

ANÁLISIS COMPARADO DE MODELOS DE ORDENACIÓN URBANA A PARTIR DE LA EVALUACIÓN DE RUIDO AMBIENTAL ASOCIADO AL TRÁFICO RODADO: RONDA OESTE DE CIUDAD REAL

M. Rodríguez, Francisco; F. Vázquez, Victoriano; E. Page, Santiago

fjmorales.rodriguez@gmail.com, victoriano.fernandez@uclm.es, santiago.exposito@uclm.es

Resumen

El ruido derivado del tráfico rodado es uno de los principales problemas ambientales que afecta al bienestar de los ciudadanos. En este sentido, los estudios de afección acústica en el medio urbano forman parte de la evaluación ambiental previa a la tramitación de las diferentes figuras de planeamiento, convirtiéndose en uno de los principales indicadores para la toma de decisiones en la gestión de la ordenación urbana y el desarrollo urbanístico.

En este artículo se presentan los resultados del análisis en el impacto acústico entre dos modelos de ordenación urbana propuestos para una de las principales vías urbanas de Ciudad Real. El estudio caracteriza, mediante análisis comparado, la exposición al ruido ambiental del escenario actual y proyectado, y realiza predicciones sobre ambos modelos con objeto de ofrecer un análisis crítico de éstos, formular un diagnóstico de contaminación acústica actual y evaluar la eficacia de la propuesta de ordenación. Parte del trabajo ha sido elaborado en el marco del Máster en Territorio, Infraestructuras y Medio Ambiente de la Universidad de Castilla-La Mancha.

Palabras-clave: ruido ambiental, tráfico rodado, modelos de ordenación urbana, predicción acústica, Ciudad Real.

Abstract

Traffic road noise is one of the main environmental problems affecting the welfare of citizens. In this regard, studies of noise pollution in urban areas are part of the environmental assessment before the data processing; therefore, noise pollution is one of the indicators in the decision-making process of urban planning and urban development.

This article presents the results of the noise impact analysis of two proposed urban development models of one of the main urban streets of Ciudad Real. A comparative analysis between both models is also presented. The study characterizes the exposure to environmental noise of the current and projected situation. Predictions about both models are also obtained in order to provide a critical analysis of these, make a diagnosis of current noise and evaluate the effectiveness of the proposed urban planning. Part of this work has been prepared in the context of the Master in Territory, Infrastructures and Environment (University of Castilla-La Mancha).

Keywords: environmental noise, road traffic, urban planning, noise prediction, Ciudad Real.

PACS no. 43.50.Sr

1 Introducción

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, el ruido daña seriamente la salud humana tanto desde el punto de vista físico como psíquico, además de inducir secuelas en el ámbito de sueño, el rendimiento y la conducta [1] [2]. En Europa los datos confirman que una parte importante de la población urbana está expuesta a ruidos superiores a los considerados saludables por la OMS y se estima que el 14% soporta niveles iguales o superiores a 65 dB(A) como consecuencia del tráfico rodado [3].

El origen del ruido está asociado especialmente a los procesos de urbanización y al desarrollo del transporte y de la industria. Si bien es un problema fundamentalmente en el ámbito urbano, en algunas áreas territoriales puede afectar también al medio rural, razón por la que se puede afirmar que la afección acústica es uno de los contaminantes que se manifiesta de una manera más persistente en el medio ambiente. La evaluación de los tramos de calle y el porcentaje de población expuesta a niveles de ruido por encima de los niveles admisibles, la restricción de viario público para los vehículos motorizados, la reducción de la velocidad en el interior de las ciudades, el diseño del espacio público bajo criterios de sostenibilidad acústica o la introducción de pavimentos sonorreductores son algunas de las medidas más beneficiosas para reducir el impacto acústico en el medio urbano.

En este sentido, el ordenamiento urbanístico y medioambiental español exige procedimientos de evaluación ambiental a la hora de abordar procedimientos de planificación territorial y planeamiento urbanístico, donde los estudios acústicos intervienen en paralelo a la tramitación de los proyectos o planes. Asimismo, conviene señalar la importancia del desarrollo del RD 1367/2007, de 19 de octubre, a partir del cual se incluye la delimitación territorial de áreas acústicas (zonificación acústica) de acuerdo con las previstas en la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.

Acústica ambiental y ordenación urbana, por tanto, son parámetros complementarios en el impulso de una nueva planificación y un viario público más sostenible. Bajo esta hipótesis, la determinación de un indicador eficaz y su aplicación al análisis entre los dos modelos de ordenación urbana que presenta este artículo, responde a una doble visión temporal: la mejora de la situación actual y el mantenimiento de la capacidad de respuesta en situaciones futuras.

