

METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL IMPACTO DEL RUIDO DE LOS VEHÍCULOS PESADOS SOBRE LA SALUD HUMANA. APLICACIÓN AL CLÚSTER CERÁMICO DE CASTELLÓN

Moliner, E.; Garraín, D.; Franco, V.^(P)

Abstract

Noise emitted by road traffic is one of the major issues affecting human health and well-being, especially in urban environments.

In our study we develop a methodology to quantify the impact of traffic noise upon human health within the framework of the Life Cycle Assessment methodology. In the first place, sound levels are quantified through the application of emission and propagation models given in terms of traffic characteristics (vehicle flows, speeds, types...) and environmental conditions. Once sound levels are known, the population exposed to excessive noise is quantified by means of GIS (Geographic Information System) technology before the effects of noise upon human health can be assessed using the unit called DALY (Disability-Adjusted Life Years).

This methodology was applied to the industrial cluster comprising the ceramic plants nearby Castellón (Spain) in order to quantify the impacts of noise associated to heavy vehicles transporting ceramic raw materials and finished goods. This methodology may be a useful tool to support authorities in decision-making concerning local action plans.

Keywords: Noise, Traffic, Life Cycle Assessment, Geographic Information System, Ceramic Industry Cluster

Resumen

El ruido emitido por el tráfico es uno de los grandes problemas que afectan a la salud y a la calidad de vida de las personas, especialmente en los núcleos urbanos.

En este estudio se desarrolla una metodología para cuantificar el impacto del ruido de los vehículos sobre el ser humano dentro del marco del ACV (Análisis del Ciclo de Vida). En primer lugar, se cuantifican los niveles sonoros mediante la aplicación de modelos de emisión y propagación del ruido que vienen dados en función de las características del tráfico (flujos, velocidades, tipos de vehículo...) y del entorno. Una vez determinados los niveles de ruido, se cuantifica la población afectada a niveles excesivos mediante la aplicación de tecnología GIS (Sistema de Información Geográfica), para finalmente calcular el valor del efecto del ruido sobre la salud mediante la unidad DALY (Año de vida adaptado por discapacidad).

Esta metodología se ha aplicado al clúster de las industrias cerámicas en la provincia de Castellón para cuantificar los efectos que produce el ruido de los vehículos pesados que transportan materias primas y productos cerámicos. Esta metodología puede resultar útil como herramienta de apoyo a la toma de decisiones sobre los planes de acción locales.

Palabras clave: Ruido, Tráfico, Análisis del Ciclo de Vida, Sistema de Información Geográfica, Clúster Cerámico

1. Introducción

El ruido debe considerarse como un contaminante medioambiental de primer orden con efectos nocivos importantes sobre la salud de la población y su calidad de vida. Su ubicuidad y difícil control hace que esté presente en prácticamente todos los ámbitos de nuestra vida cotidiana y, por lo tanto, estemos expuestos a sus efectos. Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), los niveles a partir de los cuales el ruido puede afectar a la salud son 65 dB(A) equivalentes durante el día y 55 dB(A) equivalentes durante la noche. Son muchos los efectos adversos que elevados niveles de ruido generan al ser humano, como son trastornos auditivos, deficiencias en la comunicación oral, perturbación del sueño, incremento del estrés, efectos sobre el sistema circulatorio y daños en el equilibrio, entre otros [1].

El ruido generado por las infraestructuras de transporte, especialmente por los vehículos, se convierte en uno de los grandes problemas que afectan a la calidad de vida del hombre, de forma más significativa en los núcleos urbanos y en las zonas suburbanas habitacionales aledañas a las carreteras. De acuerdo a estudios realizados en algunos países europeos, de la energía sonora total emitida, el 80% corresponde a vehículos de transporte terrestre.

La mayoría de los estudios realizados en este campo se basan en la cuantificación de los niveles de ruido, en el porcentaje de población expuesta a éstos o en el efecto que causaría sobre el ser humano la exposición a elevados niveles, pero no cuantifican este efecto.

Müller-Wenk es la referencia más significativa en el desarrollo del impacto medioambiental del ruido provocado por el transporte, especialmente el provocado por el tráfico rodado de vehículos. Este autor ha ideado una metodología [2-4] basada en la cadena causa-efecto que analiza cualquier modificación de alguna variable, que interviene directamente sobre un contaminante, registrada en el Inventario del ACV [5], referida sobre la salud humana. Para cuantificar el efecto del ruido sobre la salud utiliza la unidad de medida DALY.

Un DALY puede definirse como un año de vida saludable perdido. Esta es la unidad recomendada por la OMS para cuantificar el peso de las enfermedades y las secuelas en las poblaciones humanas.

