

LA CATEGORÍA DE IMPACTO DE RUIDO EN LOS ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Garraín, D.^(P); Franco, V.; Vidal R.; Moliner, E.; Casanova, S.

Abstract

The Life Cycle Assessment (LCA) methodology is used to evaluate environmental impacts by grouping the negative effects upon the environment of a given product or process into a reduced set of impact categories. Global warming, ozone layer depletion, fossil fuel depletion and acidification are the most typical of these categories. Unfortunately, reliable methodologies are lacking for the assessment of some categories, as is the case of noise.

Considering that transport and housing are cornerstones of the world production system, traffic noise is one of the categories that is likely to gain relevance in the near future, given its effects upon human health.

In our work, several studies about noise in the LCA methodology are analysed. Also, the guidelines to include noise in the environmental assessment of products and processes within the LCA methodology are presented. Finally, the DALY (Disability Adjusted Life Year) is supported as the best unit to measure the negative impacts of noise upon human health.

Keywords: Noise, Life Cycle Assessment, Impact Category, DALY

Resumen

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología que evalúa el impacto medioambiental agrupando los efectos negativos sobre el medio de un producto o proceso en un número reducido de categorías medioambientales, siendo las más habituales el efecto invernadero, la disminución de la capa de ozono, el agotamiento de recursos fósiles o la acidificación. Lamentablemente, aún no han sido desarrolladas metodologías fiables para analizar algunas categorías, como la referida al ruido.

Teniendo en cuenta que el transporte o la vivienda son piezas fundamentales en el sistema productivo mundial, una de las categorías que va a adoptar mayor relevancia en el futuro – atendiendo a los efectos sobre las personas – será el ruido del tráfico.

En este trabajo se analizan varios estudios que consideran la categoría de ruido dentro del marco del ACV. Además, se resaltan las directrices que son precisas seguir para que esta categoría se incluya en los estudios medioambientales de productos y procesos. Finalmente, se considera el DALY (Años de Vida Adaptados por Discapacidad) como la mejor unidad de medida de los impactos negativos del ruido sobre el ser humano.

Palabras clave: Ruido, Análisis del Ciclo de Vida, Categoría de Impacto, DALY

1. Introducción

1.1 ACV y categorías de impacto

En las últimas décadas ha surgido entre la población una conciencia medioambiental que ha generado estrategias y metodologías capaces de evaluar el impacto al medio para conseguir una posterior disminución de contaminantes.

Una de las herramientas más ampliamente aceptada por la comunidad científica para evaluar el impacto medioambiental es el ACV, un procedimiento analítico que evalúa el ciclo de vida completo de un proceso o actividad. Según la norma UNE-EN ISO 14040:2006 [1], el ACV *“trata los aspectos ambientales e impactos ambientales potenciales (por ejemplo, el uso de recursos y las consecuencias ambientales de las emisiones) a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, uso, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final (es decir, de la cuna a la tumba)”*. Una ventaja clara de la metodología es que permite detectar situaciones en las que un determinado sistema parece *más limpio* que otro simplemente porque transfiere las cargas ambientales a otros procesos o región geográfica, sin un mejoramiento real desde el punto de vista global (fenómeno conocido como *“problem shifting”*) [2].

Mediante este método, la composición y las cantidades de contaminantes generados y de recursos consumidos pueden valorarse en términos de sus impactos al medio ambiente, agrupándolos en un número reducido de categorías medioambientales. Las categorías de impacto más habituales consideradas en los ACV de procesos o productos son el efecto invernadero, la disminución de la capa de ozono, el agotamiento de recursos fósiles, la acidificación, la eutrofización, la ecotoxicidad humana y ambiental, los precursores de ozono troposférico o las emisiones de metales pesados. Lamentablemente, aún no han sido desarrolladas metodologías fiables para analizar algunas categorías como el impacto sobre el uso de suelo, el impacto visual o paisajístico, el impacto del olor o el impacto del ruido. Estas últimas categorías de impacto no siempre se consideran o simplemente no se adecuan a la realización de evaluaciones del impacto medioambiental. Todo ello, junto con la escasa disponibilidad de datos, ha motivado que la aplicación de indicadores referidos a estas categorías resulte, todavía hoy en día, una tarea ardua y compleja debido a que existe una gran indefinición sobre los parámetros a considerar y la metodología a seguir.

