

Valoración de la molestia por contaminación acústica mediante relaciones dosis-efecto

Autor principal: Jerónimo Vida Manzano

Institución: Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias
Universidad de Granada
Teléfono: 958 240 502
E-mail: jvida@ugr.es

Otros autores: Margarita Espejo Pérez, Otilia Herrera Márquez, Susana Serrano Ortiz

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos se está produciendo una creciente preocupación acerca del problema de la contaminación acústica. El progresivo aumento de los índices de presión sonora en las ciudades consecuencia de la proliferación de las fuentes de ruido inherentes al proceso de desarrollo en el que nos encontramos inmersos y el cambio en los hábitos de vida unido a la proliferación de estudios que advierten de la relación existente entre niveles sonoros altos y determinadas consecuencias biológicas en los organismos, entre las que cabe destacar la irritabilidad, ansiedad, stress y disminución del rendimiento intelectual [1] están desembocando en un cambio de la percepción social del ruido.

La contaminación acústica es percibida como uno de los principales problemas de la sociedad actual, influyendo negativamente en el bienestar y calidad de vida. Según datos del Ecobarómetro de Andalucía 2004 el ruido es el principal problema ambiental local, con una incidencia especialmente importante en las grandes ciudades. Casi un 44% de los encuestados lo sitúan en primer lugar en el 2003 y un 43% en el 2004, lo que da idea de la importancia de esta valoración. En este mismo Ecobarómetro, el tráfico aparece como la principal causa de la contaminación acústica de los hogares españoles, afirmando un 72% de los encuestados tener una fuente de ruido molesta cerca de sus viviendas [2].

La situación se agrava ante la evidencia de la relación existente entre los elevados niveles de ruido y afección a la salud de las personas. Diferentes estudios desarrollados en los últimos 20 años han demostrado que la contaminación acústica afecta claramente a la salud de las personas y es causa de una serie de trastornos físicos y psicológicos cuya extensión depende de las condiciones existentes en cada caso, tal y como refleja el Libro Verde de la Comisión Europea Política futura de lucha contra el ruido (1996) [3].

Para la protección de la población frente a este agente contaminante recientemente se han venido desarrollando una serie de legislaciones y políticas medioambientales que mantiene como punto prioritario el control y minimización y que vienen a llenar el vacío legal existente hasta los últimos años. En este contexto de lucha contra el ruido, la Unión Europea dio recientemente un paso adelante incluyendo el estudio de la molestia y la afección de la población por exposición a contaminación acústica en una de sus líneas de investigación prioritarias del 6º Programa Marco para la investigación y Desarrollo Tecnológico de la UE (2002-2006) [4].

La Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental representa la puesta en escena de la nueva política de lucha contra el ruido en Europa. El desarrollo de esta política tiene en cuenta que el ruido es un problema ambiental de primer orden que necesita, para su prevención y erradicación, métodos armonizados de medida, estimación y valoración [5]. Su transposición al marco normativo español da lugar a la Ley 37/2003 (Ley del Ruido) [6], estando pendiente aún su completo desarrollo reglamentario [7]. En Andalucía, el Decreto 326/2003 publicado en diciembre, contiene el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica [8]. Esta normativa recoge, después de bastantes años de vacío legal, la sensibilización ciudadana actual con respecto al problema de los ruidos.

El objetivo en todos los casos es la vigilancia, prevención y minimización de la contaminación acústica, para evitar y reducir los daños que de ésta puedan derivarse

para la salud de las personas, los bienes o el medio ambiente. Para ello, el Mapa Sonoro se erige como herramienta fundamental de diagnóstico, prevención y control, elaborado a partir de la medida o estimación de índices armonizados de valoración.

Una de las cuestiones más importantes en el marco legal actual es la valoración del grado de molestia de la población que sufre situaciones de contaminación acústica. El número de personas afectadas en una zona dada con molestias o alteración de sueño es una de las situaciones que deben ser analizadas e incluidas como parte del contenido reglado de los Mapas Sonoros.

Así se contempla en la Directiva 2002/49/CE, que persigue armonizar los métodos de evaluación, gestión y control del ruido ambiental en la Unión Europea. Esta armonización incluye la valoración del grado de molestia de las personas como camino para determinar los efectos del ruido en la población. Para ello, propone que se utilicen relaciones dosis-efecto que permitan la estimación de la molestia a partir del nivel L_{den} , la perturbación del sueño a partir del nivel L_{night} y también, llegado el caso, la estimación de necesidades de insonorización, de protección especial, determinación de la fachada menos expuesta, diferencias entre culturas o climas, etc.

El estudio se centra actualmente en la forma de esas relaciones para valorar el grado de molestia. El desarrollo reglamentario de la Ley 37 (Ley del Ruido) expresa la obligatoriedad de evaluar los efectos nocivos a partir de las relaciones dosis-efecto que se propongan para ello a nivel europeo [7].

La investigación que nos ocupa se erige por tanto como un proyecto innovador y de especial importancia debido al requerimiento normativo de informar sobre el grado de molestia y, por ello, emplear las relaciones que se propongan para la valoración del grado de molestia que, con toda lógica, antes deben ser validadas.

Las ecuaciones para el cálculo del grado de molestia fueron diseñadas a partir de un trabajo de síntesis de los resultados obtenidos en numerosas encuestas y campañas de medidas realizadas en las últimas décadas en diversos países, si bien su aplicación presenta bastantes incertidumbres. Por ejemplo:

- a) No están suficientemente estudiadas las diferencias en la respuesta comunitaria frente al ruido en función de la nacionalidad, cultura o clima de cada país.
- b) Las encuestas de estos trabajos son difícilmente comparables entre sí debido a la diversidad de idiomas, objetivos, preguntas y escalas de respuesta utilizadas.
- c) No tienen en cuenta el efecto de variables no acústicas (psicológicas o demográficas) sobre el grado de molestia de la población frente al ruido, tal y como proponen diversos trabajos de investigación.

Se hace necesario por tanto la comprobación del grado de bondad de las relaciones dosis-efecto en las distintas áreas geográficas por las matizaciones que de su estudio se pueda aportar a las ecuaciones y lograr así un mayor grado de ajuste entre la situación predicha y la real para establecer con claridad la herramienta adecuada para un correcto dimensionado y valoración del problema. En este sentido, el proyecto de Real Decreto por el que se completa el desarrollo de la Ley del Ruido en España, hecho público por el Ministerio de Medio Ambiente el 26 de mayo de 2006 [7], refleja el vacío legal aún existente en lo que se refiere a la evaluación de la molestia ya que a pesar de

hacer referencia al “empleo de las relaciones dosis-efecto que se establezcan para evaluar el efecto del ruido sobre la población” no se indica de forma clara cuáles son estas relaciones ni qué efecto es el que se evalúa.