Sin embargo, el estudio desarrollado por Müller-Wenk [2-4] consiste en una metodología de análisis exclusivamente a gran escala. De este modo logra cuantificar como los niveles de ruido están afectando a la población. Sin embargo, en el caso de que la afección sea elevada, no permite localizar de forma precisa aquellas zonas críticas donde los niveles de ruido son excesivos.

Además, cabe destacar que el modelo de emisión de ruido utilizado en dicha metodología se queda un poco obsoleto. Esto se debe a que las categorías de vehículos que incluye son mínimas y únicamente tiene en consideración el volumen de tráfico, la velocidad media y la pendiente de la vía, dejando de lado otras variables significativas, como son la temperatura del aire ambiente, la humedad del firme o el tipo de motor.

Con el fin de solventar las limitaciones anteriormente mencionadas, la presente investigación propone una metodología para la estimación del efecto del ruido sobre la salud humana a pequeña escala. Para ello, se utiliza un GIS, que permite mejorar la gestión de la información disponible (explotación de los mapas de ruido), y se implementa un modelo de emisión de ruido de última generación.

2. Metodología

2.1. Componentes del Sistema de Información Geográfica

La metodología se ha desarrollado en torno a un GIS, que puede definirse como “un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión” [6].

El software GIS que se ha incorporado para la implementación del sistema es el ArcView GIS 3.2. Es un programa diseñado de forma modular, que permite añadir, según las necesidades de análisis, extensiones que van aumentando las capacidades de nuestro GIS, ofreciendo optimización de los recursos. Además, permite personalizar la herramienta a todos los niveles, desde el básico a la programación más avanzada.

El GIS debe integrar ciertos elementos clave para el presente estudio: el modelo de emisión de ruido, el modelo de propagación de ruido y el modelo de cuantificación del impacto del ruido sobre la salud humana.

El modelo de emisión de ruido del tráfico rodado es el aportado por el Proyecto IMAGINE [7]. Éste proporciona los valores medios de emisión de ruido en función de la velocidad para cada uno de los tipos de vehículo definidos (ciclomotores, motocicletas, turismos, vehículos de reparto ligeros y pesados, camiones y autobuses, etc.) así como para su conjunto. Para permitir la adaptación del modelo a las particularidades geográficas de las diferentes zonas objeto de estudio, se proponen varios factores de corrección en función de las características ambientales, de la vía o del parque automovilístico.

El modelo de dispersión de ruido que se aplica para las fuentes lineales de emisión es el Modelo de Propagación Cilíndrica, en el que tan solo se considera como factor de atenuación la divergencia geométrica de las ondas sónicas [8-9].

El modelo de cuantificación del impacto del ruido sobre la salud humana considera las personas expuestas a niveles sonoros excesivos. Para expresar el impacto sobre las personas, mediante el indicador DALY, se aplican los factores de conversión DW (pesos de discapacidad) y el porcentaje de población altamente molesta por cada unidad de dB, proporcionados por Müller-Wenk [2-4] y Martín et al. [10] respectivamente.

2.2. Diseño del Sistema de Información Geográfica

Una vez determinados los elementos del GIS, la fase de diseño pasa por integrar todos ellos mediante el software GIS. El diseño experimental se compone de dos fases:

- Fase 1ª: Configuración del software de acuerdo a nuestras necesidades

Se activan aquellas extensiones que se requieran para la realización del estudio. Algunas de estas son: Cad Reader (acceder a los formatos CAD), Geoprocessing (asistente para el análisis espacial) o Edit Tools (herramientas de edición).

En esta fase también puede llevarse a cabo la configuración del software GIS de forma sencilla para facilitar su uso (personalización de la interface: añadiendo menús, eliminando botones, etc.).

- Fase 2ª: Introducción de los modelos de ruido en el GIS

El software posee su propio lenguaje de programación (Avenue) que posibilita la creación de una serie de extensiones donde albergar modelos matemáticos. De este modo, se pueden programar los modelos en el propio software GIS.

Otra posibilidad es implementar los modelos en hojas de cálculo y obtener así los datos que se precisen. A continuación, pueden enlazarse los resultados con el GIS por medio de la conectividad SQL (Structured Query Language) que presenta el software empleado.

Una de las aplicaciones del GIS es utilizarlo para obtener datos objetivos que sirvan de apoyo a la hora de elaborar los planes de acción. De ahí surge la necesidad de configurar el programa, de forma que su manejo sea lo más sencillo posible, para facilitar la tarea a los responsables de elaborar los planes.