Considerando que el transporte o la vivienda son piezas fundamentales en el sistema productivo mundial, una de las categorías que va a adoptar mayor relevancia en el futuro – atendiendo a los efectos sobre las personas – será el ruido del tráfico de vehículos.

1.2 Efectos del ruido sobre el ser humano

El ruido se ha convertido en uno de los grandes problemas que afectan a la calidad de vida de las personas, de forma más significativa en los núcleos urbanos y las zonas adyacentes a las grandes infraestructuras viarias debido al ruido generado por los vehículos. Se estima que más del 80% del ruido generado en las ciudades es atribuible a los vehículos de motor. En nuestro entorno, el problema es especialmente grave ya que un informe de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) de 1986 ya situaba al estado español en el segundo puesto del ranking de países más ruidosos del mundo desarrollado, por detrás de Japón.

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), los niveles a partir de los cuales el ruido puede afectar a la salud humana son 65 dB (A) equivalentes durante el día y 55 dB (A) equivalentes durante la noche. Son muchos los efectos físicos y psíquicos adversos que elevados niveles de ruido pueden generar en el ser humano: a los evidentes trastornos auditivos se suman deficiencias en la comunicación oral, perturbación del sueño, incremento del estrés, daños en el sistema circulatorio y efectos en el equilibrio, entre otros. También puede afectar negativamente a las relaciones familiares y vecinales, reducir el valor patrimonial de una vivienda o interferir en los derechos fundamentales de intimidad personal y familiar y a la inviolabilidad del domicilio. Esta situación ha propiciado que en diversos países europeos se estén estableciendo normas rigurosas que limitan la cantidad de ruido que sufre la población, dependiendo de la actividad que esté realizando y del período del día.

2. El ruido en los ACV

La mayoría de los estudios sobre ruido ambiental realizados en todo el mundo se centran en la cuantificación o predicción del mismo, en la estimación del porcentaje de población expuesta a diferentes niveles, o bien, en la descripción de sus efectos sobre las personas, pero muy pocos intentan relacionar la emisión de un ruido concreto con su impacto real y medible sobre las personas.

La referencia más significativa en el desarrollo del impacto del ruido provocado por el tránsito de vehículos es el profesor suizo Rudolf Müller-Wenk. Con su trabajo [3-5] ha conseguido desarrollar una metodología para cuantificar el efecto del ruido sobre la salud con la unidad de medida DALY e incorporarlo en los ACV. No obstante, otros autores, como Gabor Doka [6] o los daneses Nielsen & Laursen [7], han desarrollado otro tipo de metodología para evaluar el impacto real sobre la salud.

Las características principales de los citados métodos se presentan a continuación.

2.1 Metodología de Müller-Wenk

El método desarrollado por Müller-Wenk [3-5] está basado en la metodología de la *cadena causa-efecto* que consiste en analizar cualquier modificación de alguna variable que interviene directamente sobre un contaminante, registrada en la fase del inventario del ciclo de vida (ICV) y referida sobre la salud humana. El procedimiento para la creación de esta cadena es el siguiente.

- El *análisis de destino*, que describe el incremento de la concentración de contaminante, en este caso acústico (nivel de ruido), causado por la modificación de alguna variable registrada en el ICV.
- El *análisis de exposición*, que muestra cuánta población está afectada por esta modificación y qué cantidad está exenta.
- El *análisis de efecto*, que describe el efecto incremental sobre la salud que ocurriría si los seres humanos están expuestos a un cierto incremento de concentración del contaminante (ruido) durante un período de tiempo.
- El *análisis de daños*, que describe la extensión total de daño a la salud humana que está representada por los arriba mencionados efectos para la salud.