El estudio, análisis y validación de las relaciones dosis-efecto propuestas por la Unión Europea para la determinación del grado de molestia se constituye así como una línea de trabajo básica y prioritaria para la consecución de los objetivos de prevención y minimización de los efectos derivados de la contaminación acústica establecida por la normativa.

2. EL ESTUDIO DE LA MOLESTIA POR CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

En el contexto de la acústica ambiental el ruido es, en su concepción más amplia, todo sonido que resulte desagradable. Esta descripción, que no definición, presenta muchos matices y variaciones al estar cargada de subjetividad. De hecho, el mismo sonido puede ser agradable para un individuo y ser catalogado como ruido por otro. La valoración subjetiva del sonido, inherente al ser humano, es uno de los grandes problemas a los que se enfrenta el investigador cuando trata de caracterizar el grado deafección por ruidos que existe en un momento y lugar determinado.

Los elevados niveles de ruido ambiental existentes en la inmensa mayoría de las ciudades tienen importantes consecuencias para la población, consecuencias que se manifiestan en múltiples efectos tanto sobre el ser humano como sobre su entorno, adquiriendo una gran importancia social, cultural y económica [9]. La exposición repetida y prolongada a niveles elevados de ruido es interpretada en muchos casos como un empeoramiento general de la calidad de vida de las personas que lo sufren, interfiriendo en sus labores cotidianas y dando lugar a lo que comúnmente se denomina MOLESTIA. Si analizamos la relación entre dosis de ruido y efecto en las personas, el principal y más inmediato de esos efectos es siempre la molestia, aunque otros tipos de consecuencias sean igualmente importantes y merecedoras de estudio; de hecho, a lo largo de estos últimos años se han multiplicado los estudios destinados a caracterizar los principales efectos del ruido, tanto fisiológicos como psicológicos.

Al estudiar la molestia ocasionada por el ruido, se hace referencia a una gran cantidad de matices y singularidades que hacen que su valoración sea muy compleja. Así, la evaluación de la molestia por ruidos es un problema de grandes dimensiones, por cuanto se intenta relacionar una percepción subjetiva (molestia) con magnitudes objetivas (índices de medida del ruido ambiental). La complejidad de esta línea de investigación hace que la colaboración con investigadores y expertos de diferentes áreas de conocimiento sea fundamental.

Entre los factores que pueden afectar a la respuesta comunitaria frente al ruido se encuentran variables demográficas, actitudinales y situacionales [10]. De hecho, diversos autores concluyen que el ruido tiene diferentes efectos en personas de distinta edad, género, sensibilidad al ruido o situación socioeconómica, influyendo estos factores en el grado de molestia de cada individuo frente al mismo nivel de ruido ambiental [11]. En España, un estudio llevado a cabo por Martimportugués [12] concluye que la clase social, el tiempo de residencia, estar en activo laboral y haber terminado los estudios son las variables que más discriminan los efectos del ruido comunitario. Este estudio también

refleja la relación de dependencia existente entre la molestia por ruido ambiental y la percepción del entorno físico de la vivienda.

El método más extendido para recoger todos estos posibles modificadores de la respuesta subjetiva frente al ruido y así caracterizar la molestia por contaminación acústica de una población determinada es la realización de una encuesta diseñada específicamente a tal efecto. Una *encuesta social* dirigida a solicitar información sobre actitudes acerca de los efectos de la exposición al ruido es una investigación sistemática de la opinión pública que, con el fin de obtener información de interés duradero, precisa determinar los porcentajes de la población que experimentan efectos específicos o mantienen ciertas actitudes ante el ruido ambiental.

En las últimas décadas son numerosas las encuestas realizadas en todo el mundo con fin de conocer los principales efectos del ruido sobre la salud y el bienestar de la población. Sin embargo, dichas encuestas proporcionan resultados difícilmente comparables entre sí debido a diferencias significativas en el diseño del cuestionario y en la metodología de los estudios. Por tanto, en la actualidad cobra especial importancia la necesidad de que las encuestas proporcionen resultados comparables a nivel internacional, de forma que se fomente la acumulación de conocimiento que pueda mostrar las similitudes o diferencias entre diversos países y culturas en cuanto a la valoración de la molestia por ruido ambiental. Sólo obteniendo resultados comparables entre estudios y países se puede valorar la conveniencia y exactitud de las relaciones dosis-efecto a nivel internacional, como las propuestas por la Comisión Europea ([13] y [14]), objeto de un mayor análisis en el siguiente apartado.

Con el fin de obtener resultados que puedan ser valorados a partir de un criterio estandarizado y puedan ser comparables con otros estudios a nivel internacional se ha diseñado una encuesta (*Encuesta de valoración de la respuesta comunitaria frente al ruido ambiental*) [24] que recoge el grado de molestia de la población frente a diversas fuentes de ruido a partir de las preguntas estandarizadas propuestas por Fields [15]. La formulación de estas preguntas, así como sus escalas de respuesta, formuladas en 9 idiomas para su uso internacional, son fruto de un trabajo de diseño y validación llevado a cabo por ICBEN (International Commission on Biological Effects of Noise).

Una vez expuesta la problemática que envuelve la medida del grado de molestia por contaminación acústica, cabe señalar la necesidad de definir cuál es el índice de medida de ruido ambiental más adecuado para relacionar con la molestia, definiendo así las variables principales de las ecuaciones dosis-efecto.

Tradicionalmente se ha señalado como el índice más adecuado al nivel equivalente L_{Aeq} , o alguna de sus variantes como el nivel día-noche, L_{dn} , definido como el nivel equivalente al cual se le ha aplicado una *penalización* (incremento) de 10 dBA a los ruidos ocurridos durante la noche. Ya que los niveles sonoros nocturnos se han demostrado más molestos debido a las alteraciones en el sueño que pueden provocar, el indicador L_{dn} ha sido tradicionalmente el más utilizado en el desarrollo de relaciones dosis-efecto a nivel internacional.

Por otra parte, la Comisión Europea ha definido [16] los atributos que debe poseer un indicador de ruido para su adopción generalizada, con vistas a la proposición de un indicador armonizado para su uso en todos los Estados miembros. Entre estos atributos se encuentra la *validez*, es decir, que se correlacione con los efectos que se pretenden controlar. En ambientes urbanos, donde está en juego una población muy extensa, el

criterio a utilizar se ha basado en la evaluación de la molestia como principal efecto del ruido. El segundo atributo es la *aplicabilidad práctica*, es decir la facilidad para calcularlo a partir de mediciones efectuadas con equipamiento ampliamente disponible. Otros atributos son la *transparencia*, es decir que resulte sencillo de explicar y usar, y la *consistencia* con las prácticas habituales más ampliamente difundidas. A partir de estos criterios, la Directiva 2002/49/CE [5] propone los indicadores de ruido comunes L_{den} y L_{night} , para valorar la molestia de la población y las alteraciones en el sueño, respectivamente. El nivel día-tarde-noche L_{den} en decibelios (dBA) se determina aplicando la fórmula siguiente:

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left(12 \times 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right)$$

Donde:

- L_{day} es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos diurnos de un año.
- $L_{evening}$ es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos vespertinos de un año.
- L_{night} es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año.