2 Afección acústica y planeamiento

Bajo la perspectiva de que el ruido ambiental puede generar una importante disminución de la calidad de vida en el ámbito urbano, en los últimos años los estudios de afección acústica en España han pasado a formar parte de la evaluación ambiental previa a la tramitación de las diferentes figuras de planeamiento [4], determinación que la Comisión de las Comunidades Europeas ya contemplaba en 1996 a través de las recomendaciones del Libro Verde de Política Futura de Lucha contra el Ruido, como instrumento para reducir la exposición al ruido en el medio urbano [5]. Medidas de planificación, consecuentemente, en las que la exigencia de estudios acústicos debe servir para evaluar los efectos que las nuevas modificaciones del suelo puedan generar (Planes de Ordenación Municipal, Planes de Movilidad Urbana Sostenible, Planes de Sectorización, Planes Parciales, etc.).

En este sentido, la planificación urbana y los planes de acción contra el ruido pueden ser una herramienta de apoyo para alcanzar los objetivos de reducción de ruido. Sin embargo, estos programas dependen muchas veces de la jerarquía prevista y sólo se llevan a cabo cuando ya se han tomado

decisiones sobre el desarrollo futuro. Los planes para combatir en ruido, en ocasiones, corren el riesgo de transformarse en ‘gestores del déficit’ [6] en vez de influir sobre el desarrollo urbano en una primera fase.

2.1 La utilidad de los indicadores acústicos en el entorno urbano

Atendiendo a las reflexiones del Libro Verde del Medio Ambiente Urbano [7], el diseño actual del espacio público no incorpora de un modo eficaz el control de las variables del entorno en los procesos de ordenación urbana. Valores estéticos, proyectos subyugados a la reproducción encadenada de otros desarrollos, así como criterios de funcionalidad sin cuantificación de la misma, han permitido que se prescindiera de la utilidad de variables que pueden proporcionar un incremento significativo de la calidad urbana.

Es necesario contemplar, por tanto, un mayor compromiso de las autoridades locales para integrar en su agenda un indicador que determine la evolución sonora del conjunto del territorio, de tal modo que permita evaluar el estado acústico actual así como las mejoras que se puedan obtener por la aplicación de los Planes de Acción previstos en la Directiva Europea 2002/49/CE de 25 de junio, relativa a la evaluación y gestión del ruido ambiental, y en su trasposición a la legislación española a través de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.

En la actualidad, la Comisión de las Comunidades Europeas viene desarrollando una iniciativa sobre indicadores comunitarios de seguimiento, destinados a apoyar a las autoridades locales en sus esfuerzos para suministrar información objetiva y comparable sobre los progresos en materia de sostenibilidad. La iniciativa se basa en un conjunto de indicadores integrados que reflejan las interacciones de los aspectos medioambientales, económicos y sociales, en arreglo a la consecución de los objetivos incluidos en el procedimiento de las Agendas 21 Locales. En lo que al ruido se refiere, el Informe Técnico de la Comisión plantea el empleo del indicador denominado *B8 – contaminación acústica*, de carácter voluntario, que evalúa el porcentaje de la población expuesta a niveles de ruido ambiental perjudiciales [8]. En España, también desde el ámbito autonómico se han dado pasos en la elaboración de indicadores sólidos para la evaluación acústica municipal, como ejemplo, la Red de Ciudades y Pueblos Sostenibles de Castilla-La Mancha ha definido el indicador *40 (B6) – contaminación sonora*, que valora la calidad acústica en función de las denuncias efectuadas por cada mil habitantes [9].

Si bien el indicador *B8* es útil para homogeneizar la diversa información acústica obtenida a nivel europeo, lleva implícitos estudios de actualización muy complejos y costosos en tiempo y en medios, tal y como argumenta el Observatorio de la Sostenibilidad Española (OSE) en relación a algunas implementaciones de las Agendas 21 Locales [10]. Conjuntamente, este indicador no ofrece la posibilidad de realizar una valoración comparativa entre niveles de ruido pre y post-operacionales en la planificación urbana, ni traduce a un valor global la relación entre éstos y los valores límite, lo que dificulta la interpretación de la evaluación ambiental y, por ende, resta eficacia a la previsión de medidas correctoras.

Esta es la razón por la que desde el Máster en Territorio, Infraestructuras y Medio Ambiente de la Universidad de Castilla-La Mancha se plantea la necesidad de definir un indicador complementario, cuya eficacia y accesibilidad sirvan para abordar el diagnóstico de impacto acústico en la ordenación urbana consolidada y en los nuevos desarrollos, para actuaciones específicas sobre el espacio público [11].

2.2 Factor local de afección por contaminación acústica

Partiendo de la afirmación ampliamente compartida de que en las ciudades de tamaño pequeño y medio el tráfico rodado es la fuente sonora que más contribuye a la contaminación acústica de la población, se propone asociar el nuevo indicador al nivel de ruido ambiental emitido por esta fuente. Esta hipótesis de simplificación ha sido necesaria para verificar la sensibilidad del indicador en los dos modelos de ordenación estudiados, no obstante, se encomienda a futuros desarrollos del indicador validar su sensibilidad con otras fuentes de ruido en el medio urbano. En síntesis, las dos características que deben determinar la calidad del indicador son su validez y su operatividad. El factor local de afección por contaminación acústica (F_{aa}) ha de estimar la idoneidad de los niveles de ruido ambiental en función de las características morfológicas, de la intensidad y de la distribución del tráfico, por comparación con los objetivos de calidad específicos y la zonificación acústica desarrollada, tanto para el estado actual como para el futuro desarrollo.