El modelo de emisión del ruido del tráfico, que aplica en el método, es el desarrollado por SAEFL (*Swiss Agency for Environment, Forest and Landscape*) [6]. Se trata de un modelo sencillo en el que el ruido de emisión de una carretera (LA_{eq}) es función del ruido de los coches (LE1) y de los camiones (LE2) que, a su vez, dependen del volumen de tráfico (N1 y N2), de la velocidad media (V1 y V2) y de la pendiente de la vía (i), según las ecuaciones siguientes.

$$LA_{eq} = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot LE1} + 10^{0,1 \cdot LE2}) \quad (1)$$

donde:

$$LE1 = E1 + 10 \cdot \log N1 \quad (2)$$

$$LE2 = E2 + 10 \cdot \log N2 \quad (3)$$

$$E1 = \max[\{12,8 + 19,5 \cdot \log V1\}, \{45 + 0,8 \cdot (0,5 \cdot i - 2)\}] \quad (4)$$

$$E2 = \max[\{34 + 13,3 \cdot \log V^2\}, \{56 + 0,6 \cdot (0,5 \cdot i - 1,5)\}] \quad (5)$$

Una vez se tiene el resultado del nivel global de emisión, el primer paso de la cadena consiste en recalculer el valor anterior añadiendo, en este caso, un aumento proporcional al inicial del flujo de vehículos. La diferencia entre los dos valores de niveles globales de emisión es ΔLA_{eq} , el cual indica el ruido que provoca la adición de un aumento proporcional de vehículos.

El transporte que debe evaluarse no se considera como un único evento aislado, sino más bien como una pequeña parte del aumento anual de la densidad de tráfico en toda la red de carreteras de una región o país. Según el autor, existen estadísticas que muestran que el aumento anual del tráfico de los distintos caminos, como una primera aproximación, es proporcional al nivel de tráfico del año anterior. Los cálculos, así como consideraciones teóricas ponen de manifiesto que el cálculo de ΔLA_{eq} es más o menos constante en todos los segmentos de carreteras de la red, con pequeñas diferencias atribuibles a diferentes velocidades de los distintos vehículos y a las propiedades de la superficie. De hecho, el ΔLA_{eq} por el aumento de un vehículo por hora es más o menos proporcional a la primera derivada del logaritmo del número de vehículos (N), que es proporcional a su inversa (1/N). Pero si el aumento del tráfico por carretera en cada segmento es proporcional a N, en lugar de una constante de una unidad mayor de vehículos, el correspondiente ΔLA_{eq} es proporcional a N por su inversa [N·(1/N)], quedando independiente de N, considerándose por lo tanto, el mismo valor en carreteras de con altos y bajos volúmenes de tránsito.

El segundo paso consiste en calcular el número de población expuesta a niveles excesivos de ruido. Para ello se basó en un modelo informático para hallar los datos de exposición al ruido de carreteras disponible para el cantón de Zúrich (que abarca aproximadamente un sexto de la población suiza). Extrapolando los resultados para esta zona, obtuvo los correspondientes datos de exposición de personas en toda Suiza.

Posteriormente obtuvo los valores subjetivos de molestia, que en este caso provienen de encuestas realizadas a personas expuestas al ruido del tráfico, en las que se les preguntaba directamente si se veían altamente molestas por el ruido y si éste les perturbaba tanto el sueño (para cuantificar los efectos nocturnos) como la comunicación oral (para cuantificar los efectos diurnos). Müller-Wenk llega a la conclusión de que la aproximación del porcentaje de personas que declaran sufrir trastornos del sueño aumenta linealmente un 1,7% por dB comenzando en una noche al aire libre con un nivel de 46 dB. En el caso del día, en la curva de la perturbación obtenida, el porcentaje aproximado de personas que se declara a sí mismos víctimas de perturbación en la comunicación oral aumenta linealmente un 2,5% por dB en un día al aire libre con un nivel de 55 dB.

Los últimos pasos consisten en cuantificar el efecto y los daños sobre la salud humana. Utilizando los datos anteriores de exposición y molestia junto con los denominados pesos de discapacidad (DW, del inglés *Disability Weights*), obtiene los valores de daño sobre la salud en unidades DALY, o lo que es lo mismo, los años de vida ajustados o adaptados con una discapacidad (ver punto 4).