Según esta definición, los periodos diurno, vespertino y nocturno duran respectivamente 12, 4 y 8 horas al día, siendo los periodos recomendados por defecto (adaptables a las características de cada Estado miembro) de 7 a 19 h el periodo diurno, de 19 a 23 h el periodo vespertino y de 23 a 7 h el periodo nocturno.

Los indicadores L_{den} y L_{night} son los utilizados en las relaciones dosis-efecto propuestas para su uso en los Estados comunitarios como parte de la información a incluir en los mapas estratégicos de ruido ([13] y [14]). La propuesta de utilización de dichas relaciones dosis-efecto en todos los Estados miembros genera la necesidad de comprobar su validez en países cuya respuesta frente al ruido no ha sido evaluada o no ha sido tomada en cuenta en el desarrollo de estas ecuaciones. Éste es uno de los objetivos de este trabajo.

A continuación se describen con mayor detalle las relaciones dosis-efecto propuestas por la CE para la valoración de la molestia por ruido ambiental.

3. RELACIONES DOSIS-EFECTO. PROPUESTA DE LA COMISIÓN EUROPEA PARA SU USO EN LOS ESTADOS MIEMBROS.

La investigación sobre la molestia producida por ruido ambiental no tiene como único objetivo determinar las variables, tanto acústicas como no acústicas, que influyen en ella, sino que también persigue el desarrollo de modelos de predicción que conjuguen sencillez y exactitud, de forma que puedan ser utilizados por las administraciones públicas competentes en materia de elaboración de mapas sonoros y planes de acción.

En este sentido, en las últimas décadas se han publicado diversos trabajos que, bien desde un enfoque teórico o bien desde la perspectiva de trabajos de síntesis de encuestas psicosociales, proponen relaciones dosis-efecto a partir de la aplicación de diversos modelos estadísticos. Estos modelos ([11], [17]) relacionan la molestia con un indicador de ruido, incorporando en los últimos años parámetros que indican la contribución de otras variables no acústicas (demográficas, sociales o psicológicas).

Con el fin de incorporar en los mapas estratégicos de ruido definidos en la Directiva 2002/49/CE la evaluación del grado de molestia por ruido procedente de medios de transporte, la Comisión Europea publicó en 2002 [5] relaciones dosis-efecto que proporcionan el porcentaje de personas muy molestas (%HA) y molestas (%A) por el ruido procedente del tráfico rodado, aéreo y ferroviario en función del indicador armonizado L_{den} . Estas expresiones, desarrolladas por Miedema y Oudshoorn en 2001 [18], recogen y actualizan el trabajo de síntesis de Fidell, Barber y Schultz [19] tomando los resultados de decenas de encuestas psicoacústicas realizadas en las últimas décadas a nivel internacional. Las relaciones dosis-efecto se calculan por aproximación de una distribución estadística obtenida a partir de un modelo probabilístico de dosis-respuesta. Las siguientes expresiones son las relaciones dosis-efecto obtenidas a partir de dicho ajuste para el ruido de tráfico rodado, la principal fuente de ruido en la ciudad de Granada.

$$\begin{aligned} \%HA &= 9,868 \cdot 10^{-4} (L_{den}-42)^3 - 1,436 \cdot 10^{-2} (L_{den}-42)^2 + 0,5118 (L_{den}-42) \\ \%A &= 1,795 \cdot 10^{-4} (L_{den}-37)^3 + 2,110 \cdot 10^{-2} (L_{den}-37)^2 + 0,5353 (L_{den}-37) \end{aligned}$$

Posteriormente, la Comisión Europea publicó el documento *Position Paper on dose-effect relationships for night time noise* [14] En él se hace una revisión de los principales efectos, tanto instantáneos como crónicos, que los niveles sonoros nocturnos tienen en la población; asimismo, incluye unas relaciones dosis-efecto que valoran el porcentaje de población que muestra elevadas alteraciones del sueño debido al ruido de tráfico rodado o de ferrocarril en función del indicador L_{night} . Estas ecuaciones, desarrolladas por Miedema, Paschier-Vermeer y Vos, se han obtenido a partir de la misma metodología utilizada en el estudio de Miedema y Oudshoorn [18]. A continuación se muestra la expresión que relaciona la molestia durante el periodo nocturno con el indicador L_{night} para ruido procedente de tráfico rodado. %HSD (%Highly Sleep Disturbed) representa el porcentaje de población que muestra elevadas alteraciones del sueño nocturno.

$$\%HSD = 20,8 - 1,05 L_{night} + 0,01486 L_{night}^2$$

Estas ecuaciones han sido propuestas por la CE para su utilización en todos los Estados miembros en el contexto de la elaboración de mapas estratégicos de ruido y sus planes de acción asociados. Sin embargo, algunas características de los trabajos de investigación que condujeron al desarrollo de estas expresiones sugieren la conveniencia de comprobar su grado de exactitud y adecuación en diversos entornos urbanos. Algunos de los motivos son los siguientes:

- Las encuestas en las que se basan estos trabajos son muy antiguas; la mayoría de ellas corresponden a las décadas de los 70 y 80, con escasas contribuciones de encuestas recientes (la más nueva es de 1993). Esto puede distorsionar los resultados, pues las grandes infraestructuras de transporte han evolucionado sensiblemente en los últimos años, como también ha aumentado el uso de los medios de transporte y la conciencia de la sociedad con respecto a la contaminación acústica, por no mencionar el avance tecnológico en materia de monitoreo y predicción del ruido ambiental.
- Dichas encuestas presentan una gran variabilidad en cuanto a formulación de las preguntas y escalas de respuesta, lo cual dificulta la comparabilidad de los resultados con el fin de aglutinar la información en un trabajo de síntesis que posteriormente se utilice como referencia a nivel europeo.
- La mayoría de los estudios dosis-respuesta utilizados se han llevado a cabo en un número limitado de países; concretamente, las ecuaciones para valorar la molestia por ruido de tráfico rodado se han calculado a partir de encuestas elaboradas en Bélgica, Canadá, Francia, Alemania, Holanda, Suecia, Suiza y Reino Unido. El estudio no incluye ninguna encuesta realizada en España, ni en países del sur de Europa como Italia, Portugal o Grecia. Las diferencias culturales entre estos países pueden influir en la percepción de la molestia por ruido ambiental por parte de la población, y puede desaconsejar el uso de las relaciones dosis-efecto propuestas a nivel europeo.