Para definir F_{aa} se proponen utilizar como variables explicativas los índices de ruido ambiental (L_{day} , $L_{evening}$, L_{night}) obtenidos en diferentes receptores colocados en puntos sensibles de la zona de estudio. La ubicación de estos receptores exige tener en cuenta la homogeneidad de los usos del suelo, las características morfológicas de la zona y su representatividad en el conjunto del modelo.

Se han considerado, para este estudio, los objetivos de calidad acústica estatal y autonómica señalados en el Real Decreto 1367/2007 y en el Modelo Tipo de Ordenanza Municipal sobre normas de protección acústica de Castilla-La Mancha [12], respectivamente.

Para fijar la correspondencia entre F_{aa} y los índices de ruido se ha utilizado una aproximación lineal función de las áreas acústicas definidas (Figuras 1 a 3), del mismo modo se ha propuesto una escala de valoración a partir del límite 0, para la calidad mínima, hasta un valor máximo 10, para el nivel óptimo de calidad. El umbral superior, a partir del cual el resultado se considera inaceptable, se ha considerado en 90 dB(A). El resultado final del indicador se corresponde con el promedio de los valores obtenidos para cada receptor.

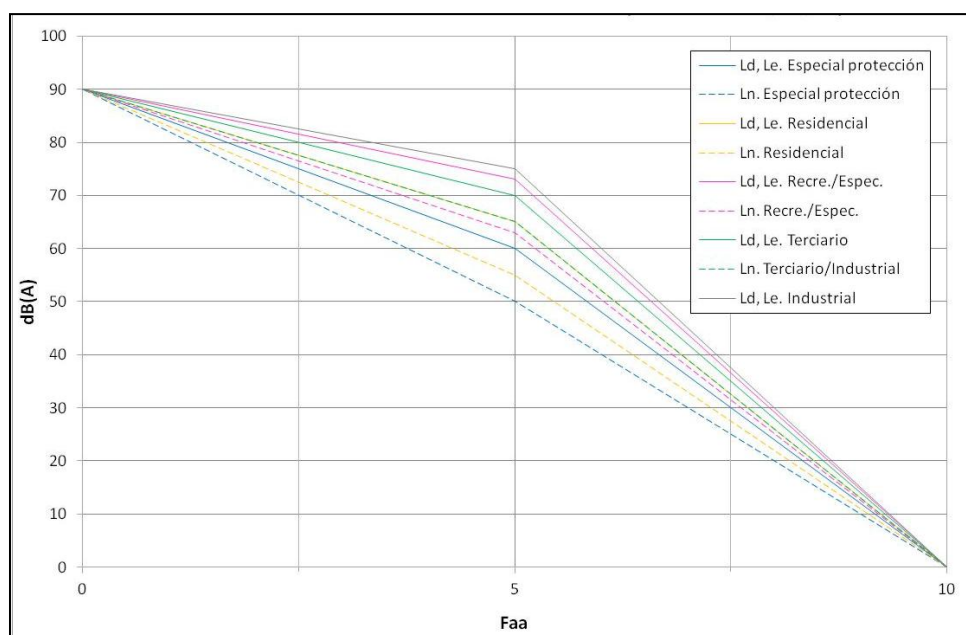


Figura 1 - Valores de F_{aa} . Índices RD 1367/2007.

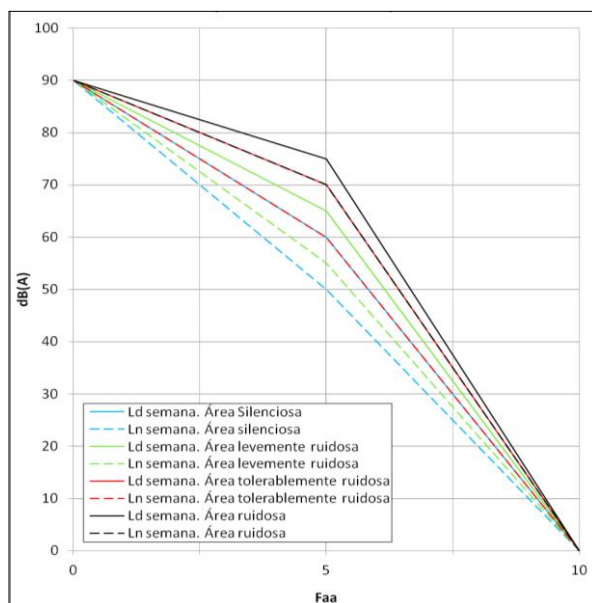


Figura 2 - Valores de F_{aa} para suelo urbano. Índices Resolución 23/04/2002 Castilla La-Mancha.