Como se ha mencionado, existen dos posibilidades a la hora de integrar los modelos en el sistema: bien programarlos mediante ArcView GIS o bien desarrollarlos mediante hojas de cálculo.

En el caso del modelo de emisión se ha optado por la segunda opción ya que se trata de un modelo bastante complejo cuya programación en Avenue resulta demasiado enrevesada. Por lo tanto, el modelo de emisión se implementa mediante hojas de cálculo, y una vez se obtienen resultados éstos pueden ser trasladados directamente a ArcView gracias a la conectividad SQL.

Por otro lado, el desarrollo de los otros dos modelos se lleva a cabo directamente en el software GIS puesto que, al considerar modelos sencillos, no supone una tarea tan dificultosa como en el modelo de emisión.

2.3. Aplicación del Sistema de Información Geográfica

Una vez diseñado el GIS se pretende demostrar su valía para cuantificar el impacto del ruido de carreteras sobre la salud. Con este fin, se desarrolla un procedimiento experimental que cuantifica el efecto que tiene sobre la población la reducción del flujo de tráfico de vehículos pesados. A continuación, se describe dicho procedimiento en seis fases:

- Fase 1ª: Introducción y organización de la información en el GIS

Para el óptimo funcionamiento del GIS es vital la introducción de la información referente a la zona objeto de estudio. La información debe recogerse y organizarse de forma adecuada, y debe alimentar al sistema de todos los datos que éste requiera para la obtención de los resultados marcados por los objetivos de la investigación. Entre estos datos cabe destacar: la información cartográfica y demográfica correspondiente al área de estudio, la información sobre los niveles de ruido equivalentes asociados a dicha área (mapas de ruido), las características ambientales del entorno, las características de las vías y las del parque automovilístico. De esta forma el GIS constituye la base central de datos para la gestión del ruido.

Generalmente, la información requerida por el sistema es proporcionada por las administraciones competentes. Sin embargo, en ocasiones algunos de estos datos requieren de la realización de medidas en campo, siendo ésta la fase más costosa del estudio puesto que conlleva mucho tiempo y requiere grandes inversiones y mucha mano de obra.

- Fase 2ª: Aplicación del modelo de emisión de ruido

Parte de la información introducida en la primera fase sirve para alimentar al modelo de emisión de ruido: flujo de tráfico por categorías de vehículo, velocidades de circulación, características ambientales, características del parque automovilístico y de

la vía. En base a estos datos el modelo devuelve los valores medios de emisión de ruido para cada una de las categorías de vehículo definidas y para el conjunto de estas.

- Fase 3ª: Aplicación del modelo de propagación de ruido

Los valores de emisión proporcionados en la fase anterior constituyen la entrada para el modelo de propagación. Este último calcula los niveles equivalentes de ruido en función de la distancia a la fuente emisora lineal. La distribución de los niveles de ruido se representa gráficamente por medio del software GIS

- Fase 4ª: Determinación de la población afectada

Utilizando las herramientas de análisis espacial se puede combinar la información cartográfica y demográfica con los niveles de ruido determinados en la fase previa. De este modo se obtienen los valores de población expuesta a cada nivel de ruido.

- Fase 5ª: Determinación del efecto sobre el nivel de ruido al reducir el flujo de tráfico rodado

La reducción sobre el flujo de tráfico que se aplica en este experimento es de un vehículo pesado por hora.

Llegados a este punto, el sistema dispone tanto de la distribución de los niveles sonoros equivalentes generados por el tráfico en su totalidad (mapas de ruido), como de la distribución de los niveles sonoros producidos por una sola fuente (output del modelo de propagación). La reducción del nivel de ruido equivalente asociada a la reducción del flujo de tráfico se puede calcular sustrayendo del nivel sonoro total el nivel sonoro derivado de la fuente considerada (un vehículo pesado).

- Fase 6ª: aplicación del modelo de cuantificación del impacto del ruido sobre la salud

A partir de los resultados obtenidos en las fases precedentes el modelo cuantifica, por medio del indicador DALY, los efectos perjudiciales para la salud que provoca la exposición al ruido del tráfico. De esta forma se puede estimar el efecto beneficioso que se produce sobre la salud humana al reducir el flujo de tráfico en un vehículo pesado.

2.4. Procedimiento de análisis de datos

Es conveniente antes de pasar al análisis de los datos obtenidos del procedimiento experimental llevar a cabo un proceso de clasificación de los mismos. Para ello, se procede a la definición y delimitación de categorías y a la posterior clasificación de los datos en dichas categorías.

