del ruido; horario en que se produce el ruido.

▪ ***La importancia de factores psicosociales sobre el impacto acústico.***

Los factores psicosociales a considerar se suelen agrupar en cuatro categorías: características objetivas del entorno; variables sociodemográficas; factores de carácter psicosocial propiamente dichos; estrategias dirigidas a reducir el impacto del ruido ambiental.

- Entre las *características individuales de los receptores*, las autoras resaltan: actitud hacia la fuente sonora; la edad y el género de los afectados; la sensibilidad individual al ruido; la personalidad (sienten mayor molestia los introvertidos que los extrovertidos); el estado de ánimo; el tipo de asentamiento o comunidad.
- Dentro de los *factores psicosociales*, se suelen considerar: calidad ambiental percibida, adaptación, sensibilidad al ruido, actitudes y creencias. Entre ellos, indican:
 - La *sensibilidad al ruido* es la variable no acústica más importante y que explica un mayor porcentaje de la varianza residual del impacto no explicada por el nivel de ruido.
 - Las *actitudes y creencias* de las personas acerca del ruido parecen tener incidencia significativa, pero no se dispone de suficientes estudios que las consideren.

Hanning (2010) agrega a esta lista algunos factores que según Flindell y Stallen, 1999, influyen en el grado de molestia que ocasiona el ruido, y otros aportados por él mismo:

- La predictibilidad que percibe el receptor acerca de las modificaciones en el nivel de ruido.
- Las posibilidades que percibe de controlar la fuente, ya sea en forma directa o a través de terceros.
- La confianza y reconocimiento hacia quienes manejan la fuente de ruido.
- La existencia o no de voces.
- Las actitudes generales, el temor a los accidentes y el conocimiento de los beneficios generales de la fuente de ruido.
- El beneficio personal que percibe le reporta la fuente de ruido.
- Las compensaciones que recibe por verse expuesto al ruido.
- La sensibilidad al ruido.
- El ser o no propietario de su vivienda

- La preocupación por la desvalorización de su propiedad.
- La accesibilidad a la información relacionada con la fuente de ruido.
- El valor percibido de la fuente de ruido.
- Las expectativas de paz y silencio.
- El impacto visual.

5.4.2 Evaluación de la molestia

En principio, la molestia está determinada por los siguientes parámetros:

$$\text{Molestia} = \text{Tiempo de exposición} + \text{respuesta psicológica} + \text{ruido percibido}$$

Puesto que no existe un método objetivo para medir la molestia como tal, las aproximaciones para lograrlo se realizan por lo general a partir de encuestas. En la Tabla 5-1 se relacionan algunas variables cuantitativas con la impresión subjetiva de las personas.

Jakovljejić *et al.* (2008) analizan la molestia originada por ruido de tránsito y encuentran que la correlación entre niveles sonoros y nivel de molestia es muy débil. Hay una correspondencia mucho mayor entre las variables dependientes de la persona y las de su vivienda, como la sensibilidad al ruido, la edad, nivel de educación, tipo de trabajo, tamaño del apartamento, habitación más expuesta a ruido, entre otras. Indican que el nivel sonoro nocturno es muy importante en el nivel de molestia de las personas. Asimismo, señalan que cuando la gente trabaja o permanece expuesta a ruido fuera de su casa, se siente más molesta si se ve expuesta a ruido también en su domicilio.

Berglund *et al.* (1999) han evaluado un importante aspecto del ruido: el contenido semántico, para lo cual sometieron a diversos sujetos a escuchar palabra hablada en varios idiomas y con diferentes tipos de distorsión y ruidos agregados. Concluyeron que quienes no comprendían el idioma se veían menos afectados que quienes sí lo comprendían; quienes no lo comprendían eran más afectados por la sonoridad que por el contenido.

Según estos investigadores, la proporción de individuos que se declaran altamente molestos depende de la probabilidad de que las dosis individuales excedan cierto umbral. Las predicciones a partir de este enfoque requieren conocer la distribución de las reacciones individuales producidas por diferentes dosis de ruido. Se debe considerar la relación física entre la dosis de ruido recibida y la exposición medible físicamente a través de los niveles sonoros. Para ello aplican la **relación de Stevens**, que vincula la sonoridad y la energía recibida, representada ésta por el valor de L_{dn} . El fundamento para utilizar esta relación y no directamente L_{dn} reside en que la percepción –y en consecuencia la molestia– está más relacionada con la sonoridad que con la energía:

$$m = \left[10^{(L_{dn}/10)} \right]$$

Con esta dosis plantean una distribución exponencial para la intensidad de la molestia, de lo que resulta que la probabilidad de que un individuo se sienta altamente molesto para un “umbral de alta molestia” A dado será, entonces:

$$P_{(\text{altamente molestos})} = e^{-A/m}$$

Esta probabilidad, multiplicada por 100, representa el porcentaje de personas altamente molestas. Fidell *et al.* observan, que cambiando el criterio para el umbral, se obtienen diferentes curvas entre la dosis “física”, es decir L_{dn} , y el porcentaje de personas altamente molestas. Concluyen que tomando un umbral $A = 178$ se logra una coincidencia importante con la curva de Schultz (citado por Miyara, 2001a) por debajo de los 80 dB. Por encima de los 80 dB, la coincidencia decae. Esto representa mejor el problema de la “saturación” auditiva. En efecto, es decir para exposiciones muy altas, Schultz predice porcentajes de personas altamente molestas que superan el 100 %, absurdo que, con este planteo, no puede suceder.