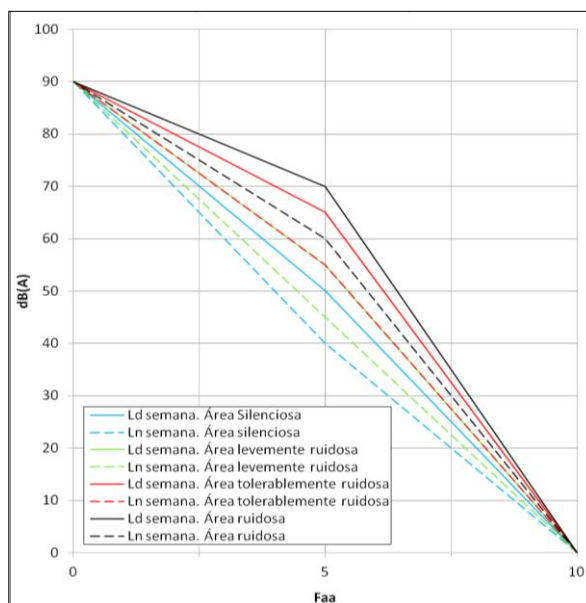


Figura 3 - Valores de F_{aa} para suelo urbanizable. Índices Resolución 23/04/2002 Castilla La-Mancha.

3 Aplicación práctica: modelos de ordenación urbana en la ronda oeste de Ciudad Real

3.1 Características de los modelos

La ronda oeste de Ciudad Real es una de las principales vías vertebradoras del tráfico en Ciudad Real. En la actualidad forma parte de la circunvalación de la ciudad aunque parte de su trazado sigue perteneciendo a la red nacional de carreteras (N-401a Ciudad Real-Toledo), circunstancia que justifica la cada vez mayor intensidad de vehículos que soporta. A pesar de su disposición urbana, la falta de una infraestructura alternativa en los desplazamientos a Toledo y una configuración que penaliza el tránsito peatonal en favor del tráfico rodado, es causa del cada vez más aparente deterioro ambiental, comercial y patrimonial de la zona.

Los modelos sobre los que se ha trabajado corresponden a dos escenarios diferentes de ordenación urbana (actual y propuesta). En primer lugar, se ha realizado un análisis de ruido ambiental sobre la situación actual, complementando y verificando su sensibilidad a partir de una campaña de medidas “in situ”. En una segunda parte, el estudio ha evaluado los resultados de la implantación de la propuesta de reordenación, con el fin de formular unas conclusiones finales, mediante análisis comparado, de los inconvenientes y ventajas que ambos modelos de ordenación presentan desde el punto de vista acústico. Se ha dividido cada modelo en tres tramos para mejorar la confianza de la entrada de datos (Figura 4).

Las principales diferencias que presentan ambos modelos son las siguientes:

Tabla 1 – Principales diferencias entre los dos modelos de ordenación.

	Estado actual	Propuesta reordenación
Evaluación temporal	Ordenación sobre PGOU (1997).	Propuesta complementaria al POM 2012*.
Función de la vía principal	Ronda oeste como vía colectora/distribuidora.	Ronda oeste como vía urbana tras la ejecución de una segunda ronda (POM 2012*).
Calzada principal	Doble calzada con dos carriles por sentido.	Calzada única con un carril por sentido.
Morfología	Carretera urbana prioritaria con velocidad legal 50 km/h.	Calle integrada en zona 30.
Regulación de tráfico	Intersecciones semaforizadas y cruces de prioridad.	Glorietas, zonas de preferencia peatonal (supermanzanas), resaltos para peatones.
IMD	15.607 (2012)	4.939 / 8.895**
Características principales	Inexistencia cinturón verde homogéneo.	Introducción de un cinturón verde homogéneo exterior norte-sur.
	Carencia de infraestructuras para vehículos no motorizados.	Carril bici longitudinal, zona verde/semipeatonal de uso comercial y con restricción al tráfico.
	Infrautilización de zonas verdes y de ocio.	Reordenación de zonas verdes y recuperación de un entorno comercial y de ocio.
	Pasos de peatones semaforizados.	Reorganización y disposición de pasos de peatones de tipo elevado.
	Discontinuidad longitudinal (zonas verdes, aceras, aparcamientos).	Continuidad longitudinal, ampliación de acerado y peatonalización de algunas calles.
	Deficiente distribución del tráfico, congestión, aparcamientos en doble fila, penalización del tránsito peatonal.	Mejora de la comunicación ciudad-ronda-segunda ronda y entrada-salida de la ciudad. Programación de bolsas de aparcamiento. Se desincentiva el paso por la ronda para estacionar y se facilita en tránsito de los peatones longitudinal y transversalmente.

* POM en fase de aprobación (Junio 2012).

** Predicciones de tráfico para 2012 (dos hipótesis de operatividad).



Figura 4 – Tramificación de la zona de estudio sobre vista aérea de la ronda oeste de Ciudad Real.

3.2 Fases del estudio

Las fases del estudio comprenden tareas como la definición del marco normativo y metodológico, la recopilación de los datos de entrada, la generación y validación del modelo pre-operacional y post-operacional, y la evaluación de resultados (Figura 5).