Aparecen tres posibilidades a la hora de clasificar los datos:

- Según el proceso del sistema en que intervienen: datos de entrada/salida del modelo de emisión, datos de entrada/salida del modelo de propagación o datos de entrada/salida del modelo de cuantificación del impacto del ruido sobre la salud humana.
- Según su naturaleza: datos cartográficos, datos demográficos, datos sobre el ruido, datos sobre el entorno, datos sobre el parque automovilístico y las vías.
- Según si son entradas al sistema o salidas (obviando su naturaleza y los procesos en que intervienen): datos de entrada del GIS y datos de salida del GIS.

Tras evaluar las diferentes posibilidades, el último método de clasificación expuesto se presenta como la mejor opción, ya que permite identificar y distinguir claramente las diferentes variables objeto de análisis en el estudio. De este modo disponemos de las

variables de entrada y de las variables de salida, que corresponden a los inputs y outputs del GIS respectivamente.

Las variables de salida que mayor peso tienen en este estudio son la distribución de niveles de ruido equivalente y la población expuesta a estos. Mientras que las variables de entrada más relevantes son aquellas sobre las que se puede actuar. Estas últimas constituyen las variables de control, y entre ellas destacan: la velocidad media en la vía y el flujo del tráfico rodado para cada una de las categorías de vehículo.

Una vez registrados los datos adecuadamente y delimitadas las variables más significativas se efectúa su análisis.

El procedimiento analítico empieza con la identificación de las zonas críticas, es decir, aquellas áreas donde las variables de salida alcanzan valores superiores a los recomendados. Por lo tanto, se catalogan como zonas críticas aquellas donde los niveles de ruido exceden los límites aceptables [1] y la población expuesta es considerable.

Tras identificar la zona objeto de estudio, se analiza cómo afecta la modificación de las variables de control sobre las variables de salida. El GIS proporciona una estimación de la reducción sobre el nivel de ruido al reducir el tráfico en un vehículo pesado por hora, así como la población que se ve favorecida por esta reducción. Además, devuelve valores referentes al efecto beneficioso que tiene esta reducción sobre la salud.

Del mismo modo se puede actuar sobre otras variables de control como, por ejemplo, la velocidad de la vía. En este caso, se puede limitar la velocidad y así analizar el efecto que esta reducción produce sobre el nivel de ruido y, en definitiva, sobre la población y su salud.

Actuando gradualmente sobre las variables de control se pueden reducir los niveles sonoros equivalentes hasta conseguir mantenerlos por debajo de los límites recomendables.

2.5. Limitaciones del Sistema de Información Geográfica

El modelo de emisión de ruido utilizado [7] es actual y completo, sin embargo el modelo de propagación [8-9] es más sencillo. Este último tiene en cuenta la atenuación debida a la divergencia geométrica de las ondas sónicas, pero omite algunas variables significativas como son la topografía del terreno, la velocidad y dirección del viento, la absorción atmosférica o la humedad relativa.

También cabe destacar la dificultad que conlleva determinar el efecto que las paredes de los edificios tienen sobre la propagación de las ondas sónicas. Para cuantificar este efecto de forma adecuada, además de considerar el aislamiento de las fachadas, debería conocerse la disposición de la tabiquería en el interior de los edificios y su aislamiento. Por este motivo, la presente investigación se limita al estudio de la población expuesta a nivel de fachada.

Haciendo referencia a este último aspecto, se debe recalcar que la mayoría de metodologías actuales tan solo consideran la propagación de ruido en espacios abiertos.

En este primer estudio, se desestiman los factores mencionados, dejando esta tarea para una futura investigación donde se tratará de desarrollar un modelo más ambicioso.

3. Resultados

Esta metodología se ha aplicado al clúster formado por las industrias en el término municipal de Onda, situado en la provincia de Castellón. Este municipio junto con Vila-Real y Alcora constituyen el mayor eje industrial cerámico de España.

Por medio de la herramienta GIS se pretende cuantificar los efectos que produce el ruido de los vehículos pesados destinados al transporte de materias primas y productos cerámicos sobre la salud humana.

Para la identificación de las zonas críticas se procede al análisis de los mapas de ruido del municipio, efectuando una preselección con las zonas donde los niveles de ruido son excesivos [1].

A continuación, se realiza un estudio de campo sobre las áreas preseleccionadas para caracterizar el tráfico y especificar la población residente. De este modo se descartan aquellas zonas donde los niveles sonoros no son fruto del tráfico pesado o la población expuesta no es significativa.

Siguiendo este proceso, se ha localizado una zona apta para la aplicación de la metodología. Dicha zona está constituida por la Avenida de la Constitución junto con el conjunto de edificios de viviendas colindantes.