Impresión subjetiva	Nivel de sonoridad (Fon)	Sonoridad (Son)	
		Noche	Día
Calmado	55	3	6
Moderadamente ruidoso	56 - 65	3 - 6	6 - 12
Muy ruidoso	66 - 75	06 - 12	13 - 24
Excesivamente ruidoso	75	12	24

Tabla 5-1 Relación entre sonoridad, nivel de sonoridad e impresión subjetiva

5.4.3 Porcentaje de personas altamente molestas

La forma usual de expresar la molestia por ruido a nivel poblacional es a través del porcentaje de personas altamente molestas (*percent of community highly annoyed, % HA*). Esto es propuesto por Schultz (citado por Miyara, 2001a), quien fue el primero en publicar una síntesis abarcativa de trabajos de investigación preexistentes a partir de un análisis de sus hipótesis, dinámica de trabajo y expresión de resultados. Pese a la multiplicidad de dificultades encontradas, a partir de una veintena de estudios que logró sistematizar por tener rasgos similares en su realización y en la expresión de sus resultados, obtuvo la expresión polinómica de uso corriente que relaciona el valor del L_{dn} con el % de personas altamente molestas (HA %), en principio tomando como foco de estudio el ruido de aeropuertos. Según Miyara (2001a), la expresión original de Schultz es:

$$HA \% = 0,8553 L_{dn} + 0,0401 L_{dn}^2 + 0,00047 L_{dn}^3$$

El trabajo original es posteriormente ampliado y actualizado por Fidell, Barber y Schultz (citado por Miyara, 2001a), quienes triplican los datos empleados originalmente y arriban a la siguiente expresión cuadrática:

$$HA \% = 78,9181 + 3,2645 L_{dn} + 0,0360 L_{dn}^2$$

A partir de los datos recogidos, Fidell, Schultz y Green (citado por Miyara, 2001a) obtienen, mediante un enfoque teórico, un modelo estadístico dependiente de un único parámetro independiente que explica la variabilidad en la relación dosis-efecto entre una métrica integrada de la exposición a ruido y el predominio de la molestia en la comunidad según Schultz. En este modelo se supone que la dosis de exposición es consecuencia de la exposición a largo plazo obtenida a partir del L_{dn} .

La expresión presentada se aplica usualmente para definir el porcentaje de personas altamente molestas por el ruido de tráfico rodado, más allá de que, a posteriori, se han propuesto curvas distintas para la molestia por vehículos automotores y trenes. También son diferentes las curvas que representan el % HA para ruido de aeropuertos. Los autores hacen la salvedad de que esta expresión carece de interpretación física, siendo tan sólo una función de ajuste conveniente, que no debería ser extrapolada fuera del rango para el cual fue obtenida (L_{dn} entre 40 dB y 90 dB).

La Norma UNE-ISO 1996-1:2005 considera la expresión siguiente para determinar el porcentaje de personas altamente molestas por ruido de tráfico, en relación al gráfico de la Figura 5-1:

$$HA = 100 / (1 + e^{(10,4 - 0,132 L_{dn})}) \%$$

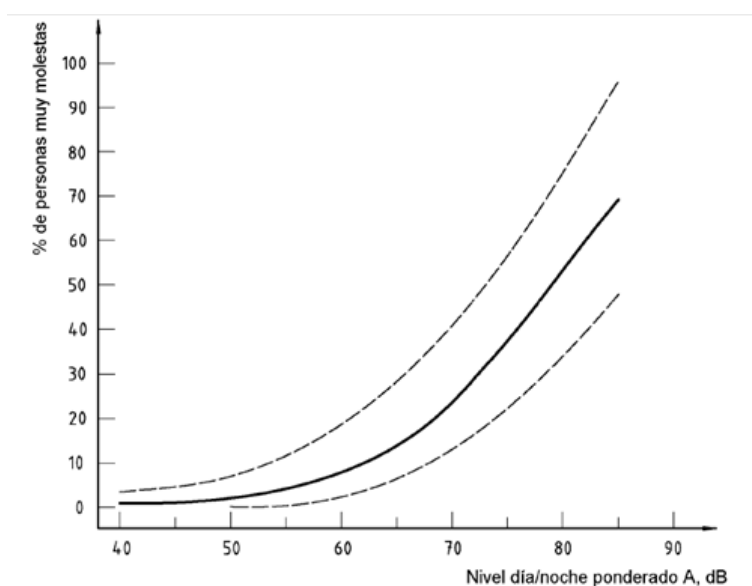


Figura 5-1. Porcentaje de personas altamente molestas por el ruido de tráfico (UNE-ISO 1996-1:2005)

En cuanto al tiempo de exposición al ruido, experimentos realizados por Poulsen (citado por Miyara, 2001a) sugieren que en lapsos de 1 a 30 minutos no habría variantes significativas en cuanto a la valoración de la molestia, al menos para ruidos de tránsito y de armas de fuego.

Stansfeld *et al.* (citado por Miyara, 2001a) publican en 1993 un estudio sobre la relación entre la exposición al ruido del tránsito y la morbilidad psicológica, en el cual concluyen que no habría una asociación directa pero sí interacciones con la *sensibilidad al ruido*. A diferencia de la molestia, que se refiere a actitudes frente a un ruido específico, la sensibilidad al ruido es la actitud subyacente frente al ruido en general, independientemente de sus características o su fuente. En ese trabajo confirman la *relación directa entre el nivel equivalente y la molestia* expresada como porcentaje de personas molestas o altamente molestas. También confirman la *relación entre la sensibilidad al ruido* (ordenada en tres terciles de creciente sensibilidad al ruido) *y la molestia*. Así, en el tercil inferior (los menos sensibles) hay sólo un 13 % que frecuentemente o siempre están molestos por el ruido, mientras que en el tercil más sensible, el 66 % lo están. En cambio, no se encontró una correlación importante entre la sensibilidad y el nivel de ruido. La escasa correlación inversa que se encontró (menor proporción de personas altamente sensibles en las zonas con mayores niveles sonoros) es atribuible a la tendencia de los altamente sensibles a abandonar las zonas más ruidosas.

Las curvas de porcentaje de personas altamente molestas por ruido se relacionan sin dudas con aspectos socioculturales. Lam *et al.* (2012) comparan sus resultados en la ciudad de Hong Kong con los estudios de Miedema y observan que la tolerancia al ruido de tránsito por parte de la población es mucho mayor que la de poblaciones occidentales (Figura 5-2). A su vez, se parece más a la curva de molestia por tráfico ferroviario publicada por Miedema que a la de tráfico automotor de este autor (ver Figura 5-3).