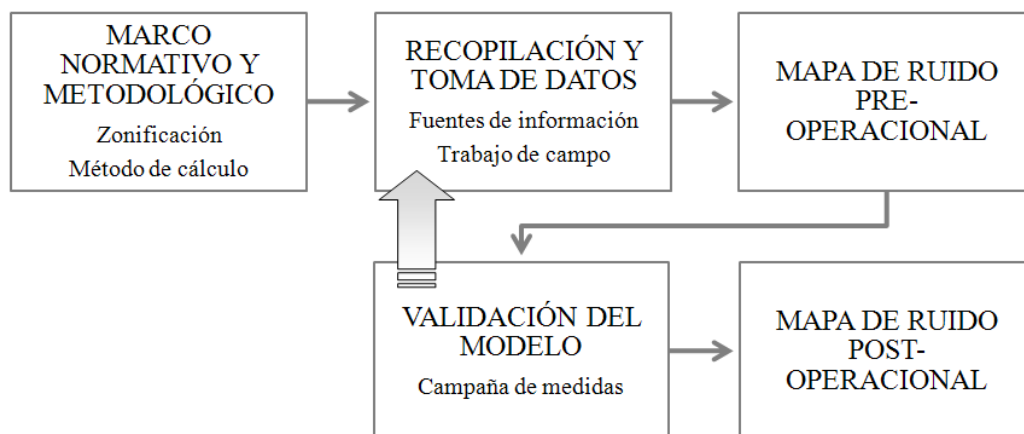


Figura 5 – Esquema de la relación entre las fases de estudio.

La determinación de las áreas acústicas y su correspondencia con los umbrales acústicos admisibles se ha establecido a partir de la revisión de la legislación nacional y autonómica de referencia, así como del Plan General de Ordenación Urbana de Ciudad Real [13]. El método de cálculo utilizado, de conformidad con el artículo 6 y el anexo II de la Directiva 2002/49/CE, ha sido el método nacional de cálculo francés «NMPB-Routes-96» (SETRA-CERTULCPC-CSTB), contemplado en el «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6» y en la norma francesa «XPS 31-133». El software utilizado para la elaboración de los mapas de ruido en ambiente exterior ha sido CADNA A Versión 3.5 (DataKustik GmbH).

Los datos de entrada se han obtenido a partir de observaciones “in situ” y fuentes locales de información, en concreto se ha recopilado información sobre cartografía, catastro, usos del suelo, altura de edificios, zonas verdes, zonas sensibles, pendientes, condiciones ambientales, etc.

Para la caracterización del tráfico se elaboró un estudio específico, a partir de aforos en tres secciones características y conteos direccionales en las principales intersecciones. Para cada periodo (día, tarde y noche) se ha obtenido el porcentaje de pesados y el tipo de tráfico dominante (fluido, pulsado, acelerado, decelerado), así como la geometría de la calzada y del entorno viario. Como se ha mencionado, dada la gran dependencia del modelo pre-operacional con el flujo de tráfico, se ha considerado oportuno realizar un estudio preciso que identifique la intensidad horaria máxima de cada sección y su distribución modal, como medida para caracterizar eficazmente el tráfico rodado. En el modelo post-operacional se han utilizado relaciones fundamentales de predicción de tráfico para estimar las intensidades en el año de proyecto (2012).

La evaluación de velocidades medias de marcha ha requerido un estudio complementario de campo, mediante la técnica del vehículo medio. Este ensayo se ha considerado necesario tras confirmar que las demoras asociadas a las intersecciones influían significativamente en las velocidades medias desarrolladas por los vehículos. Por otra parte, la utilización de las velocidades legales de la vía se comprobó que sobreestimaba este parámetro. Con el fin de obtener unos datos rigurosos, se ensayaron

velocidades y demoras asociadas a rutas específicas en la hora punta de cada periodo, mediante un vehículo de prueba al efecto (Tabla 3). Los datos se corrigieron para obtener las velocidades medias de marcha (en desplazamiento), sin contemplar las paradas [14]. En el modelo post-operacional se empleó la velocidad legal de la futura vía (30 km/h), ante la imposibilidad de mayores precisiones.

Tabla 2 – Intensidades, velocidades y porcentaje de pesados para cada tramo. Ensayo de campo.

Tramos	I _{max} (veh/h)	V _m (km/h)	Pesados (%)
1 Norte	737	35,0	5,43
1 Sur	770	31,0	4,81
2 Norte	894	32,1	5,37
2 Sur	994	30,3	5,31
3 Norte	925	34,0	3,03
3 Sur	693	29,5	2,92

Para la elección del tipo de firme se han tenido en cuenta los resultados del trabajo de investigación del Laboratorio de Acústica Aplicada a la Ingeniería Civil (LA²IC) de la Universidad de Castilla-La Mancha, llevado a cabo en la ronda de Ciudad Real [15].

Se consideran también las propiedades del suelo, asignando los parámetros del factor de suelo correspondientes para considerar los efectos de absorción y atenuación acústica, así como los obstáculos y las condiciones ambientales.