2.2 Metodología de Doka

Según el autor suizo Gabor Doka [7], no existe ninguna relación lineal entre el valor de decibelios que provoca el ruido y los efectos sobre la salud humana. El decibelio es una medida logarítmica de la energía acústica. Por lo tanto, no se puede tener un simple factor de caracterización típico de los ACV que multiplica de inmediato con un valor de decibelios y obtener un DALY.

La metodología propuesta por este autor ha conseguido adaptar el concepto de Müller-Wenk [3-5] para lograr estar en condiciones de calcular los DALY para diferentes modelos de turismo provocados por el ruido en Suiza. Para ello ha tomado aproximaciones razonadas para llegar a una fórmula simplificada de la medida del daño en DALY por vehículos-kilómetro (vkm - obtenido del producto del número de vehículos de la red viaria estudiada por la distancia recorrida en un determinado tiempo) en función del ruido de emisión medido en decibelios, según la ecuación 6.

$$\text{Daño} \left[\frac{\text{DALY}}{\text{vkm}} \right] = K \cdot 10^{(a \cdot L_p + b)} \quad (6)$$

La definición de los términos es la siguiente:

- L_p es la unidad estándar de medición del ruido por valor de prueba, medido en dB.
- a , b y K son los parámetros de la regresión según el período del día en el que se realice el viaje:

Parámetro	Unidad	Viaje medio (7% de vkm por la noche)	Viaje durante el día	Viaje durante la noche
a	1/dB	0,099962	0,09998766	0,999043
b	adimens.	-6,243371	-6,3738654	-5,5943622
K	DALY	1,23406E-07	7,60872E-07	2,30486E-07

Tabla 1. Valores de los parámetros de regresión de la fórmula de Doka [7].

A partir de diferentes valores de ruido de emisión se podrá, por tanto, calcular el valor de los DALY por vkm, obteniendo gráficas como la observada en la figura 1.

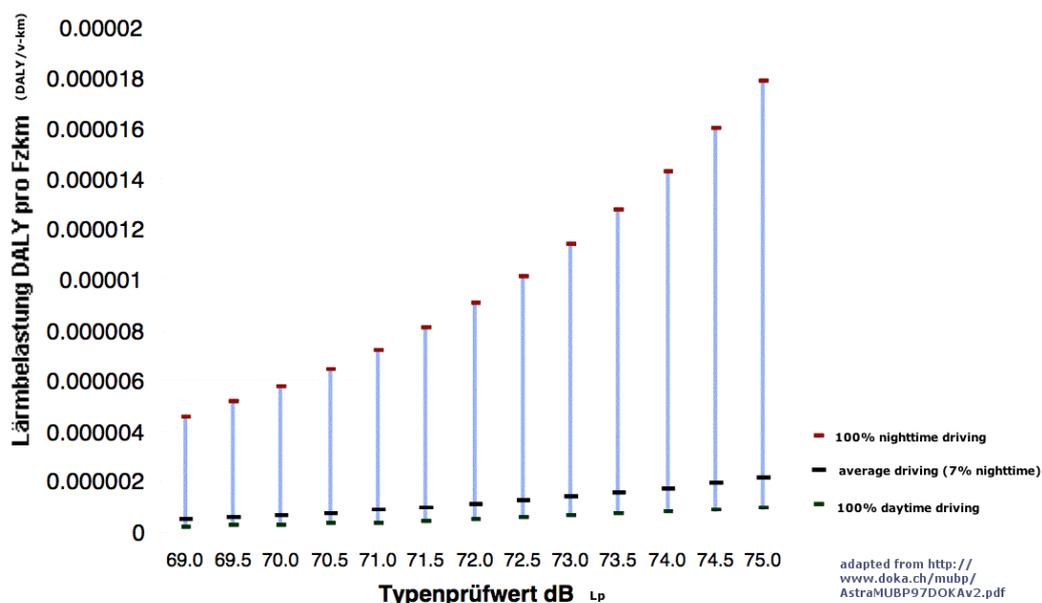


Figura 1. DALY por vkm en función de los decibelios causados por el tráfico rodado en un viaje medio, durante el día y durante la noche [7].