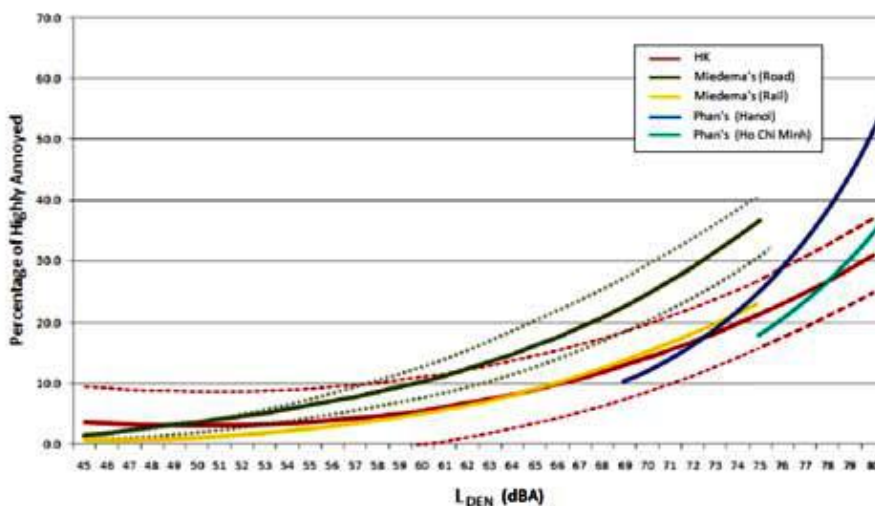


Figura 5-2. Porcentaje de personas altamente molestas por el ruido de tráfico en Hong Kong (curva púrpura) en relación a las curvas de Miedema para ruido de tráfico (en verde) y de transporte ferroviario (en amarillo). Las curvas azul y celeste corresponden a estudios de Phan *et al.* en ciudades de Vietnam. % HA está expresado en función del nivel sonoro L_{den} . (Tomado de Lam *et al.*, 2012)

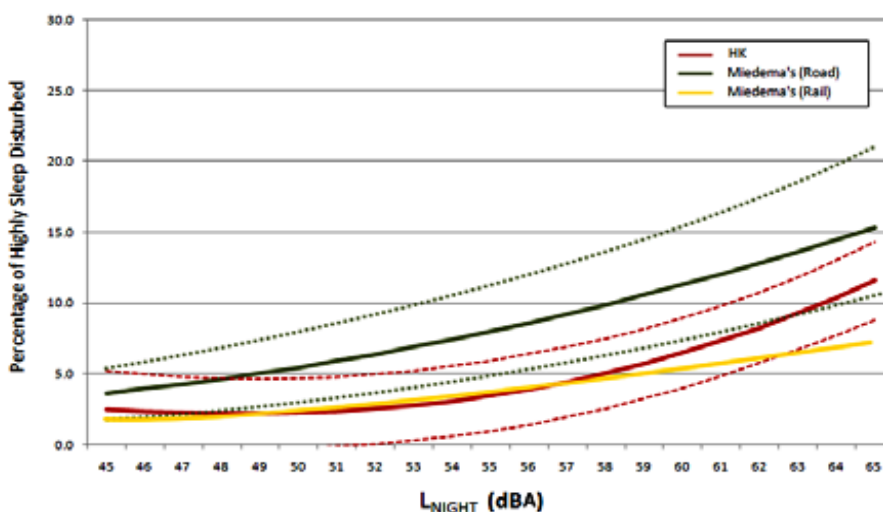


Figura 5-3. Porcentaje de personas altamente molestas por el ruido de tráfico en Hong Kong (curva roja) en relación a las curvas de Miedema para ruido de tráfico (en verde) y de transporte ferroviario (en amarillo). En este caso, % HA está expresado en función del nivel sonoro nocturno L_{Night} . (Tomado de Lam *et al.*, 2012)

Aunque los autores no descartan la posibilidad de que la mayor tolerancia esté asociada a que en los ambientes interiores normalmente están las ventanas cerradas y hay aire acondicionado, lo que puede en principio magnificar la diferencia de niveles de presión sonora entre el exterior y el interior, también señalan que investigaciones sociológicas anteriores dieron como resultado una

mayor tolerancia de la población de Hong Kong hacia la alta densidad de población en la ciudad, lo que podría orientar hacia una explicación a través de las características de los lugareños más que a través de las de sus viviendas.

En ese sentido, las curvas desarrolladas en Vietnam para ruido de tráfico y de aeropuertos (Figura 5-4) parecen afirmar esta hipótesis. Nótese que si bien se aprecia una mayor tolerancia al ruido de tráfico, en materia de ruido de aeropuertos la curva de Vietnam acusa –aunque levemente- un mayor grado de molestia.

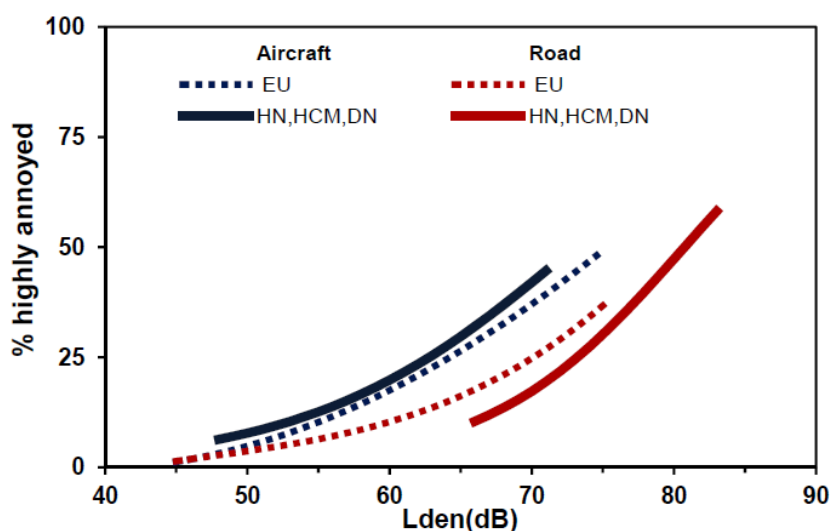


Figura 5-4. Porcentaje de personas altamente molestas por el ruido de tráfico y de aeropuertos en ciudades de Vietnam –Hanoi, Ho Chi Minh y Da Nang- (curvas de trazo lleno) y de la Unión Europea (curvas de trazo cortado) en función de L_{den} (Tomado de Nguyen *et al.*, 2012)

5.4.4 Evaluación de la carga de enfermedad por ruido ambiental

Existe consenso a propósito de que el ruido es un factor de molestia que afecta al bienestar de millones de personas en todo el mundo y, sobre todo, en los países más industrializados. Sin embargo, hasta hace relativamente poco tiempo, no se consideraba la molestia como un efecto adverso sobre la salud, por lo que era preciso argumentar cada vez por qué lo era, más allá de la definición de salud de la OMS como concepto holístico que alude al bienestar físico, mental y social.