Tras recopilar y organizar adecuadamente la información referente a la zona de estudio, se introduce ésta en el GIS. El sistema devuelve una serie de resultados, objeto de análisis, que se presentan a continuación.

El GIS proporciona los niveles de emisión sonora lineal equivalente en función de la velocidad para cada uno de los tipos de vehículo, considerando además los factores de corrección asociados a las características ambientales, de la vía o del parque automovilístico. La tabla 1 muestra estos resultados:

Categoría	Nombre	Descripción	L _{weq} (dB(A)/m) Q = 1vehículo/hora		
			V = 30km/h	V = 40km/h	V = 50km/h
1	Vehículos ligeros (<i>light motor vehicles</i>)	Turismos, vehículos de reparto < 3500kg, vehículos todoterreno, remolques incluidos	52.22	53.01	53.87
2	Vehículos medios (<i>medium-heavy vehicles</i>)	Vehículos de reparto > 3500kg, autobuses, autocaravanas, etc. con dos ejes	57.22	57.56	58.06
3	Vehículos pesados (<i>heavy vehicles</i>)	Camiones pesados, autobuses y caravanas con tres o más ejes	60.23	60.48	60.89
4	Motocicletas (<i>powered two-wheelers</i>)	4a. Ciclomotores, triciclos o quads de 50cc	62.00	63.06	64.50
		4b. Motocicletas, triciclos o quads > 50cc	65.37	65.52	66.00

Tabla 1. Niveles de emisión sonora en función de la velocidad y según categorías de vehículo.

Se puede observar como a medida que se aumenta la velocidad de circulación el nivel de emisión de ruido asciende. También se aprecia como los vehículos pesados

poseen un nivel de emisión elevado. Solo los vehículos de la categoría 4 (ciclomotores, motocicletas, etc.) producen una potencia sonora mayor que los vehículos pesados, sin embargo el flujo de los primeros es despreciable frente al resto. Es por ello, que el presente estudio se centra en la evaluación del impacto del ruido de los vehículos pesados.

A partir de los niveles de emisión, el modelo de propagación del sistema calcula el nivel de ruido equivalente en función de la distancia a la fuente emisora considerada. En la tabla 2 se reflejan estos valores para la categoría de vehículos pesados (CAT3):

Nivel Sonoro Eq. (dB(A))	Distancia Radial (m)		
	V = 30km/h	V = 40km/h	V = 50km/h
60 – 65	< 0.1	< 0.1	< 0.1
55 – 60	0.1 – 0.5	0.1 – 0.5	0.1 – 0.6
50 – 55	0.5 – 1.6	0.5 – 1.7	0.6 – 1.9
45 – 50	1.6 – 5.2	1.7 – 5.6	1.9 – 6.1
40 – 45	5.2 – 16.7	5.6 – 17.7	6.1 – 19.4
35 – 40	16.7 – 52.9	17.7 – 56.0	19.4 – 61.5
< 35	> 52.9	> 56.0	> 61.5

Tabla 2. Niveles de propagación sonora en función de la distancia a la fuente emisora (CAT3).

En el gráfico de la figura 1 puede contemplarse la atenuación del nivel sonoro con la distancia a la fuente lineal, debido a la divergencia geométrica de las ondas sónicas:

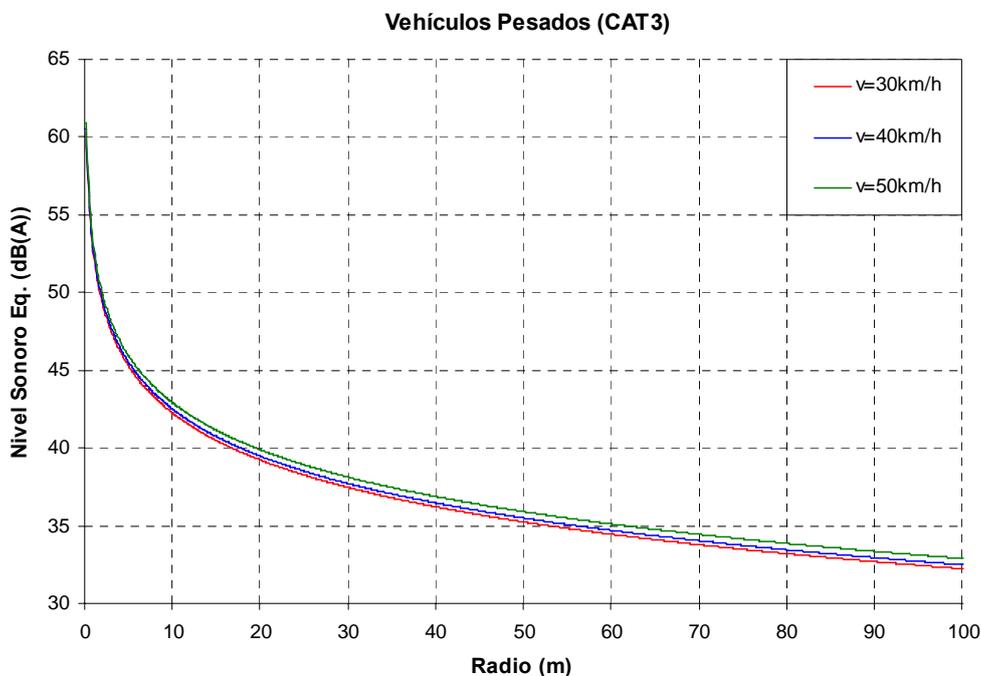


Figura 1. Nivel Sonoro Equivalente en función de la distancia a la fuente emisora (CAT3).

Se puede observar que la atenuación es muy pronunciada durante los primeros metros, pero se va amortiguando a medida que las ondas se alejan de la fuente emisora.

El GIS permite representar estos resultados gráficamente, generando un mapa de dispersión de ruido equivalente sobre la zona de estudio, tal y como se expone en la figura 2:

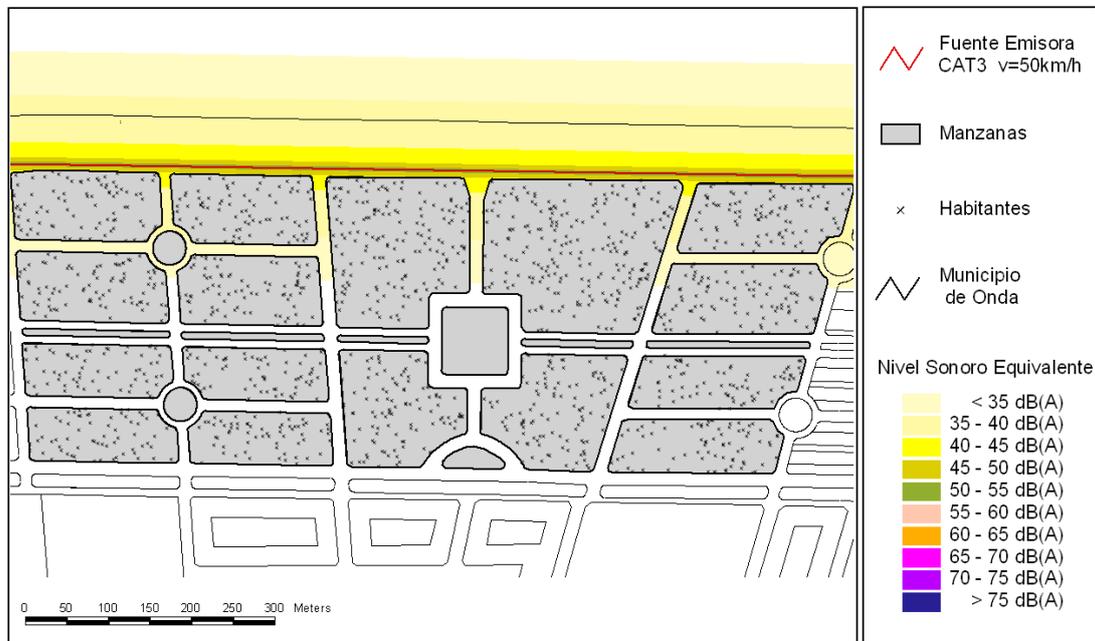


Figura 2. Niveles de propagación del ruido emitido por un vehículo pesado circulando a una velocidad de 50 km/h por la Avenida de la Constitución (Onda).

En el mapa de la figura 2 los niveles de propagación representados corresponden al nivel de ruido equivalente originado por un flujo de un vehículo pesado por hora circulando a 50km/h por la Avenida de la Constitución. Se puede observar también en que proporción afectan los distintos niveles de ruido a los residentes de las viviendas de la zona objeto de estudio.