2.3 Metodología de Nielsen & Laursen

Estos autores daneses han focalizado el estudio [8] exclusivamente en el ruido que genera molestia en el ser humano durante el transporte de productos. La afectación en áreas potencialmente más sensibles al ruido (como parques naturales o zonas recreativas) y sobre animales no lo han considerado, para así conseguir un modelo con más claridad y sencillez. Además han considerado otras simplificaciones en lo que respecta a la distribución del ruido y a la cuantificación de la molestia provocada sobre las personas.

El modelo de ruido propuesto puede esquematizarse en la figura 2, en la que se ilustran las isófonas alrededor de una fuente además del número de personas en cada una. El nivel de ruido decrece con el incremento de la distancia debido a la atenuación causada por la divergencia de las ondas sónicas y la absorción atmosférica. Esta reducción puede estar influenciada además por varios factores como la topografía y las propiedades acústicas alrededor de la fuente, la presencia de paredes o edificios, la velocidad y dirección del viento, la humedad relativa, el gradiente de temperaturas, direccionalidad del ruido, posición de la fuente con respecto a las personas receptoras, etc.

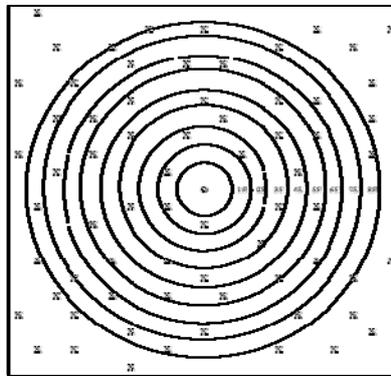


Figura 2. Modelo de distribución de la población (x) en isófonas sobre una distancia d alrededor de una fuente de ruido (o) [8].

Las isófonas de la figura anterior aparecen solamente en paisajes abiertos y lisos cuando la atmósfera es homogénea. Además, en muchas situaciones, las isófonas no son circulares y son conformadas acorde a las condiciones del momento. Para simplificar, han asumido un modelo circular de isófonas, y el nivel de ruido acorde a sencillas fórmulas matemáticas.

La molestia del ruido (NN_d , del inglés *Noise Nuisance*) a una distancia específica (d) desde un punto-fuente puede ser definida en términos de *persona-hora* según la ecuación 7.

$$NN_d = P_d \cdot T_{proc} \cdot NNFL_p \quad (7)$$

Los términos se definen a continuación:

- P_d es el número de personas en la distancia d desde la fuente (puede ser contado o estimado).
- T_{proc} es la duración del proceso ruidoso (horas), es decir, el tiempo en el que se suele producir una unidad de producto o servicio acorde a la unidad funcional. Puede ser determinado mediante medidas directas o cálculos medios.
- $NNFL_p$ es el factor específico de la molestia del ruido para el nivel de ruido actual, siendo L_p el ruido relativo de fondo (adimensional). Representa la inconveniencia causada por el ruido en los seres humanos. Es un parámetro subjetivo que se

determina mediante aspectos tales como el nivel de ruido, la composición de la frecuencia del ruido, el ruido de fondo y las cualidades y características de cada persona, etc.

La siguiente ecuación muestra la relación entre el ruido y el factor específico de la molestia, en la que el factor exponencial expresa la parte del ruido que excede del ruido de fondo.

$$NNFL_p = 0,01 \cdot 4,22^{0,1(L_p - K)} \quad (8)$$

Los términos anteriores se definen de la siguiente forma:

- L_p es el nivel de ruido, que puede ser medido o calculado (dB).
- K es el ruido de fondo en relativo a 20 μ Pa, medido también en dB.

La molestia de ruido total causado por un proceso específico (NN_{proc}) puede ser determinada por el sumatorio de las molestias de todas las personas en cada isófona, según la ecuación 9.

$$NN_{proc} = T_{proc} \cdot \sum P_d \cdot 0,01 \cdot 4,22^{0,1(L_p(d) - K)} \quad (9)$$

En esta ecuación $L_p(d)$ es el nivel de ruido a una cierta distancia d de la fuente.

Finalmente, la molestia total (NN_{prod}) se determina sumando todos los procesos anteriores, según la siguiente ecuación.

$$NN_{prod} = \sum NN_{proc} \quad (10)$$

Este método sirve para calcular el ruido debido al transporte de carga por carretera y ferrocarril. Con una serie de modificaciones, pueden ser utilizados para los cálculos de molestias acústicas de otras fuentes de ruido como la industria, la carga, las obras de construcción, y el transporte por barco o avión.