A partir de los resultados del proyecto tendiente a estimar las cargas de enfermedad ambiental (*EBD-Environmental burden of disease*), reporte WHO Lares (Niemann y Maschke, 2004), se reconoce que la molestia en sí misma debe ser considerada como un efecto adverso sobre la salud. Es más, los efectos sobre la salud ocasionados tanto la molestia asociada con ruido de tránsito como con ruidos del vecindario (*neighbourhood noise annoyance*) resultaron ser independientes del nivel socioeconómico y de las condiciones de la vivienda.

La OMS ha desarrollado metodologías para evaluar cuantitativamente los riesgos ambientales para estimar la carga de enfermedad ambiental, para contribuir a cuantificar los problemas de salud pública relacionados con la calidad ambiental. Los resultados se expresan como años de vida potencialmente perdidos por muerte prematura y años equivalentes de vida saludable

perdidos por mala salud o discapacidad: años de vida ajustados por discapacidad (DALY-Disability-Adjusted Life Year; WHO, 2011).

La carga de enfermedad ambiental combina los conceptos de:

- Años potenciales de vida perdidos por muerte prematura
- Años equivalentes de vida saludable perdidos a causa de deterioro de la salud o discapacidad.

El cálculo de la carga de enfermedad ambiental se basa principalmente en la relación dosis-respuesta, la distribución de la exposición y la prevalencia de antecedentes de la enfermedad. El método para estimar la carga total de enfermedad se puede resumir en tres pasos (WHO, 2011):

1. Estimar la distribución de la exposición en la población.
2. Seleccionar los riesgos relativos dados por estimaciones bibliográficas, a partir de información reciente.
3. Estimar la fracción atribuible a la población aplicando el enfoque basado en la exposición que se resume a continuación:
 - Determinar la distribución de la exposición al ruido ambiental dentro de la población (prevalencia de la exposición al ruido, que se refiere a la proporción de personas expuestas a determinados niveles de ruido).
 - Determinar la relación dosis–respuesta correspondiente a la exposición identificada.
 - Determinar la incidencia I de las respuestas consideradas en la población en estudio (la incidencia se refiere al número de casos ocurridos de la enfermedad en cuestión).
 - Asignar un coeficiente de discapacidad p a cada respuesta considerada.
4. Calcular la carga de enfermedad como discapacidad por año de vida (*DALY-Disability-adjusted life year*). El DALY combina en un único valor el tiempo de vida perdido por mortalidad prematura (*YLL-Years of life lost*) y el tiempo vivido con discapacidad (*YLD-Years lost due to disability*) en la población general:

$$\text{DALY} = \text{YLL} + \text{YLD}$$

donde:

YLD es el número de casos de incidencia (I) multiplicado por el coeficiente de discapacidad p y por la duración media de la discapacidad en el año (L):

$$\text{YLD} = I * p * L$$

YLL es el número de muertes en el grupo de edad i multiplicado por la esperanza de vida a la edad en que ocurre la muerte; se calcula como:

$$\text{YLL} = \sum_i (N_i^m \cdot L_i^m + N_i^f \cdot L_i^f)$$

Siendo:

N_i^m número de muertes masculinas en el grupo de edad i

N_i^f número de muertes femeninas en el grupo de edad i

L_i^m esperanza de vida masculina para el grupo de edad i a la edad en que ocurre la muerte

L_i^f esperanza de vida femenina para el grupo de edad i a la edad en que ocurre la muerte

El informe de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2011) concluye:

“Realizados los cálculos, se estima que los DALYs perdidos en los estados miembros de la Unión Europea y otros países de Europa Occidental debido al ruido ambiental son 61.000 años de vida por cardiopatía isquémica, 45.000 años por deterioro cognitivo en niños, 903.000 años por trastornos del sueño, 22.000 años por tinnitus (zumbidos o acúfenos) y 587.000 años por molestia. Esto conlleva a que por lo menos un millón de años de vida sana se pierdan cada año debido al ruido de tránsito en la parte occidental de Europa.”

5.5 Molestia por ruido de aerogeneradores

Una serie de informes indica que, para igual nivel de presión sonora expresado en dBA, el ruido de aerogeneradores resulta más molesto que el de otras fuentes como el tráfico, el ruido de aeropuertos o de ferrocarriles. En efecto, para similares niveles de presión sonora, el 50 % de la población expuesta al ruido de aerogeneradores se considera molesta, en tanto sólo lo está el 4 % de la población expuesta a ruido de tráfico. La molestia es más probable cuando las turbinas de viento son una característica prominente de la opinión visual del paisaje.

En un estudio realizado por Jabbenen (2009 citado por Hanning, 2010) para el Instituto Nacional Alemán de Salud Pública y Ambiente (Dutch National Institute for Public Health and Environment), el objetivo era hallar valores umbral de referencia para L_{den} en relación al impacto acústico de parques eólicos en tierra (*onshore*). En su informe, plantean que, a partir de las evidencias disponibles, 440.000 personas (2,5 % de la población) estarían recibiendo *“una contribución significativa de ruido por aerogeneradores, de los cuales 1.500 es esperable que sufran un nivel de molestia severo. Es remarcable que casi la mitad de ese número ocurre para niveles de L_{den} de 30-40 dBA”*.

A la hora de emitir sus recomendaciones, estos autores sugieren aplicar un nivel L_{den} de no más de 40 dBA que, para ruido de aerogeneradores, corresponde a un nivel exterior calculado de unos 35,3 dBA.

La molestia que genera el ruido de los aerogeneradores puede estar relacionada con la conjunción de su característica impulsiva (golpeteo con frecuencia en el entorno de 1 Hz), sus componentes de baja frecuencia y su presencia más marcada en noches calmas, cuando el sonido se propaga a mayor distancia (varios kilómetros) pero también cuando los residentes esperan el mayor grado de tranquilidad. Muchas veces los vecinos radicados hasta 2 km de distancia describen los diferentes tipos de sonidos que se escuchan en diferentes momentos como: golpes,

silbidos, ruidos y pulsos (el sonido del "tren que nunca pasa", en el decir de Van den Berg, 2006). Ninguno de ellos resulta agradable.