Todos estos motivos impulsan la realización de este trabajo, que persigue por una parte comprobar la fiabilidad de dichas relaciones dosis-efecto en la ciudad de Granada, y por otra parte, iniciar una base de datos de respuesta de la comunidad frente al ruido a partir de un cuestionario diseñado a partir de criterios normalizados.

4. OBJETIVOS

El principal objetivo del proyecto es la valoración de la respuesta comunitaria experimentada por la población frente al ruido ambiental mediante el uso de las relaciones dosis-efecto propuestas por la Comisión Europea para la determinación del grado de molestia asociado a este agente contaminante [18].

Por ruido ambiental se entiende aquel sonido procedente de fuentes externas a la vivienda generado principalmente por el tráfico rodado, actividades industriales, comerciales y de ocio así como obras de construcción en las ciudades. Se excluye el ruido vecinal o comunitario.

De igual forma, con este trabajo se pretende contribuir a la validación de las relaciones dosis-efecto comprobando su adecuación a nuestra zona geográfica y a su uso posterior en la Ley del Ruido y del Reglamento General que la desarrolla en materia de evaluación y gestión del ruido ambiental. ([6] y [20]).

5. METODOLOGÍA

En la realización del proyecto se distinguen dos líneas de actuación principales, condicionadas por la necesidad de relacionar unos índices físicos y medibles como son los niveles sonoros con la percepción subjetiva manifestada por la población frente a los mismos (grado de molestia) para la obtención y verificación de las relaciones dosis-efecto,:

- Determinación objetiva de la situación acústica mediante la medida experimental de los niveles de presión sonora y su estimación mediante técnicas armonizadas contenidas en la normativa. Esta determinación se ha basado en el cálculo de los caudales de tráfico.
- Estimación del grado de molestia experimentado por la población expuesta mediante la realización de un análisis psicosocial basado en los datos obtenidos en una encuesta de opinión.

El proyecto evalúa la respuesta manifestada a causa de la contaminación acústica en la ciudad de Granada. El ámbito de estudio se restringe en esta primera fase del trabajo al distrito Ronda, al ser éste un área representativa de la capital.

Previo a la iniciación del trabajo de campo se concretaron seis puntos de medida distribuidos a lo largo del distrito, en los cuales centrar las actuaciones de determinación experimental de los niveles sonoros y entrega de cuestionarios de opinión. La variabilidad espacial de las ondas de presión sonora debido a su atenuación en el espacio y la necesidad de referir la respuesta manifestada por la población a la situación acústica a la que verdaderamente se ve expuesta para evitar un falseamiento de los datos justifica la adopción de esta acción.

Además en la elección de los puntos de medida se tuvieron en cuenta otros criterios:

- Los puntos debían ser suficientemente representativos y abarcar las distintas realidades acústicas que pudieran darse en el distrito. Para abordar este objetivo las áreas de medición se ubicaron en vías con distinta intensidad de circulación y características espaciales.
- Se evitó la ubicación de los puntos en zonas coincidentes con espacios abiertos tales como plazas o jardines puesto que el sonido puede atenuarse y disminuir así su incidencia.
- Estudios previos concluían que la principal causa de molestia en las ciudades provocada por el ruido ambiental es atribuible al tráfico rodado [21] lo que centró el análisis del proyecto en la vía Camino de Ronda, al ser el principal eje del Distrito, vertebrador del mismo y el que soporta una circulación más densa. Esta vía fue caracterizada situando en ella tres puntos de medida a distinta altura.

La ubicación exacta de los puntos seleccionados se detalla en la siguiente tabla y plano de situación:

Punto 1:	Camino de Ronda, a la derecha de los Paseillos Universitarios
Punto 2:	Camino de Ronda, en la zona cercana a la antigua estación de autobuses Alsina Graells.
Punto 3:	Calle Arabial, en la zona cercana al Edificio Neptuno
Punto 4:	Calle Alhamar, aproximadamente hacia la mitad de la misma
Punto 5:	Calle Pedro Antonio de Alarcón, en la zona próxima al Hotel Corona de Granada.
Punto 6:	Camino de Ronda, en la zona cercana a la Avenida América.

Tabla 1: Localización de los puntos de medida



Figura 1: Ubicación de los puntos de medida en la ciudad de Granada

A) Determinación de los niveles de presión sonora

Para la determinación de los niveles de presión sonora se han utilizado dos métodos complementarios: Predicción a partir de modelos de simulación y medición directa con instrumentación científica.

La comparación de los resultados obtenidos a partir de ambos procedimientos ha permitido comprobar el grado de ajuste entre los mismos.

A.1) Predicción a partir de modelos de simulación.

La predicción de los niveles sonoros se genera con programas de simulación basados en las teorías de emisión y propagación del sonido, permitiendo calcular los niveles sonoros a partir de modelos matemáticos o físicos. Concretamente en nuestro estudio se utilizó el software informático IMMI v5.3.

Para la generación de la base de datos a partir de la cual IMMI estima los niveles sonoros fue necesaria la introducción de datos relativos a variables geométricas del viario del distrito así como datos referentes al caudal horario de vehículos que circulan por el mismo. Para ello se requirió la medición directa del flujo de circulación realizando un conteo manual de cada tipo de vehículos en cada uno de los puntos de medida especificados.

Así se obtuvieron datos del caudal horario de tráfico en cada una de las franjas horarias que establece la legislación (mañana, tarde, noche). Una vez estimados los niveles sonoros IMMI es capaz de representarlos georreferenciadamente en un mapa de la zona (mapas sonoros). El proceso de simulación fue realizado siguiendo las directrices marcadas por la Comisión Europea en lo referente a la elaboración de Mapas de ruido [22].