Aplicando las herramientas de análisis espacial se puede estimar la población expuesta a los diferentes niveles de ruido equivalente. La figura 3 proporciona los valores de población expuesta a nivel de fachada:

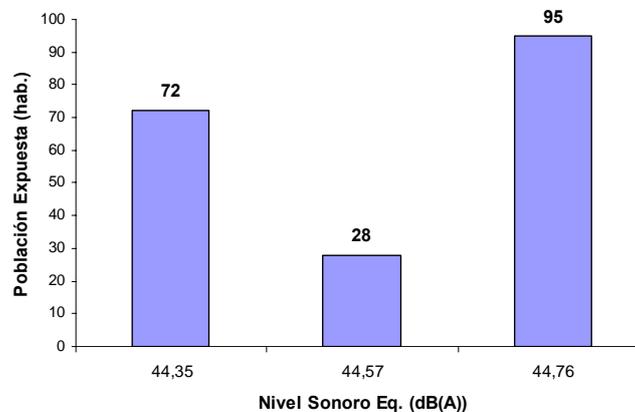


Figura 3. Población expuesta a nivel de fachada para los niveles sonoros equivalentes producidos por un vehículo pesado por hora (CAT3) circulando a 50 km/h.

Los niveles sonoros que se muestran en la figura 3 son los proporcionados por el modelo de propagación para las condiciones definidas anteriormente (un flujo de tráfico de un vehículo pesado por hora circulando con una velocidad de 50km/h).

Mediante una campaña de medición "in situ" [11] se obtiene el nivel de ruido equivalente a nivel de fachada en la zona de estudio (L_{peq} de 1 hora). A partir de estos valores se logra calcular la reducción sobre el nivel sonoro equivalente al extraer un vehículo pesado del flujo de tráfico correspondiente a una hora. La tabla 3 presenta estos resultados:

L_{peq} de 1 hora (dB(A)) (Q_t =tráfico total)	L_{peq} de la fuente lineal unitaria (dB(A)) (Q_{CAT3} =1 veh. CAT3/hora ($v=50$ km/h))	ΔL_{peq} (dB(A)) ($\Delta Q = Q_t - Q_{CAT3}$)	Población Expuesta (habitantes)
70.90	44.35	0.0096	72
70.90	44.57	0.0101	28
70.90	44.76	0.0106	95

Tabla 3. Reducción del nivel sonoro equivalente (a nivel de fachada) al reducir el flujo de tráfico en un vehículo pesado ($v=50$ km/h) por hora y población favorecida por dicha reducción.

Por medio del modelo de cuantificación del impacto del ruido sobre la salud, y a partir de los valores obtenidos del incremento del ruido y de población expuesta, el sistema calcula el beneficio que supone para la salud humana la reducción del tráfico propuesta. En la tabla 4 se expresa este beneficio mediante la unidad DALY:

ΔL_{peq} (dB(A))	Población Expuesta (habitantes)	DW	%HA/dB	DALY
0.0096	72	0.033	3	0.00069
0.0101	28	0.033	3	0.00028
0.0106	95	0.033	3	0.00100
Efecto beneficioso sobre la salud humana				0,00196

Tabla 4. Efecto beneficioso sobre la salud humana (en unidades DALY) derivado de la reducción del flujo del tráfico en un vehículo pesado por hora.

Además de los datos de incremento de ruido y población expuesta, el modelo requiere de los pesos de discapacidad (DW) [2-4] y del porcentaje de población altamente molesta por unidad de dB (%HA/dB) [10]. Estos valores también se adjuntan en la tabla 4.

Finalmente, el efecto beneficioso total se obtiene sumando los efectos obtenidos para las diversas reducciones del nivel sonoro equivalente sobre las diferentes fachadas.

4. Conclusiones

Los resultados alcanzados en el experimento anterior confirman que una reducción sobre el flujo del tráfico supone un decremento del nivel sonoro equivalente. Como consecuencia de ello se origina un efecto favorable sobre la salud que ha sido expresado por medio de la unidad DALY.

Asimismo, se puede observar como a medida que se disminuye la velocidad de circulación de los vehículos, el nivel sonoro equivalente se ve reducido y, por lo tanto, los efectos perjudiciales sobre la salud también son menores.

En este experimento se ha simulado una reducción del flujo de tráfico de un vehículo pesado por hora lo cual supone una disminución del nivel de ruido casi imperceptible. Sin embargo, esta metodología permite actuar gradualmente sobre las variables de control para reducir los niveles sonoros equivalentes hasta conseguir mantenerlos dentro de los límites aceptables [1].

En el presente estudio se contemplan el flujo del tráfico y la velocidad de circulación como las principales variables sobre las cuales actuar.