Las características del ruido asociado con aerogeneradores son compatibles con el resultado que varios estudios han demostrado: las curvas de molestia obtenidas para otras fuentes de ruido no son aplicables al ruido de aerogeneradores. Cerca de los parques eólicos, se logra un cierto nivel de molestia con niveles sonoros mucho más bajos que los que se requieren para que otras fuentes de ruido generen la misma molestia.

Hanning recoge una tabla de resultados detallados de una investigación de Sejer Pedersen (2009), en un estudio en que participan 708 encuestados (Tabla 5-2). Los niveles sonoros están manejadas en escala A y en intervalos de a 5 dB, y los resultados son al 95 % de confianza.

Niveles sonoros exteriores	Niveles de presión sonora en escala A (dBA)				
	< 30	30 - 35	35 - 40	40 - 45	> 45
n	178	213	159	93	65
No lo perciben (%) (IC 95 %)	75 (68–81)	46 (40–53)	21 (16–28)	13 (8–21)	8 (3–17)
Lo oyen, pero no les molesta (%) (IC 95 %)	20 (15–27)	36 (30–43)	41 (34–49)	46 (36–56)	58 (46–70)
Algo molestos (%) (IC 95 %)	2 (1–6)	10 (7–15)	20 (15–27)	23 (15–32)	22 (13–33)
Bastante molestos (%) (IC 95 %)	1 (0–4)	6 (4–10)	12 (8–18)	6 (3–13)	6 (2–15)
Muy molestos (%) (IC 95 %)	1 (0–4)	1 (0–4)	6 (3–10)	12 (7–20)	6 (2–15)

Tabla 5-2 Porcentaje de personas molestas en función de niveles sonoros exteriores en escala A (tomado de Hanning, 2010). Incidencia de la mejora en la audición sobre el estado afectivo.

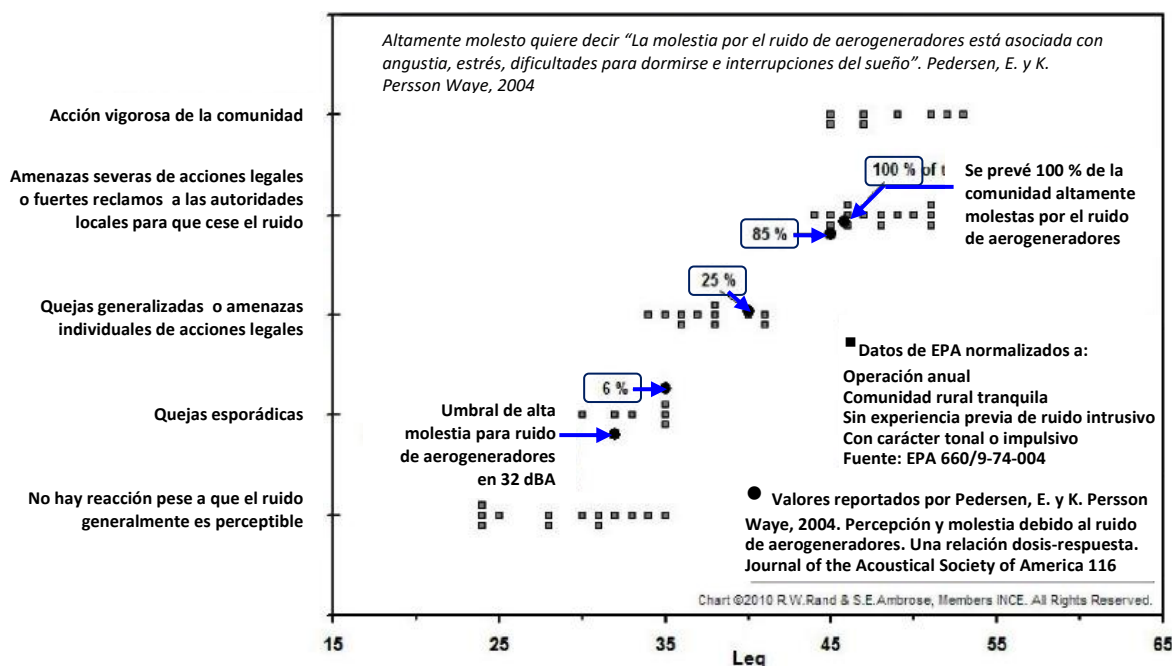


Figura 5-5. Porcentaje de personas altamente molestas por el ruido de aerogeneradores, correlacionado con las reacciones normalizadas de EPA para ruido intrusivo, según Ambrose 2010 (tomado de Hanning, 2010)

El gráfico de la Figura 5-5 está tomado de Hanning (2010), quien lo reproduce de un trabajo de Ambrose y Rand, 2010. Se refiere a la predictibilidad de los niveles de molestia relacionados con el ruido de aerogeneradores vinculándolos con la nomenclatura que emplea la EPA para calificar los diferentes niveles de molestia.

En un estudio de Van Renterghem et al. (2013) se plantea que el grado de molestia percibida (Figura 5-6), en que se observa que sólo el ruido de tráfico genera mayor molestia que otras fuentes (ruido de carreteras y de aerogeneradores). Además, al escuchar simultáneamente ruido de aerogeneradores y de tráfico, o de aerogeneradores y carretera, el grado de molestia no se modifica en relación al que se tenía para cada una de las fuentes consideradas individualmente.