Cabe destacar que IMMI cumple con las exigencias marcadas por la Directiva 2000/49/CE [5] y la Recomendación de la Comisión 2003/ 613/ CE [23] además de gozar de una máxima fiabilidad debido a su dilatada experiencia en el mercado y respaldo por parte de instituciones públicas. A continuación se muestra el mapa obtenido para el indicador L_{den}

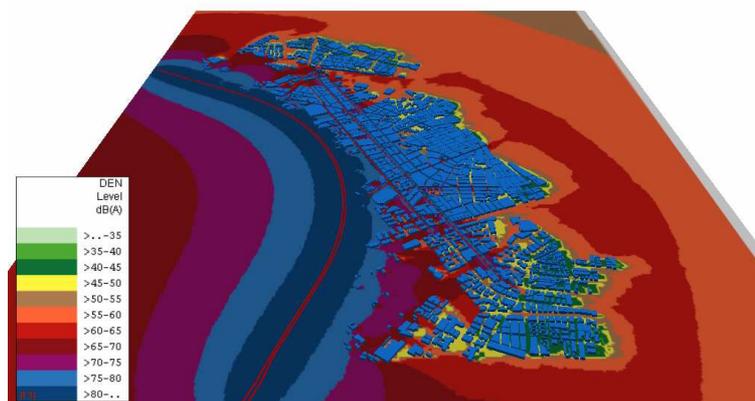


Figura 2: Mapa IMMI 3D de la ciudad de Granada. L_{den} (dBA)

A.2) Medición directa con instrumental científico.

La medida experimental de los niveles sonoros fue realizada con la intención de comprobar el grado de ajuste entre la situación acústica real del distrito y la estimada y verificar así la adecuación de los resultados.

La medida fue realizada con un sonómetro integrador de precisión Tipo 2236, Clase 1, marca Brüel & Kjær., instalado en el primer piso un bloque de edificios situado en la C/ Arabial. El periodo de medida fue de una semana. Se cumple así con las exigencias establecidas en el Decreto 326/2003 respecto a la realización de las medidas experimentales para la determinación de los niveles sonoros [8]. El tratamiento de los datos se realizó con el software informático propio de Brüel & Kjær EVALUATOR.

B) Determinación de la respuesta experimentada por la población

El método de trabajo utilizado para la obtención de los datos relativos a la manifestación experimentada por la población expuesta a la contaminación acústica fue la entrega de cuestionarios de carácter psicosocial a la población residente en la zona de estudio.

Si bien el objetivo principal del cuestionario es la determinación del grado de molestia experimentado por la población, necesario para la obtención de las relaciones dosis-efecto, en la elaboración del mismo se ha considerado la influencia que variables no acústicas presentan en la percepción de los niveles sonoros, introduciendo cuestiones acerca de variables de tipo personal, psicológico y situacionales.

Formalmente la encuesta se divide en seis módulos, cada uno de los cuales se subdivide a su vez en varias preguntas homogéneas tendentes a la interpretación de un aspecto concreto. Así, en un primer grupo de preguntas se adquiere información sobre las características de la vivienda. En un segundo módulo se contempla las características del entorno de la vivienda. El tercer módulo incluye las cuestiones más directamente relacionadas con la valoración del grado de molestia por ruidos. Un cuarto módulo de preguntas trata sobre el efecto del ruido ambiental en los ciudadanos y un quinto módulo sobre la actitud frente al ruido ambiental. Finalmente, se recoge información sobre las características del encuestado. Una información más detallada de la encuesta empleada puede consultarse en [24].

El método usado para el reparto de cuestionarios fue la entrega personal a domicilio. Como criterio de homogenización se seleccionaron aquellas viviendas situadas en las zonas cercanas a los puntos de medida cuya fachada o ventanas estuvieran orientadas al exterior de las vías que estaban siendo objeto de estudio, ya que, teniendo en cuenta la amortiguación de las ondas de presión a su paso a través de distintos materiales se pretendía asemejar la intensidad de incidencia del ruido en los hogares.

Como regla general se entregó un único cuestionario por vivienda que sería recogido tras 48 horas. El grado de participación global fue del 50,75%. Los datos obtenidos en el sondeo de opinión fueron tratados con el programa informático SPSS12.0.

6. RESULTADOS

A continuación se resumen las principales aportaciones derivadas del análisis de la información obtenida en el estudio.

1) Valoración social del ruido

La calidad acústica en el área de residencia es la característica más valorada por la población, con un 24,3% de los encuestados que manifiesta considerar la ausencia de ruidos diurnos como la variable más importante del entorno. Asimismo el ruido es considerado como un agente muy contaminante por el 77,5% de la población.

2) Grado de satisfacción con el entorno y la vivienda

La valoración media que los encuestados dan a las características de su vivienda, con una puntuación media de 62,7 en una escala de 0 a 100, es mayor que la obtenida por su entorno con un 52,2. La característica del entorno que cuenta con un mayor grado de satisfacción entre los residentes del distrito Ronda es la calidad del agua corriente (68,7 puntos en un escala del 0-100) seguida por la presencia de contenedores de recogida selectiva (65,0 sobre 100). Por el contrario, la satisfacción más baja se relaciona directamente con el problema de la acústica ambiental.

3) Efectos del ruido ambiental

El ruido ambiental produce interrupciones en actividades cotidianas realizadas por los ciudadanos. El grado de afección aumenta a medida que la actividad requiere un mayor nivel de concentración. Así un 44,2 % de los encuestados declara que la lectura o estudio se ve interrumpida a menudo o muy a menudo frente al 35,7 % que manifiesta sufrir interferencias en la escucha de televisión y radio con esta frecuencia.

El 35,44% de la población a nivel global del distrito sufre alteraciones durante sueño nocturno a menudo o muy a menudo.

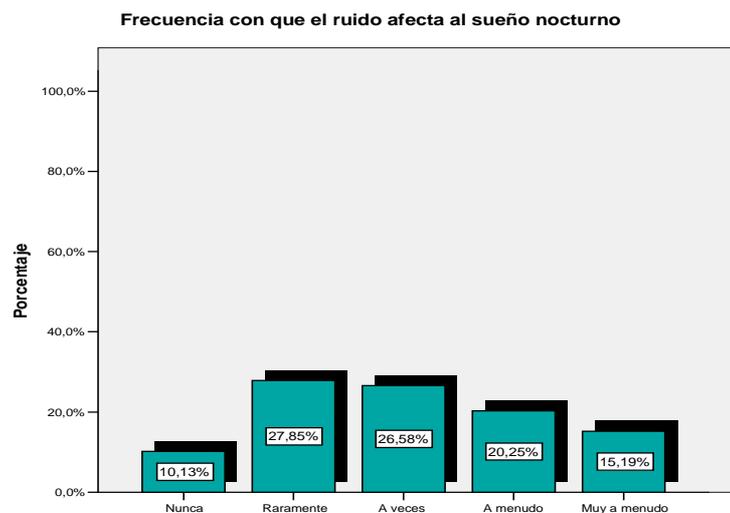


Figura 3: Frecuencia con la que el ruido afecta al sueño nocturno.