2.4 Discusión de los métodos

De los métodos anteriormente descritos, el de Müller-Wenk [3-5] es el más referenciado. A pesar de su dificultad inicial aparente, permite determinar muy fácilmente el incremento de casos afectados por un incremento del flujo inicial del tráfico y el cálculo de los DALY, gracias a las constantes que ha determinado. Este método es muy útil para obtener impactos en la categoría de ruido de forma genérica, independientemente de la ruta seguida y aplicables a grandes zonas, como un país entero. No obstante, entre los aspectos mejorables del método está el modelo de emisión de ruido a utilizar ya que se queda un poco obsoleto, además de la conveniencia de considerar otros efectos sobre la salud humana.

El método de Doka [6], es bastante práctico ya que, al obtener parámetros de ajuste, relaciona directamente el efecto nocivo sobre la salud con el ruido emitido por el tráfico. Como inconvenientes al método, destacar que, al estar basado en el de Müller-Wenk [3-5], posee sus mismos aspectos mejorables, además de tener un rango de aplicación muy limitado por considerar solamente la población suiza.

Nielsen y Laursen [7] proporcionan también un método sencillo de aplicación al tráfico de vehículos ya que considerando tan sólo la densidad poblacional, la distancia al foco, el ruido emitido y el tiempo del proceso, calcula el número de personas afectadas. Este método no contempla la subjetividad de los afectados potencialmente ya que en ningún momento tiene en cuenta el grado de molestia de los individuos.

3. Directrices para incorporar los efectos del ruido en los ACV

Los estudios destinados a incorporar la categoría de ruido en los ACV tienen que tener como propósito el análisis de la molestia ocasionada desde el punto de vista orientado al producto, lo que permitirá la consideración medioambiental de la molestia del ruido en el desarrollo de productos y la comparación medioambiental de productos y servicios basados en el carácter cuantitativo del ACV. Así, el ruido puede ser evaluado y tenido en cuenta al mismo nivel como cualquier otra categoría de impacto en el futuro.

Por lo tanto, creemos conveniente la consideración de la cadena causa-efecto como base para incorporar esta categoría en los ACV. Para ello, se debe partir de los datos de emisión de ruido que se dispone para distintos tipos de vehículos, y se modela un flujo de vehículos que simula al parque automovilístico y una red de carreteras virtual con una población virtual distribuida alrededor de las vías.. El modelo debe ser actual y debe estimar el ruido de un flujo compuesto por distintos tipos de vehículos (ciclomotores, motocicletas, camiones, furgonetas, autobuses, turismos, etc.) en función de la velocidad y el flujo del tráfico de los mismos. Además se deben considerar otros parámetros de ajuste como la temperatura ambiente, la aceleración y deceleración, la pendiente de la vía, la humedad, el tipo de superficie, el tipo de neumático, el tipo de motor, el uso de tacos, los sistemas de escape ilegales, etc. La introducción de estos parámetros de ajuste permite modelar la red viaria virtual con las características de las carreteras de estudio por donde circulan los vehículos virtuales, simulando al parque automovilístico. Uno de los modelos ampliamente aceptado en Europa para este propósito es el del proyecto IMAGINE [9].

En una etapa posterior se tiene que modelar un segundo flujo de vehículos con un pequeño aumento respecto al nivel inicial y se recalculan los niveles de ruido sin variar las condiciones iniciales. Esta operación se tiene que repetir para cada uno de los tramos de carretera virtual, con lo que se obtendrá un incremento de ruido global atribuible al aumento del tránsito. De esta forma, es posible cuantificar, por diferencia entre niveles, el efecto que provoca dicho aumento. Hay que destacar que, como se trata de un modelo incremental, las condiciones de transmisión del ruido dejan de ser un problema, ya que son iguales en la situación inicial y final.

Para determinar el impacto sobre la salud humana del incremento de ruido calculado, es necesario conseguir datos sobre la frecuencia de distribución de la población respecto a los niveles de ruido soportados. La distribución de esta frecuencia puede ser determinada, en principio, mediante el uso de una combinación de los mapas estratégicos de ruido de carreteras y datos geográficos sobre la densidad poblacional en las zonas de estudio.