Existen dos motivos primordiales que llevan a considerar éstas como las principales variables de control. Por un lado, acostumbran a ser las variables que mayor peso tienen sobre el nivel de ruido equivalente. Otro aspecto es que son las más viables a la hora de establecer medidas correctoras para la mejora de la situación acústica en el ámbito de aplicación de la metodología propuesta. La metodología ha sido desarrollada para aplicarse en los núcleos urbanos o en zonas suburbanas habitacionales aledañas a las carreteras. En dichas zonas es poco frecuente la implantación de pantallas acústicas debido a su impacto estético. Por otro lado, la implantación de superficies de rodadura absorbentes (asfaltos porosos) supone una gran inversión y además debe tenerse en cuenta el impacto de la obra y el elevado coste de mantenimiento de la vía [11]. Además, poseen un potencial de reducción limitado, y la relación de costes y beneficios es relativamente alta, constituyendo una medida inviable en la mayoría de los casos.

Las medidas correctoras que se tantean son, por lo tanto, inherentes al flujo de tráfico o a la velocidad de circulación: redirigir el tráfico de vehículos pesados o restringirlo a ciertas horas, designar zonas con velocidad limitada o combinar ambos tipos de medidas.

Por lo tanto, el GIS permite realizar toda una serie de experimentos virtuales. La consecuencia de estos experimentos es una sucesión de resultados que, tras su análisis, revelan posibles soluciones para reducir el impacto del ruido.

Como ya se comentó anteriormente, el modelo de propagación de ruido consideraba la atenuación debida a la divergencia de las ondas sónicas. En futuras investigaciones se pretende incorporar otros factores como son la topografía del terreno, la absorción atmosférica o la humedad relativa.

Además se observa la posibilidad de, más adelante, incorporar en el GIS un software de predicción de ruido para la obtención de los niveles de ruido equivalente. La medición de ruido en el campo no es una tarea fácil, conlleva mucho tiempo y requiere grandes inversiones y mucha mano de obra. Mediante el software de predicción de ruido se podría simplificar todo el proceso de recopilación e introducción de la información y, de este modo, aumentar de forma considerable la cantidad de experimentos a realizar por medio de la metodología desarrollada.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados, la metodología propuesta constituye una herramienta de apoyo útil para la toma de decisiones sobre los planes de acción locales.

Referencias

- [1] OMS "Guidelines for Community Noise", *Organización Mundial de la Salud*, Ginebra, 1999.
- [2] Müller-Wenk, R. "Life-cycle impact assessment of road transport noise", *IWÖ, Universität St. Gallen*, Switzerland, 1999.
- [3] Müller-Wenk, R. "Attribution to road traffic of the impact of noise on health", *Environmental series n. 339*, SAEFL, Berne, Switzerland, 2002.
- [4] Müller-Wenk, R. "A method to include LCA road traffic noise and its health effects", *International Journal of Life Cycle Assessment* 9 (2), 2004, 76-85.
- [5] UNE-EN ISO 14040:2006. "Gestión ambiental – Análisis de ciclo de vida – Principios y marco".
- [6] Bosque Sendra, J. "Sistemas de Información Geográfica", *Ed. Rialp*, Madrid, 1997, 451 págs., ISBN: 84-321-3154-7.
- [7] IMAGINE. "The noise emission model for European road traffic" *Deliverable n. 11 of the IMAGINE (Improved Methods for the Assessment of Generic Impact of Noise in the Environment) Project*, 2007 (disponible en <http://www.imagine-project.org>).
- [8] ISO 9613-1. "Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere".
- [9] ISO 9613-2. "Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part2: General method of calculation".
- [10] Martín, M.A., Tarrero, A., González, J., Machimbarrena, M., "Exposure effect between road traffic noise cost evaluations in Valladolid, Spain", *Applied Acoustics* 67, 2006, 945-958.
- [11] Cueto Ancela, J.L. "Guía para la realización de mapas estratégicos de ruido y planes de acción" *Laboratorio de Ingeniería Acústica de la Universidad de Cádiz (L.A.V.)*

Agradecimientos

Este estudio ha sido parte del proyecto con referencia C46/2006 titulado "Desarrollo de categorías de impacto aplicadas a materiales cerámicos usando la metodología del análisis del ciclo de vida", subvencionado por el Ministerio de Fomento.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Enrique Moliner Santisteve.
GID – Grupo de Ingeniería del Diseño.
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I.
Av. Sos Baynat, s/n. E-12071 Castellón.
Tel. +34 964729252 Fax +34 964728106
e-mail: kike.moliner@uji.es
URL: <http://www.gid.uji.es>

Daniel Garraín Cordero.
GID – Grupo de Ingeniería del Diseño.
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I.

Vicente Franco García.
GID – Grupo de Ingeniería del Diseño.
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I.