4) Efectos sobre la personalidad y rendimiento

Centrando nuestra atención en los efectos producidos sobre la propia persona y tras el análisis de la información recogida en la encuesta, se encuentra que un 29,9 % de los encuestados manifiesta sufrir irritabilidad a menudo o muy a menudo, un 21,1% afirma padecer ansiedad a veces debido a esta causa, mientras que un 16,6% lo manifiesta con una mayor frecuencia. Un 22,07% de los encuestados sufre dolor de cabeza a menudo o muy a menudo a causa de los niveles de ruido existentes

5) Valoración de la molestia

El tráfico rodado es la primera causa de molestia en el distrito Ronda. El porcentaje global de población molesta (%A) atribuible a esta fuente de ruido es del 82,3% mientras que el 55,7% de los encuestados manifiesta estar altamente molesto (%HA). La tipología de vehículo causante de una mayor perturbación son los ciclomotores y motocicletas. El periodo en el cual la población experimenta un mayor grado de molestia es el diurno (7:00h-19:00).

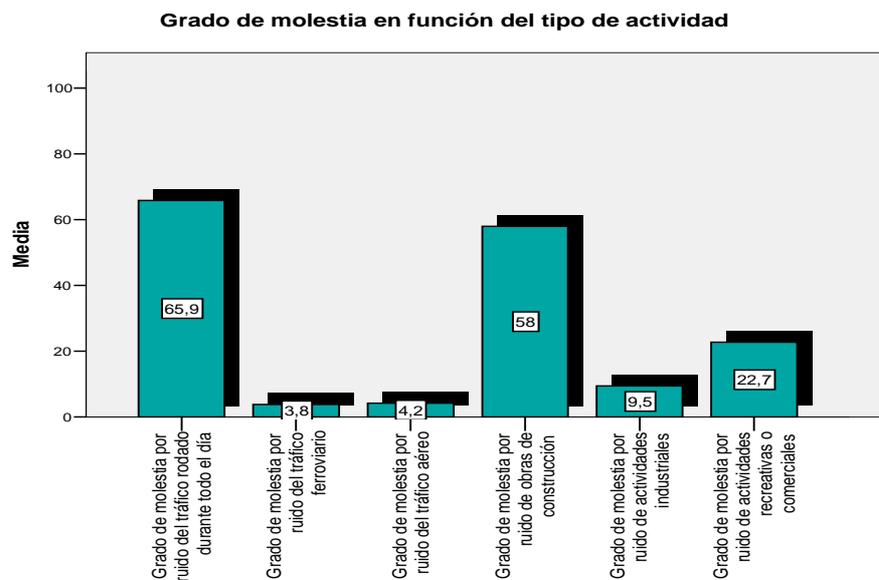


Figura 4: Grado de molestia (escala de 0-100) en función del tipo de actividad.

6) Influencia de variables no acústicas.

Dos de las variables no acústicas que muestran una relación directa con el grado de molestia manifestado por la población son el grado de estrés y sensibilidad frente al ruido ambiental [24]. Podemos concluir que en nuestra área de estudio estos factores presentan una incidencia relevante. Así un 38,3% de los consultados considera ser medianamente sensible a ruido y un 45,6 % muy o extremadamente sensible. De igual modo el porcentaje de población que manifiesta presenta un alto o muy alto grado de estrés es del 44,4%.

7) Validación de las relaciones dosis-efecto

Finalmente se procedió al estudio y comprobación de la adecuación de las relaciones dosis-efecto propuesta por la Unión Europea en nuestra área geográfica.

Para la determinación de las relaciones dosis-efecto fue necesario contar con datos pormenorizados de los niveles sonoros en cada uno de los puntos de medida.

Tal y como ya fue comentado anteriormente la obtención de los mismos fue realizada a través de dos procedimientos: estimación y medida instrumental, cuya comparación serviría para comprobar la fiabilidad de los resultados. La diferencia de 5 dB entre ambos indica la elevada correlación entre ambos y la fiabilidad de la estimación de los niveles sonoros puesto que esta magnitud cae dentro del margen de error experimental.

Los datos sobre niveles de ruido en cada uno de los puntos de medida se detallan a continuación en la siguiente tabla:

Niveles sonoros generados con IMMI (dBA)				
Punto	Lday	Levening	Lnight	Lden
1	73,8	71,9	68,3	76,3
2	73,4	71,9	68,3	76,2
3	74,6	75,0	70,5	78,4
4	67,4	66,5	62,2	70,3
5	74,1	73,9	70,5	78,0
6	74,8	73,2	69,6	77,5

Tabla 2: Niveles sonoros (dBA) estimados con el programa informático IMMI.

A partir de estos resultados se calculó el porcentaje de personas molestas y altamente molestas mediante las ecuaciones propuestas por la UE para el cálculo del grado de molestia debido al tráfico rodado, al ser éste la principal fuente de molestia en el distrito Ronda y responder a un comportamiento reiterado y de elevada incidencia por el elevado caudal de circulación que diariamente transita por esta área de la ciudad, tal y como fue comprobado con la medida del flujo de vehículos. Las aeronaves y tráfico ferroviario no tienen presencia en el distrito.

La comparación de los resultados obtenidos acerca del porcentaje de personas molestas y altamente molestas a partir del cálculo teórico propuesto por la Unión Europea y la incidencia real de la perturbación manifestada por los encuestados en el sondeo de opinión ante la situación acústica a la que se ven expuestos posibilita comprobar la bondad de las relaciones dosis-efecto propuestas por la UE en nuestro área de estudio. Este procedimiento ha sido realizado mediante el empleo del software informático OriginPro 7.0.

Los datos relativos al grado de molestia experimentado por la población en función del punto analizado, obtenidos del análisis de las encuestas que ha servido de base para la verificación de las relaciones dosis-efecto se muestra a continuación:

Porcentaje de personas molestas (%A) y muy molestas (%HA) (encuesta)			
Punto	Lden (dBA)	%HA	%A
1	76,3	65,2	91,3
2	76,2	63,8	84,1
3	78,4	41,1	64,6
4	70,3	85,7	100,0
5	78,0	66,7	66,7
6	77,5	20,0	80,0

Tabla 3: Porcentaje de personas molestas %A y altamente molestas %HA en cada uno de los puntos de medida según datos de las encuestas.