Ambos modelos de ordenación incluyen receptores fijos ubicados en puntos representativos para validar la sensibilidad de los resultados mediante ensayos de campo. El registro de datos se realizó con un sonómetro integrador promediador Brüel & Kjaer 2240 (Class1) en horario diurno, colocado a una altura de 1,5 m sobre el suelo, siguiendo las instrucciones de la Norma UNE-ISO 1996-1-2. En dichas medidas se registraron los valores de LA_{eq} referidos a intervalos de medida de 15 minutos. Al comparar los niveles simulados con las mediciones en los receptores fijos el resultado evidenció que las diferencias (en valor absoluto) estaban por debajo de 3 dB(A) en todos los puntos (Tabla 3), extremo que podría estar motivado por diferencias en el estado de conservación del pavimento [16], por lo que finalmente el modelo se consideró válido.

Tabla 3 – Valores en puntos receptores (modelo y sonómetro).

Receptor	Modelo dB(A)	Sonómetro dB(A)	Diferencia dB(A) (abs)
R1	65,9	63,7	2,2
R2	60,4	61,3	0,9
R3	71,3	71,7	0,4
R4	71,9	72,8	0,9
R5	64,7	66,9	2,2
R6	62,3	64,2	1,9
R7	70,3	71,4	1,1
R8	64,3	62,2	2,1
R9	67,1	65,5	1,6

La conclusión de estas fases ha dado como resultado mapas de niveles sonoros para una malla de cálculo de 10 m y una altura de receptores de 1,5 m, tanto para el modelo pre-operacional (Figura 6)

como para el post-operacional. Dentro de este último se ha completado el estudio con la evaluación de dos hipótesis de operatividad para niveles de tráfico del 33% (Figura 7) y del 60% (Figura 8).



Figura 6 – Ejemplo de mapa de ruido para la situación pre-operacional (L_{day})

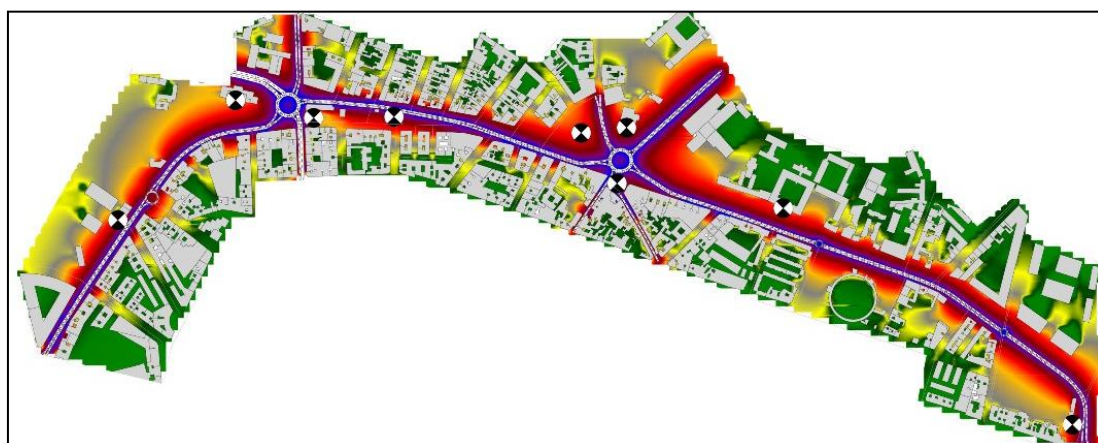


Figura 7 – Ejemplo de mapa de ruido (L_{day}). Situación post-operacional. Tráfico soportado: 33%.

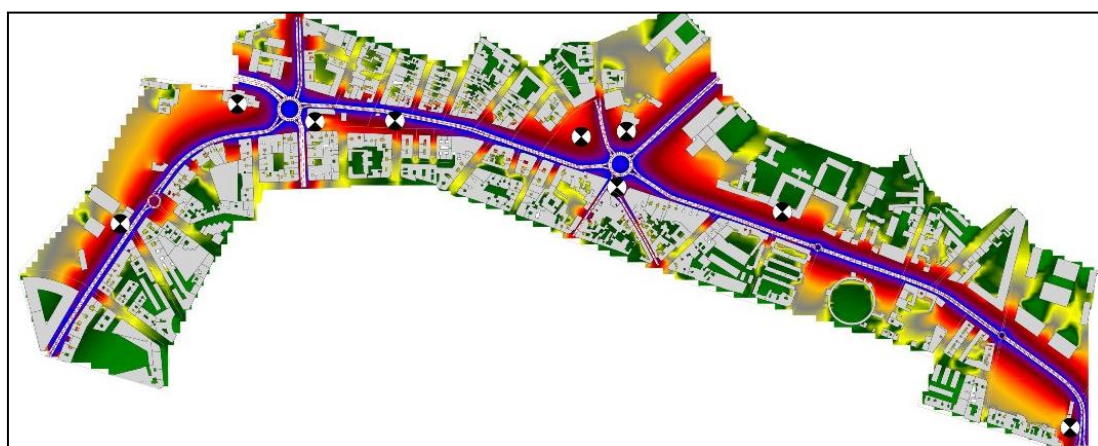


Figura 8 – Ejemplo de mapa de ruido (L_{day}). Situación post-operacional. Tráfico soportado: 60%.