Una vez se cuantifica la población expuesta a niveles excesivos de ruido, sólo queda calcular cómo afecta esta exposición a los que la sufren. Esto se debe conseguir mediante encuestas y estudios poblacionales que relacionan la cantidad de personas que se declaran "altamente molestas" por la exposición a un determinado nivel de ruido. Los gráficos que representan esta relación permiten introducir los aspectos psicológicos del ruido, y tienen la ventaja de poder asimilarse a rectas en los intervalos de ruido entre los cuales fluctúa el ruido del tráfico.

Finalmente, para cuantificar los efectos negativos del ruido se debe utilizar la unidad DALY, que está en función de los DW anteriormente descritos. Esta unidad está internacionalmente reconocida y recomendada por la OMS. En el siguiente punto se definen las características de esta unidad de medida.

4. La unidad DALY

A principios de los años 90 se empezó a desarrollar el concepto de la unidad DALY como contraposición al QALY (Años de vida ajustados con calidad). Como fruto de un estudio destinado a cuantificar la carga global de una enfermedad sobre la vida humana, Murray & López [10], tras largas revisiones y discusiones a nivel internacional, publicaron *“The global burden of disease”* (La carga de enfermedad global), en donde sentaron las bases para definir y calcular esta unidad.

El DALY puede definirse como una variante de QALY en el que se expresan los años de vida perdidos por muerte prematura junto con los años vividos con una discapacidad de severidad y duración especificadas. Un DALY es, por tanto, un año de vida saludable perdido [11]. Esta unidad es la escogida y recomendada por la OMS para cuantificar el peso de las enfermedades y las secuelas en las poblaciones humanas.

Los años perdidos por muerte prematura se calculan restando la edad al fallecimiento a la esperanza de vida según los estándares esperados. Los años vividos con una discapacidad se calculan desde el momento que empieza la enfermedad hasta su finalización mediante los factores de conversión denominados pesos de discapacidad (DW).

Los DW están tabulados por la OMS para cada categoría de enfermedad en función de la gravedad de los perjuicios asociados, y se tratan de unos factores que ponderan el peso que tiene cualquier discapacidad con respecto a la muerte. Se miden en una escala de cero a uno, de manera que cero significa la plena salud y uno significa la muerte. Estos se registran en tablas elaboradas por la OMS para cada tipo de enfermedad. La tabla 2 muestra algunos ejemplos de enfermedades y el rango de DW correspondiente.

Rango DW	Enfermedades como indicadores de condiciones
0,00 – 0,02	Obesidad leve, manchas faciales
0,02 – 0,12	Diarrea, anemia, dolor severo de garganta
0,12 – 0,24	Fractura del radio, infertilidad, anginas, disfunción eréctil
0,24 – 0,36	Mudez, amputación bajo las rodillas
0,36 – 0,50	Síndrome de Down, retraso mental leve, fístula recto-vaginal
0,50 – 0,70	Depresión severa, ceguera, paraplejia
0,70 – 1,00	Cáncer de pulmón, psicosis activa, demencia, migraña severa

Tabla 2. Valoración de la discapacidad (DW) de varias enfermedades [10].

La base de datos de la OMS no posee datos de DW motivados por el ruido, por lo que algunos autores han realizados estudios y encuestas para obtener datos coherentes de la cuantificación del daño producido por el ruido en los seres humanos:

- Müller-Wenk [3-5] en el modelo realizó un cuestionario a 41 médicos y psicólogos obteniendo, mediante procesos estadísticos e interpolaciones, valores de DW para los efectos más significativos del ruido, que eran las molestias ocasionadas por perturbación en el sueño (durante la noche) y perturbación en la comunicación (durante el día), obteniendo 0,055 y 0,033 respectivamente.
- Dentro del marco del ACV, Meijer [12] realiza un estudio de mejoras en la calidad de los edificios, incorporando materiales con mejores características de aislamiento acústico. Para poder realizar las comparaciones sobre los efectos del ruido en el ser humano, utiliza los DW proporcionados por Müller-Wenk [3-5].