Analizando en primer lugar el caso de personas altamente molestas (%HA), en la gráfica siguiente se muestran los pares de valores L_{den} - %HA obtenidos en los seis puntos de valoración del distrito Ronda con respecto a la ecuación dosis-efecto propuesta en este caso:

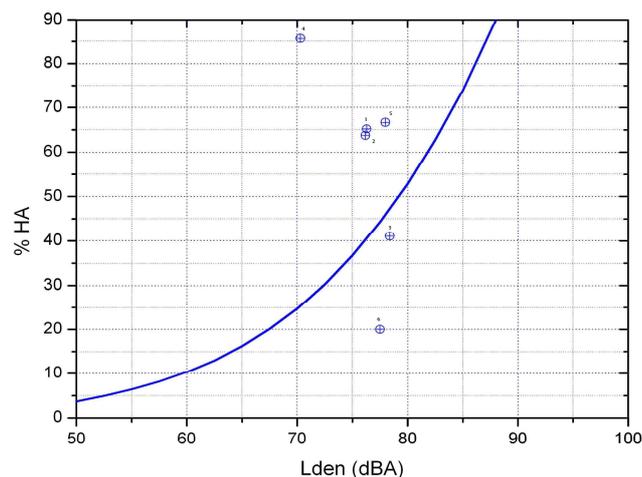


Figura 5: Comparación de la relación dosis-efecto propuesta para la valoración de la alta molestia por tráfico rodado (%HA) con los resultados experimentales obtenidos en el distrito Ronda (Granada)

En los puntos de medida 1, 2, 4 y 5 el porcentaje de personas altamente molestas es mayor que el estimado por la ecuación teórica. Sin embargo en los puntos 3 (Arabial) y 6 (final de Camino de Ronda) se observa la tendencia contraria presentando valores inferiores a los predichos. En el caso de las personas molestas (%A), de nuevo observamos en el gráfico siguiente comportamientos contrarios respecto a la estimación en cada uno de los puntos. Así en el punto de medida 3 (Arabial) y 5 (Calle Pedro Antonio de Alarcón) el grado de molestia está sobreestimado mientras que el resto de puntos (1, 2, 4 y 6) presentan valores de molestia superiores a los predichos de modo teórico.

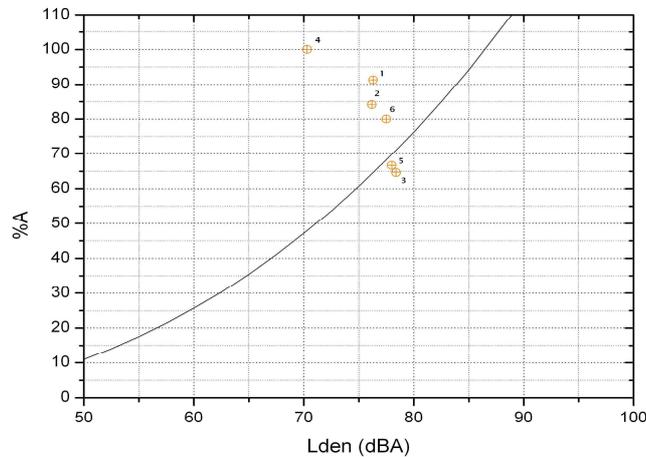


Figura 6: Comparación de la relación dosis-efecto propuesta para la valoración de la molestia por tráfico rodado (%A) con los resultados experimentales obtenidos en el distrito Ronda (Granada)

Finalmente, en cuanto a la alteración del sueño por ruidos de tráfico rodado, dichas alteraciones se evalúan, dependiendo de la encuesta, a partir de la frecuencia con que se sufre alguna de estas alteraciones (despertares bruscos, p. ej.) o del grado de molestia por ruido durante el periodo nocturno.

En este trabajo se ha optado por relacionar el índice L_{night} con la pregunta que valora la frecuencia con que el ruido ambiental afecta al sueño nocturno. El %HSD se ha obtenido a partir del porcentaje de encuestados que en cada punto de medida ha declarado que el ruido ambiental afecta a su sueño “a menudo” o “muy a menudo”. El resultado obtenido es el siguiente:

Porcentaje de personas que sufren alteración del sueño (%HSD) (encuesta)		
Punto	L_{night} (dBA)	%HSD
1	68,3	50,0
2	68,3	26,3
3	70,5	50,1
4	62,2	0,0
5	70,5	33,3
6	69,6	20,0

Tabla 4: Porcentaje de personas que sufre alteración del sueño (%HSD) en cada uno de los puntos de medida según datos de las encuestas.

La comparación entre la ecuación dosis-efecto antes presentada y los resultados obtenidos en el distrito Ronda se muestran en la figura siguiente:

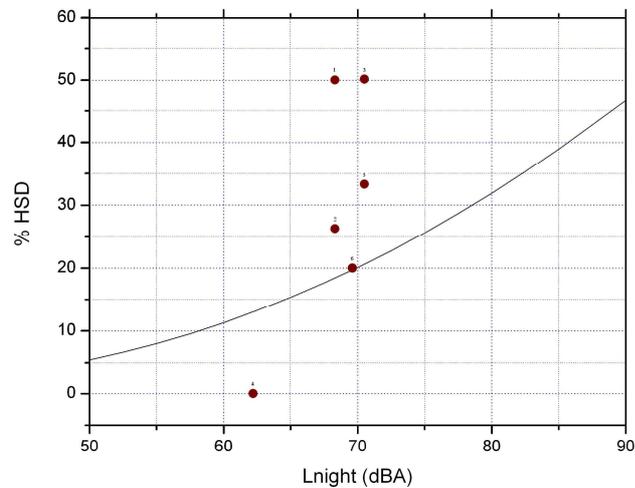


Figura 7: Comparación de la relación dosis-efecto propuesta para la valoración de la alteración del sueño (%HSD) con los resultados experimentales obtenidos en el distrito Ronda (Granada)

Destaca en este análisis la respuesta dada en los puntos 4 (calle Alhamar) y 5 (calle Pedro Antonio de Alarcón). La calle Alhamar es la vía que menos tráfico soporta de las analizadas, disminuyendo de forma especial durante la noche. Tampoco es una zona de especial actividad nocturna o con concentraciones destacables de personas. Estas características pueden explicar el mayor grado de molestia durante el día y la ausencia de molestia durante la noche, como correspondería a una zona tranquila de la ciudad y a unos habitantes acostumbrados a esa tranquilidad. El punto 5 está situado en la parte más tranquila de la calle Pedro Antonio de Alarcón, no demasiado alejado del punto 4, por lo que resulta destacable el contraste de los resultados obtenidos entre ambos puntos.

La relación dosis-efecto presenta en este estudio más puntos donde se subestima la molestia, circunstancia semejante a la obtenida en los casos anteriores.

Destaca igualmente el caso del punto 3, calle Arabial, en el que la molestia nocturna se dispara a los mismos límites que en el Camino de Ronda, vía mucho más transitada y con más agitación que Arabial a lo largo del día. Sin embargo, la presencia de un centro de ocio cercano (Centro Neptuno) con una discoteca de grandes dimensiones, provoca gran acumulación de personas y concentración de vehículos en horas de descanso que ocasiona una respuesta de mayor molestia.