En base a los resultados de cada mapa de ruido, por comparación con los límites máximos, se determinó el factor local de afección por contaminación acústica (F_{aa}) en cada punto receptor, en cada intervalo y, posteriormente, en cada modelo (Figura 9).

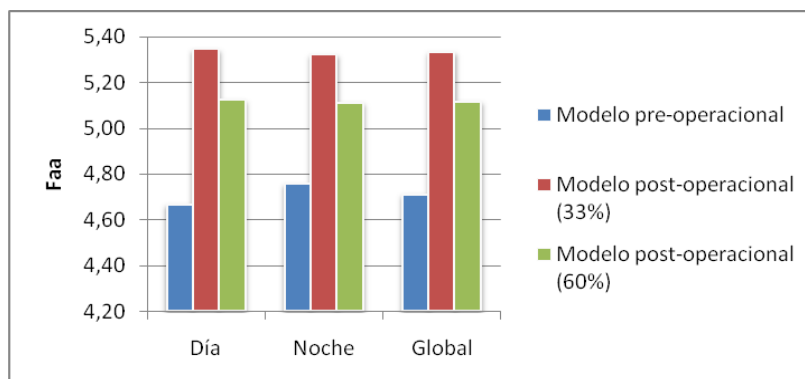


Figura 9 – Valores de F_{aa} para cada modelo y periodo de acuerdo a los valores límite del RD 1367/2007.

Las diferencias entre ambos modelos confirman la hipótesis que plantea la propuesta de reordenación (modelo post-operacional). Tal como se había apuntado, el impacto acústico claramente es dependiente del flujo de tráfico. De los nueve receptores evaluados en el modelo pre-operacional, seis de ellos superaban los límites establecidos para el período diurno y cinco para el nocturno, obteniendo un F_{aa} de valor medio 4,71 sobre 10. Para el modelo post-operacional más optimista (33%), sólo dos receptores superaban dichos límites en horario tanto diurno como nocturno, con F_{aa} de valor 5,33. En el desarrollo post-operacional más desfavorable (66%), dos receptores superaban los umbrales para el día y tres el de la noche, con un valor de F_{aa} de 5,12. Sin embargo, las reducciones más importantes (13,8 dBA) se logran en el receptor R3, principalmente debido a que en la propuesta de reordenación éste queda situado en un entorno de tipo semipeatonal (modelo de supermanzana), lo que reduce notablemente la superficie de viario expuesta a un ruido inadmisibles. Los resultados, en general, señalan claros decrecimientos en los niveles de todos los receptores de una planificación a otra, hecho que se puede apreciar fácilmente en los mapas de ruido elaborados a tal efecto.

4 Conclusiones y experiencias adquiridas durante el estudio

La normativa es un eje fundamental para la elaboración de ensayos acústicos y su aplicación es una condición imprescindible para justificar la confianza de los resultados obtenidos. Conviene recordar que, en la actualidad, las Administraciones del Estado tienen capacidad para normalizar algunos de los elementos que se utilizan en el desarrollo de trabajos de medición y predicción de ruido ambiental. Es necesario, por tanto, estudiar con detenimiento los condicionantes técnicos, la metodología y los procedimientos exigidos y regulados a través de estos entes. En concreto, para actuaciones en el medio urbano, es fundamental disponer de fuentes actualizadas sobre la zonificación acústica legal, los usos y tipos de suelo, y los objetivos de calidad acústica.

Por otra parte, se ha evidenciado que la caracterización de los elementos que componen un modelo de predicción de ruido ambiental en la escala urbana se convierte por sí misma en un estudio independiente, por lo que resulta trascendente contrastar la información estadística con el fin de dotar de una mayor fiabilidad a los resultados. Este hecho se debe a la gran relación de dependencia que existe entre el funcionamiento del sistema viario (calzadas, aceras, espacios, edificios, etc.) y las

variables críticas que lo definen (desde el punto de vista acústico), como son fundamentalmente la intensidad de tráfico, la velocidad y, en algunos casos, el estado del pavimento. Desde este punto de vista, para reducir la incertidumbre de los modelos este trabajo ha considerado con acierto la elaboración de aforos de tráfico y estudios de velocidad, de escala similar al trabajo que se realiza. Del mismo modo, un pronóstico eficaz de la situación post-operacional requiere formular hipótesis válidas en la predicción del tráfico: tipo de tráfico, distribución, flujo captado o cedido, etc. Esta información se puede prever para el año de puesta en servicio de la vía y para el año horizonte de funcionamiento. Ha quedado patente a lo largo del trabajo que recurrir a fuentes de tráfico no específicas reduce significativamente la confianza de los resultados.

En la ingeniería de tráfico, con frecuencia se utiliza la velocidad que pueden desarrollar los vehículos y el tiempo que tardan en recorrer una distancia dada para evaluar la calidad del servicio que está prestando esa vía a sus usuarios, especialmente en el medio urbano. Su ventaja principal es que los usuarios de la vía lo perciben directamente y que sus resultados se pueden evaluar en términos monetarios. Desde el punto de vista acústico la velocidad también constituye una variable fundamental que determina el nivel de emisiones de los vehículos, la tendencia a la estandarización en la escala local, a partir de límites legales de la vía u otras simplificaciones, puede aportar importantes errores al modelo. A modo de ejemplo, el resultado de la caracterización del tráfico para la ronda oeste de Ciudad Real reflejó una velocidad media de marcha un 36% inferior al límite legal de la vía, en consonancia con otros ensayos similares elaborados por la Universidad de Castilla-La Mancha [17].