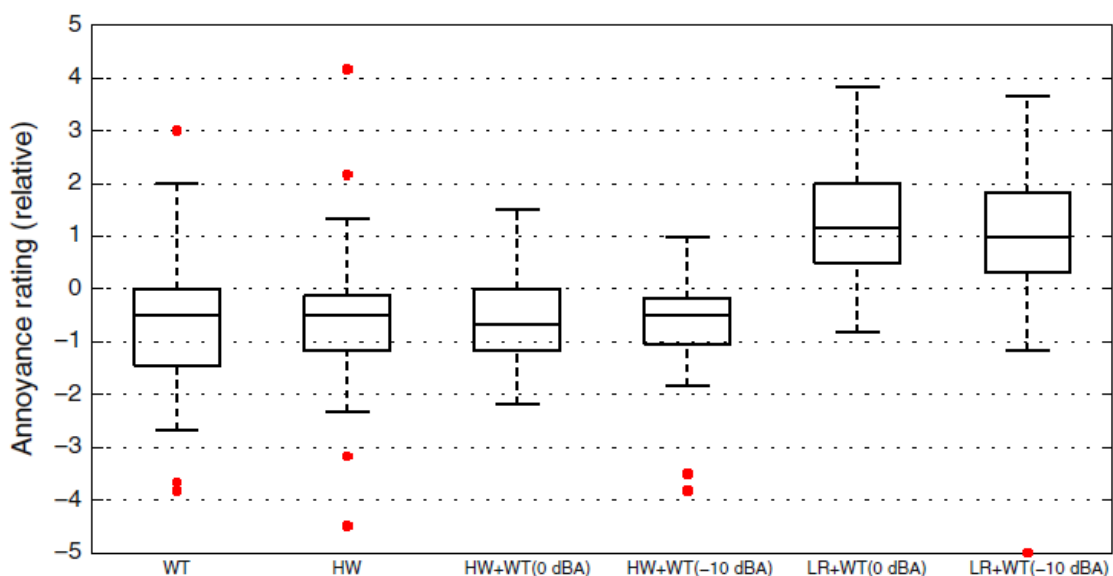


Figura 5-6. Grado de molestia para diferentes fuentes de ruido ambiental: WT = aerogeneradores; HW = carretera, LR = ruido de tráfico. La razón señal-ruido (SNR) del ruido de aerogeneradores en las muestras mixtas se escribe entre paréntesis. Tomado de Van Renterghem *et al.* (2013)

Bibliografía

- AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) (2005). *Norma española UNE-ISO 1996-1 "Acústica: descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación"*. Madrid, España.
- Alimohammadi, I.; Nassiri, P.; Azkhosh, M.; Hoseini, M. (2010). *Factors affecting road traffic noise annoyance among white-collar employees working in Tehran. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, Vol.7, No. 1, pp. 25-34. Disponible en <http://journals.tums.ac.ir/>
- audiologia help! El blog de los alumnos en audio prótesis de la escuela "Antonio de Solis" de Sevilla. Consultado en 2017 en: <http://blogaudiologia.blogspot.com.uy/2013/05/javier-perez.html>
- Barrigón Morillas, J. M.; Palma Amador, B.; Vilchez Gómez, R.; Gómez Escobar, V.; Méndez Sierra, J.A.; Vaquero Martínez, J.M. (2003). *La calidad sonora en los ambientes urbanos y su relación con algunos parámetros acústicos*. Tecnicústica 2003, Bilbao, España.
- Barti Domingo, R. (2000). *Valoración subjetiva de la molestia de ruido de automoción. Índice LS*. Tecnicústica 2000, Madrid, España.
- Bearer, C.F. (2004) *Noise En: Children's health and the environment. A global perspective. A Resource Manual for the Health Sector*, Section III: Specific Environmental Threats. J. Pronczuk de Garbarino, Editor-in-Chief. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 2004.
- Bellhouse, G. (2004). *Low frequency noise and infrasound from Wind turbine generators: a literature review*. Energy Efficiency and Conservation Authority.
- Benítez de Fornerón, A.; Cubilla de Cabañas, M.R.; Zanotti Cavazzoni, J.C. (1996) *La agresividad en el ambiente: su detección y nuevo modelo terapéutico*. Revista de Ciencia y Tecnología (Universidad Nacional de Asunción, Paraguay) 1996: 1(2) pp.119-130.
- Berglund, B.; Lindvall, T. (1995). *Community Noise*. Documento preparado para la Organización Mundial de la Salud.
- Berglund, B.; Lindvall, T.; Schwela, D. H (1999). *Guías para el ruido urbano*. Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Cluster of Sustainable Development and Healthy Environment (SDE), Department of the Protection of the Human Environment (PHE), Occupational and Environment Health (OEH). Londres, Reino Unido.
- Bernabeu Taboada, D. (2009). *Efectos del Ruido sobre la Salud*. Biblioteca-Médica Ruido (PEACRAM) - Plataforma Estatal de Asociaciones Contra el Ruido (PEACRAM).
- Carrillo Castro, Roberto Carlos. *Análisis teórico de las características de personalidad en personas violentas*. Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte, 2007.
- Chávez Miranda, J.R. (2006). *Ruido: Efectos Sobre la Salud y Criterio de su Evaluación al Interior de Recintos*. Ciencia & Trabajo, 8 (20), pp.42-46. Abril-junio 2006. Disponible en: www.cienciaytrabajo.cl
- Colby, W. D.; Dobbie, R.; Leventhall, G.; Lipscomb, D. M.; McCunney, R.J.; Seilo, M.T.; Søndergaard, B. (2009). *Wind Turbine Sound and Health Effects, An Expert Panel Review*. American Wind Energy Association and Canadian Wind Energy Association.
- Costa Delgado, Leticia (2015) Oído. Especialistas uruguayos diseñan un sistema para tratar zumbidos durante el sueño. El País Digital, junio 2015.
- Christensen, J.S.; Raaschou-Nielsen, O; Tjønneland, A.; Overvad, K.; Nordsborg, R.B.; Kettel, M.; Sørensen, T.I.; Sørensen, M. (2016). *Road traffic and railway noise exposures and adiposity in adults: a cross-sectional analysis of the Danish Diet, Cancer, and Health cohort*. Environ Health Perspect 124:329–335; <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1409052>
- Diario Oficial de las Comunidades Europeas L189/12 (2002). *Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo*, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