7. CONCLUSIONES

El estudio que nos ocupa se ha centrado en la validación de las ecuaciones polinómicas propuestas por la Unión Europea para el cálculo del grado de molestia experimentado por la población ante los niveles sonoros causados por el tráfico rodado en nuestra área de estudio, el distrito Ronda. El proceso metodológico seguido y las

herramientas empleadas han permitido obtener información complementaria a este objetivo. Las conclusiones del proceso de investigación se resumen a continuación:

- ↪ La comparación de la relación dosis-efecto experimental obtenida en el distrito Ronda con respecto a las ecuaciones propuestas por la Comisión Europea para el cálculo de la molestia, evidencian una clara tendencia a la subestimación de estas relaciones.
- ↪ La extensión de este estudio a todos los barrios y distritos de la ciudad de Granada, en desarrollo actualmente, permitirá conocer si esta tendencia es un comportamiento general de las relaciones propuestas o si se trata de un resultado local. También permitirá decidir sobre el tipo de corrección o modificación que estas relaciones necesitan para ajustarse a la realidad de la zona.
- ↪ La elevada incidencia en el distrito de dos de las variables de tipo no acústico cuya relación directa con el grado de molestia ha sido corroborado, grado de estrés y sensibilidad al ruido, ha podido motivar una sobrestimación por parte de los encuestados del efecto ocasionado por los niveles sonoros a los que se ven sometidos. Ello pone de manifiesto la importancia de la valoración de variables no acústicas en el estudio de la molestia.
- ↪ Las características del entorno con las cuales los residentes del distrito Ronda manifiestan un grado de satisfacción más bajo, son la calidad acústica diurna y nocturna. Sin embargo, la valoración dada a estas dos variables se sitúa entre los primeros lugares al ordenar las características deseables en el medio según orden de importancia. Podemos concluir por tanto que las actuaciones encaminadas a la minimización y control de la contaminación acústica constituyen una importante demanda por parte de los ciudadanos en la ciudad de Granada.
- ↪ La población granadina es un claro reflejo de la tendencia social actual, acerca de la progresiva toma de conciencia de la problemática asociada a los altos índices sonoros. Aproximadamente tres cuartas partes de la población considera el ruido como un agente contaminante.
- ↪ La contaminación acústica dentro del marco de las ciudades tiene una incidencia directa tanto en la propia persona, la cual experimenta afecciones psicósomáticas, como en la actividad diaria que esta desarrolla. Ello ha sido reafirmado por la población residente en el distrito Ronda la cual ha manifestado claramente a través de la encuesta de opinión padecer una serie de afecciones atribuibles.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo se ha desarrollado en el contexto del Plan Propio de Investigación de la Universidad de Granada, Becas de Iniciación a la Investigación 2005, y del Programa de Sostenibilidad Ambiental CIUDAD 21 de la Junta de Andalucía, a través del contrato 2658/2006 de la Fundación Empresa Universidad de Granada.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] GARCÍA SANZ, B.; GARRIDO, F.J.. La contaminación acústica en nuestras ciudades. Fundación “la Caixa”: Colección de Estudios Sociales Num.12 , 2003
- [2] Ecobarómetro de Andalucía (EBA) 2004. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía 2004
- [3] Libro Verde de la Comisión Europea sobre “Política Futura de Lucha contra el Ruido”, Bruselas, 1996.
- [4] Programa de trabajo del programa específico de investigación, desarrollo tecnológico y demostración “integración y fortalecimiento del Espacio Europeo de la investigación”, Comisión Europea, Bruselas, 2002.
- [5] DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre Evaluación y Gestión del ruido ambiental. DOCE L189, 18.07.2002.
- [6] Ley 37/ 2003, de 17 de noviembre, del Ruido
- [7] Proyecto de Real Decreto, por el que se aprueba el reglamento general de desarrollo y ejecución de la ley 37/ 2003 del ruido. 26 de mayo de 2006.
- [8] Decreto 326/ 2003, de 25 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía.
- [9] BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELA, D. Guidelines for Community Noise. World Health Organization (WHO). Geneva, 2000.
- [10] FIELDS, J.M. et al. Guidelines for reporting core information from community noise reaction surveys. Journal of Sound and Vibration, 1997, vol. 206 (5), pp.685-695.
- [11] OUIS, D. Annoyance from road traffic noise: a review. Journal of environmental psychology, 2001, vol. 21, pp.101-120.
- [12] MARTIMPORTUGUÉS, C.; GALLEGO, J.; RUIZ, F.D. Efectos del ruido comunitario. Revista de Acústica, 2003, vol. 34, nº 1 y 2, pp. 31-39.
- [13] EUROPEAN COMMISSION. EU’S FUTURE POLICY, WG2- DOSE/EFFECT. Position Paper on dose-response relationships between transportation noise and annoyance. Luxembourg: Office for the Official Publications of the European Communities, 2002 (ISBN 92-894-3894-0)
- [14] EUROPEAN COMMISSION. WG - HSEA HEALTH AND SOCIO-ECONOMIC ASPECTS. Position Paper on dose-effect relationships for night time noise. 2004.
- [15] FIELDS, J.M. et al. Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: research and a recommendation. Journal of Sound and Vibration, 2001, vol. 242 (4), pp. 641-679.
- [16] EUROPEAN COMMISSION. Position Paper on EU noise indicators. Luxembourg: Office for the Official Publications of the European Communities, 2000 (ISBN 92-828-8953-X)
- [17] MIYARA, F. Paradigmas para la investigación de las molestias por ruido. 1ª Jornadas sobre el ruido y sus consecuencias en la salud de la población. Buenos Aires, 2001.

- [18] MIEDEMA, H.M.E; OUDSHOORN, C.G.M. Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental Health Perspectives*, 2001, vol. 109 (4), pp. 409-416.
- [19] FIDELL, S.; BARBER, D.S.; SCHULTZ, T.J. Updating a dosage-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1991, vol. 89, pp. 221-233.
- [20] Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre por el que se desarrolla la Ley 37/2003 en lo referente a evaluación y gestión del ruido ambiental
- [21] MARTÍN BRAVO, M.A.; BARRERO FERNÁNDEZ, A.I.; RODRÍGUEZ, T.; SORBÍAS, R.. Elaboración de la encuesta y elección de la muestra para el estudio Psicosocial de la molesta ocasionada por el ruido. *TecniAcústica* 2003.
- [22] WG-AEN, EU Working Group Assessment of Exposure to Noise. Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, Final Draft, version 2. 2006
- [23] Recomendación de la Comisión 2003/613/CE.
- [24] Herrera Márquez, O. Análisis de la respuesta comunitaria frente al ruido ambiental mediante el uso de técnicas armonizadas. Aplicación al barrio Centro-Sagrario de la ciudad de Granada. Trabajo de Investigación Tutelada Programa de Doctorado Ciencias y Tecnología del Medio Ambiente, 2005.