- Westerberg & Glaumann [13] realizaron un análisis de los riesgos sobre la salud en edificios y ambiente exterior obteniendo unos valores tabulados, entre los que se encuentra el problema sobre el confort que produce el ruido en ambiente exterior, obteniendo un rango desde 0,01 a 0,05.

5. Conclusiones

Las conclusiones destacables de este estudio son las siguientes:

- Debido a que el transporte se ha convertido en una pieza clave del sistema productivo mundial, y a su continua expansión, surge la necesidad de la inclusión de la categoría de ruido a la hora de evaluar a las consecuencias medioambientales y los efectos que provoca sobre la salud de las personas.
- La metodología causa-efecto es el procedimiento idóneo para poder incluir los efectos sobre las personas que provoca el ruido a la hora de evaluar el impacto ambiental con métodos como el ACV.
- Para poder cuantificar los efectos sobre la salud que provoca el ruido, la unidad de medida DALY presenta las mejores características ya que, además de estar recomendada por la OMS y su sencillo cálculo, es un indicador fácilmente interpretable ante la complejidad que surge cuando se intenta medir el estado de salud de una población. No obstante, los DW relativos a los efectos del ruido no están tabulados, pero son fácilmente predecibles ya sea mediante la realización de exhaustivas encuestas a expertos o recurriendo a los estudios ya realizados.

Referencias

- [1] UNE-EN ISO 14040:2006. "Gestión ambiental – Análisis de ciclo de vida – Principios y marco".
- [2] Iglesias, D.H. "Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario", *Contribuciones a la Economía*, marzo de 2005. (Texto completo en <http://www.eumed.net/ce> - acceso en noviembre de 2007).
- [3] Müller-Wenk, R. "Life-cycle impact assessment of road transport noise", *IWÖ, Universität St. Gallen*, Switzerland, 1999.
- [4] Müller-Wenk, R. "Attribution to road traffic of the impact of noise on health", *Environmental series n. 339*, SAEFL, Berne, Switzerland, 2002.
- [5] 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.
- [6] Balzari & Schudel, Grolimund & Peterman. "Modèle de bruit du trafic routier dans les zones habitées", *CDE report n. 15*, SAEFL, Berne, Switzerland, 1998.
- [7] Doka, G. "Ergaenzung der Gewichtungsmethode für Oekobilanzen Umweltbelastungspunkte'97 zu Mobilitaets - UBP'97", *Doka LCA*, comisionada por ASTRA, Switzerland, 2003 (descarga en <http://www.doka.ch/mubp/AstraMUBP97DOKAv2.pdf>).
- [8] Nielsen, P.H., Laursen, J.E. "Background for spatial differentiation in LCA impact assessment - The EDIP2003 methodology – Part 9: Integration of external noise nuisance from road and rail transportation in life-cycle assessment", *Danish Environmental Protection Agency*, Denmark, 2003.

- [9] 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>).
- [10] Murray, C.J.L., López, A.D. "The global burden of disease. A comprehensive assessment of mortality and disability of diseases, injuries and risk factors in 1990 and projected to 2020", *Harvard University Press*, Cambridge, UK, 1996.
- [11] Seuc, A.H., Domínguez, E., Díaz-Díaz, O. "Introducción a los DALYs", *Rev Cubana Hig Epidemiol* 2000; 38 (2): 92-101.
- [12] Meijer, A. "Improvement of the life cycle assessment methodology for dwellings", *Thesis Universiteit van Amsterdam*, The Netherlands, 2006, ISBN 1-58603-690-4.
- [13] Westerberg, U., Glaumann, M. "Weighting health risks in buildings and outdoor environment", *Sustainable Building 2002*, Oslo, Norway.

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):

Daniel Garraín Cordero.
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: garrain@uji.es
URL: <http://www.gid.uji.es>

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

Rosario Vidal Nadal.
GID – Grupo de Ingeniería del Diseño.
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I.

Enrique Moliner Santistevé.
GID – Grupo de Ingeniería del Diseño.
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I.

Sonia Casanova Moreno.
GID – Grupo de Ingeniería del Diseño.
Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I.