- Eriksson, Charlotta; Katz, David. Institute of Environmental Medicine, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden; Yale University Prevention Research Center, New Haven, Conn. Occupational & Environmental Medicine May 25, 2015.
- Fisher, K. (1876). *Vida de Kant*. Revista Contemporánea, año II, número 3, tomo I, volumen III, páginas 370-382. Madrid, España. 15 de enero de 1876.
- Fontán, M. *Por la noche toleramos menos número de decibelios. Entrevista con José Manuel García de la Villa*. Faro de Vigo. 20-03-2005 PEACRAM (Plataforma Estatal de Asociaciones Contra el Ruido). Zaragoza, España.
- García, A. (1995). *La contaminación sonora en la comunidad valenciana*. Consell Valencià de Cultura. Generalitat Valenciana. 129 pp. Valencia, España.
- García Sanz, B.; Garrido, F. J. (2003). *La contaminación acústica en nuestras ciudades*. Edición electrónica disponible en Internet: www.estudios.lacaixa.es. © Fundación “La Caixa”.
- Gómez Albán, L. (2007). *Educación a los niños en higiene sonora para prevenir la contaminación acústica*. Revista Ecuatoriana de Pediatría. Vol. 8 Nº 2. Quito, Ecuador.
- González, A. E. (2004). *Riesgos de la exposición a ruido en infancia y adolescencia*. 2º Congreso de Pediatría Ambulatoria, Montevideo, Uruguay.
- González, Alice Elizabeth. *Valoración epidemiológica del umbral auditivo de la población adulta uruguaya*, en: Seminario Internacional en Ruido Ambiental, Memorias, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Universidad de San Buenaventura – Medellín, Corantioquia, pp. 21-33, Medellín, Colombia, marzo de 2008. ISBN: 978-958-44-3029-8.
- González, Alice Elizabeth; Echeverri Londoño, Carlos A. *Locales de diversión nocturna y contaminación sonora*. VI Congreso Iberoamericano de Acústica FIA 2008, Buenos Aires, Argentina, noviembre 2008. ISBN 978-987-24713-1-6
- González Andreu, D.; Hernández Becerra, S.; Delgado Ávila, D. (2012). *Comportamiento del estado afectivo en ancianos hipoacúsicos con audífonos*. Hospital General Docente Comandante Pinares San Cristóbal, Artemisa, Cuba.
- Hanning, Ch. (2010). *Wind turbine noise, sleep and health*. Sleep disturbance and wind turbine noise, The Society for Wind Vigilance.
- Harris, Cyril M. (1995). *Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido (Volúmenes I y II)*. Tercera Edición, McGraw-Hill.
- Herbrandson, C.; Messing, R.B. (2009) *Public Health Impacts of Wind Turbines*. Minnesota Dept. of Health. Mayo, 2009. Consultado en: <http://energyfacilities.puc.state.mn.us/resource.html?id=24519>
- Herranz Pascual, K.; López Barrio, I. (2000). *Modelo de impacto del ruido ambiental*, Tecnicústica 2000, Madrid, España.
- International Standard Organization (1995) *ISO Standard 1999:1990. Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment*. International Organization for Standardization, Suiza, 1990.
- International Standard Organization (1995). *ISO Standard 7196:1995(E) Acoustics – Frequency – Weighting Characteristic for Infrasound Measurements*.
- International Standard Organization (2003). *ISO Recommendation 226:2003. Acoustics - Normal equal-loudness-level contours*.
- International Standard Organization (2003). *ISO Standard 7029:2000. Acoustics - Statistical distribution of hearing thresholds as a function of age*. 2000.
- Ising, H. and Kruppa, B. (2004). Health effects caused by noise: Evidence in the literature from the past 25 years. *Noise and Health*, vol. 6 n.22, pp.5-13, 2004.
- Jakovljevic B. et al, (2008). *Road-traffic noise and factors influencing noise annoyance in an urban population*, Environ Int (2008), doi:10.1016/j.envint.2008.10.001

- Jiménez de la Torre, F.; López Barrio, I. (2001). *Impacto del ruido de tráfico en los procesos de atención y memoria de los escolares*. Tecniacústica 2001, La Rioja, España.
- Krahe, D. *Low Frequency Noise—Strain on the Brain*. Lowfrequency 2010 Conference. Aalborg, Dinamarca.
- Kryter, K. (1968) *Prediction of effects of noise on man*. Stanford Research Institute.
- Lam, K.C.; Brown, A. Lex; van Kamp, I.; Wong, T.W.; Chan, Y.K.; Yeung, M.K.L.; Lui, A.; Law, C.W.; Chung, Y.T. (2012) *A large scale study of the health effects of transportation noise in Hong Kong*. Acoustics 2012 Hong Kong.
- Leventhall, H.G. *Low frequency noise and annoyance*. Noise Health [serial online] 2004. Disponible en: <http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2004/6/23/59/31663>
- López Barrio, I. (1989) *Factores de valoración y teorías explicativas de los efectos del ruido*. Memorias de las Jornadas Nacionales de Acústica, pp. 455-461, Zaragoza, España, 1989.
- Martimportugués, C.; Gallego, J.; Ruiz, F. D. (2003). *Efectos del ruido comunitario*. Revista de Acústica. Vol. 34. Nos 1 y 2 pp.31-39. Madrid, España.
- Miyara, F. (1999). *Control de ruido*. Libro electrónico, edición propia. Rosario, Argentina.
- Miyara, F. (2001a). *Paradigmas para la investigación de las molestias por ruido*. 1^{as} Jornadas Sobre el Ruido y sus Consecuencias en la Salud de la Población. Buenos Aires, Argentina.
- Miyara, F. (2001b) *Ruido, juventud y derechos humanos*. I Congreso Argentino – Latinoamericano de Derechos Humanos: “Una Mirada desde la Universidad”
- Montserrat-Esteve, S. (S/A) *Bioquímica de la Angustia*. 36 pp., Barcelona, España.
- Nguyen, T.; Yano, T.; Nguyen, H.; Nishimura, T.; Sato, T.; Morihara, T. (2012). *Community response to aircraft noise around three airports in Vietnam*. Acoustics 2012 Hong Kong.
- Niemann, H.; Maschke, Ch. (2004). *WHO LARES. Final report: Noise effects and morbidity*. Interdisciplinary research network “Noise and Health”.
- Orozco-Medina, M.; Orozco-Barocio, A.; Figueroa-Montaña, A.; Ochoa-Ramos, N. (2010). *Discusión en torno a los efectos del ruido ambiental en el sistema inmune*. 160th ASA meeting, 7^o Congress FIA, 17^o Congress IMA, 2nd Pan-American and Iberian Meeting on Acoustics, Cancún, México.
- Passchier-Vermeer, Willy; Passchier Wim F. (2000) *Noise Exposure and Public Health*. Environ Health Perspect 108 (suppl 1):1 23-131 (2000).
- Penado Abilleira, M. *Agresividad reactiva y proactiva en adolescentes: efecto de los factores individuales y socio-contextuales*. Tesis Doctoral, Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Psicología, 2012.
- Persson Waye, K.; Wallenius, R.; Elmenhorst, E. M.; Pedersen, E. (2012). *Experimentally investigated sleep disturbance of intensive care unit sounds*. Acoustics 2012 Hong Kong.
- Portal divulgativo de Acústica y Sonido. Consultado en 2017 en: <http://acusticaysonido.com>
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. PAOT (S/A) *Contaminación por ruido y vibraciones: Implicaciones en la salud y calidad de vida de la población urbana*.
- Puertas Valdeiglesias, Susana; Aguilar Luzón, M^a Carmen (S/A). *Tema 9: Psicología Ambiental*. Departamento de Psicología. Universidad de Jaén.
- Pyko, A; Eriksson, C.; Oftedal, B.; Hilding, A.; Östenson, C.; Hjertager Krog, N.; Julin, B.; Aasvang, G.; Pershagen, G. (2015) *Exposure to traffic noise and markers of obesity*. Occup Environ Med 2015; **0**:1–8 doi:10.1136/oemed-2014-102516
- Ramírez, J.M. (2006) *Bioquímica de la agresión*. Psicopatología Clínica, Legal y Forense, Vol.5, pp. 43-66.
- Real Academia Española (2014). *Diccionario de la Lengua Española, vigésima segunda edición*. Consultado en: <http://die.rae.es/>
- Recuero López, Manuel (2001). *Acondicionamiento acústico*. 320 pp. Ediciones Paraninfo S.A. ISBN 978-84-283-2799-2