Es importante tener claros los criterios para la colocación de los receptores sonoros, su ubicación se debe determinar en función de la razón del estudio que estamos realizando. Una situación adecuada desde el inicio evita modificaciones en el modelo y cálculos innecesarios. Algo semejante ocurre con respecto a la densidad de las mallas, éstas deben ajustarse en función de la precisión que se desee alcanzar, comenzando con mallas de tipo más general para las primeras evaluaciones, y aumentando el nivel de exigencia en posteriores cálculos y en aquellas zonas de mayor importancia. En este sentido, una malla de cálculo de 10 m para escalas de trabajo 1/5000 se ha considerado suficiente.

Cabe destacar asimismo el exhaustivo trabajo de campo que se realizó para completar la información relativa a la primera modelización (pre-operacional) y valorar el grado de confianza de la predicción, antes de iniciar la elaboración de modelos acústicos sucesivos (post-operacionales).

En conclusión, la elaboración de mapas de ruido en la tramitación de las figuras de planeamiento resulta un instrumento eficaz que permite diagnosticar la situación acústica actual y prever las consecuencias de las nuevas modificaciones del suelo. La precisión de hipótesis de operatividad garantiza además un estudio completo de los niveles de afección cuando se estima una gran dependencia del tráfico o cuando no existen modelos de demanda. Se ha comprobado igualmente la funcionalidad de un indicador que sintetiza la afección acústica en planes de ordenación sometidos principalmente al flujo del tráfico rodado, manifestando un buen comportamiento como herramienta complementaria a los tradicionales estudios de población expuesta en el medio urbano. Dada su relativa simplicidad en el cálculo, la correspondencia de éste con los resultados obtenidos y su fácil comprensión, su elaboración permite realizar un análisis rápido y eficaz del impacto acústico en diferentes modelos de ordenación urbana.

Referencias

[1] Berglund, B.; Lindwall, T.; Schwela, D. H. *Guidelines for community noise*. World Health Organization, Geneva, 1999.

- [2] World Health Organization. *Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe*, 2011.
- [3] Ministerio de Medio Ambiente. *Observatorio de la movilidad metropolitana*. Madrid, 2006.
- [4] Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido (BOE 18/11/2003).
- [5] Libro Verde de Comisión Europea COM (96) 540. *Política futura de lucha contra el ruido*. Bruselas, 1996.
- [6] Comisión Europea. *Manual del profesional para la elaboración de planes de acción contra el ruido en el ámbito local*. Recomendaciones del Proyecto Silence, 2008.
- [7] Ministerio de Medio Ambiente. *Libro Verde del Medio Ambiente Urbano, Tomo I*. Madrid, 2007.
- [8] Comisión Europea. *Hacia un perfil de la sostenibilidad local. Indicadores comunes europeos. Informe Técnico*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, 2000.
- [9] Federación de Municipios y Provincias de Castilla-La Mancha. *Panel de Indicadores de Sostenibilidad Local*, 2009.
- [10] Ayuntamiento de Zaragoza. *Agenda 21 de Zaragoza: Hacia el desarrollo sostenible*. Actualización de los indicadores de sostenibilidad de Zaragoza, 2010.
- [11] Rodríguez, F. M. *Modelo conceptual para la determinación de la calidad de una vía urbana a partir de criterios de capacidad ambiental*. Máster Universitario en Territorio, Infraestructuras y Medio Ambiente (UCLM), sin publicar, Ciudad Real, 2012.
- [12] Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Resolución de 23-04-2002, de la Consejería de Agricultura y Medioambiente, por la que se aprueba el modelo tipo de ordenanza municipal sobre normas de protección acústica (BOCM 3/5/2002).
- [13] Plan General de Ordenación Urbana de Ciudad Real (BOP 4-6-97, DOCM 16-5-97)
- [14] Imagine WP2 Partners. *Guidelines for the use of traffic models for noise mapping and noise action planning*. Imagine Project no. 503549, 2006.
- [15] Bueno, M; Viñuela, U; Terán, F; Luong, J; Page, S. E. *A first step toward a close proximity noise map*. Journal of the Acoustical Society of America (JASA), 123(5), 2008, pp. 3686-3686.
- [16] Page, S. E; Bueno, M; Terán, F; Viñuela, U; Luong, J. *Assessment of asphalt concrete acoustic performance in urban streets*. Journal of the Acoustical Society of America (JASA), 123(3), 2008, pp. 1439-1445.
- [17] Menéndez, J.M.; Guirao, B.; Rivas A.M. *Estudio de movilidad urbana en Ciudad Real. Diagnóstico de la situación actual*. Estudio para el Ayuntamiento de Ciudad Real, sin publicar, Ciudad Real, 2006.