- Rinaldi Corbo, J. L. Comunicación personal. Maldonado, Uruguay. 2012.
- Romano, S. (2000). *Adicción al ruido como respuesta a la ausencia del vínculo afectivo*. Terceras Jornadas Internacionales Multidisciplinarias sobre Violencia Acústica, Rosario, Argentina.
- Sáenz Cosculluela, I. (2004). *Conferencia inaugural del I Congreso Nacional contra el Ruido: ruido, salud y convivencia*, Peacram, Plataforma Estatal contra el Ruido, Zaragoza, España.
- Safe Environs Program, *Health Canada Environmental Assessment Nova Scotia*, agosto 6, 2009. Disponible en http://www.windvigilance.com/about-adverse-health-effects/primer_ahe
- Seguí Pons, J.M.; Martínez Reynés, M.R.; Ruíz Pérez, M. (2007). *Ruido y Sostenibilidad Ambiental en el Aeropuerto de Son Sant Joan (Mallorca)*. Cuad. de Geogr. 81-82 pp. 5 -70, Valencia, España. 2007.
- Sejer Pedersen, Ch. (2008). *Human hearing at low frequencies with focus on noise complaints*. Ph. D. Thesis. Acoustics, Department of Electronic Systems Aalborg University, Denmark. 100 pp.
- Serra, Mario; Blassoni, Ester; Abraham, Mónica (2014) *Deterioro auditivo en los adolescentes: Diagnóstico temprano y estrategias de prevención*. En: La Semana del Sonido, Rosario, Argentina, mayo 2014.
- Somerville, E. T. (1976). Noise-induced hearing loss and industrial audiometry. *Journal of the Royal College of General Practitioners*, 1976, **26**, 770-780.
- Stansfeld, Stephen; Haines, Mary; Brown, Bernadette (2000). Noise and Health in the Urban Environment. *Reviews on Environmental Health*, 2000, Vol. **15** N° 1-2, pp. 43-82.
- Stansfeld, S.A.; Matheson, M.P. (2003). *Noise pollution: non-auditory effects on health*. *British Medical Bulletin* 2003; 68: 243–257. The British Council, UK 2003.
- Suter, A.H. (1991) *Noise and Its Effects*. Conference Consultant, Administrative Conf. of the United States.
- United States Environmental Protection Agency USEPA (1981) *Noise Effects Handbook*. A Desk Reference to Health and Welfare Effects of Noise. Office of the Scientific Assistant, Office of Noise Abatement and Control, National Association of Noise Control Officials, USA.
- Vázquez, M. (2011) “*Eduard Estivill: La gente que está sometida a niveles altos de ruido es más agresiva y menos tolerante*”. Nota periodística en Levante-EMV.com, Valencia. Disponible en http://www.sorolls.org/docs/noticiacast_8_12_08.htm. 23 de enero de 2011.
- Van den Berg, Godefridus Petrus (2006). *The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise*. Doctoral Thesis from the University of Groningen, Netherlands. Mayo, 2006.
- Van Renterghem, Timothy; Bockstael, Annelies; De Weirt, Valentine; Botteldooren, Dick (2013) *Annoyance, detection and recognition of wind turbine noise*. *Science of Total Environment* 456–457 (2013) 333–345.
- Van Kamp, Irene; Davies, Hugh (2008) *Environmental noise and mental health: Five year review and future directions*. Non-auditory: 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008, Foxwoods, CT
- Van Kamp, I; Lam, KC; Brown, AL; Wong, TW; Law, CW. (2012). *Sleep-disturbance and quality in Hong Kong in relation to nighttime noise exposure*. *Acoustics 2012 Hong Kong*.
- Weedon, V. *Puntos de vista de una víctima de agresión acústica*. Primeras Jornadas Internacionales Multidisciplinarias sobre Violencia Acústica, 2001. Disponible en: http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/biblio/val_esp.htm
- Werner, A.; Méndez, A.; Salazar, E. (1995). *El Ruido y la Audición*. Ed.Ad Hoc, 336 pp. Buenos Aires, Argentina.
- World Health Organization (2009). *Night Noise Guidelines for Europe*. Disponible en: http://www.euro.who.int/eprise/main/WHO/Progs/NOH/Activities/20040721_1
- World Health Organization, Regional Office for Europe (2011) *Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe*. ISBN: 978 92 890 02295
- Zwart, Maarten (2015) Take your time to resolve sensory conflicts. *J Exp Biol* 218, 1619-1620. June 2015, doi: 10.1242/jeb.112201