

MAPA ESTRATÉGICO DE RUIDO



05/11/2008

Mapas sonoros y población expuesta al ruido

La contaminación acústica es motivo de preocupación por las graves molestias que origina y por sus efectos sobre la salud, el comportamiento humano y las actividades de las personas. Los *mapas estratégicos de ruido* son un elemento creado para facilitar a las autoridades información sobre los niveles de ruido existentes en una población. A partir de los resultados obtenidos, se podrán establecer políticas medioambientales encaminadas a la disminución de los niveles sonoros existentes y la reducción del número de personas afectadas por el ruido.

Informe: 06LEA1856F02/2



Grupo de Investigación en Instrumentación y Acústica Aplicada

DIRECCIÓN

Manuel Recuero López

COORDINACIÓN Y REALIZACIÓN

César Asensio Rivera

Miguel Ausejo Prieto

Raúl Pagán Muñoz

EQUIPO TÉCNICO

Ignacio Pavón García

Isidro Matías Mellado

Carlos Escribano Rosillo

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES	5
REFERENCIAS	7
LA CIUDAD	8
EL PROCESO	10
MODELO DE CÁLCULO EMPLEADO	12
Datos de entrada	12
Ámbito de estudio	12
El terreno	12
Edificios	12
Calles y carreteras	13
Líneas ferroviarias	14
Datos de los trenes	15
Pantallas acústicas	15
Población	15
Condiciones ambientales	15
Mejoras	16
Análisis de resultados	18
Mapas sonoros	18
Población expuesta al ruido	19
ANÁLISIS DEL PROCESO DE SIMULACIÓN	22
CONCLUSIONES PALMA	23
ZONAS DE OCIO	26
RECOMENDACIONES	27
Actualización de la legislación local	27
Zonificación acústica	27
Formación	27
Monitorización permanente	27
Otras líneas de actuación	28
PRIMERO	28
SEGUNDO	28
TERCERO	29
MAPAS SONOROS	30
ANEXO 1. DEFINICIONES	31
ANEXO 2. VALIDACIÓN MEDIANTE MEDIDAS DE RUIDO	33
ANEXO 3. OTROS MAPAS	34

MAPA ESTRATÉGICO DE RUIDO

PALMA DE MALLORCA

INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica es motivo de preocupación por las graves molestias que origina y por sus efectos sobre la salud, el comportamiento humano y las actividades de las personas. Prueba de ello es que gran parte de las denuncias y quejas en materia ambiental planteadas ante las autoridades tienen por objeto actividades que provocan ruido o vibraciones excesivas y molestas.

Consciente de esta problemática, el **Ayuntamiento de Palma de Mallorca**, a través de la Agenda local 21 (perteneciente al área de Medio Ambiente), ha venido desarrollando actividades y proyectos encaminados a efectuar una diagnosis del ruido existente en el municipio, como herramienta básica para conseguir la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos, en lo referente a la afección producida por el ruido.

Encontrado en la **Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental**, así como en la **Ley 37/2003 del Ruido**, el objetivo de este documento consiste en realizar un diagnóstico de la situación actual existente en el Municipio, proponiendo futuros **Planes de Acción** y creando los cimientos que permitan asentar las herramientas básicas para la obtención de mapas estratégicos de ruido dinámicos y actualizados mediante técnicas de simulación.

Este estudio engloba los diferentes aspectos:

- ▣ Ruido de tráfico rodado
- ▣ Ruido de tráfico ferroviario
- ▣ Ruido global (todas las fuentes)¹
- ▣ Análisis de población expuesta al ruido
- ▣ Propuesta de acciones correctoras

En junio de 2007, se presentó una versión inicial de este informe (*revisión 0*). Dicho documento, ofrecía una valoración global de los niveles sonoros en el municipio, que fue obtenida mediante técnicas de simulación, siguiendo recomendaciones internacionales, y en función de la información disponible y aportada por las autoridades locales.

La presente revisión (*revisión 1*), supone una mejora sustancial en la precisión de los resultados ofrecidos, ya que de forma coordinada con el Ayuntamiento, se han efectuado campañas de medición y adquisición de datos, que han permitido mejorar la calidad de los datos de entrada a los modelos acústicos.

¹ No se ha localizado ninguna afección sobre la población relacionada con la actividad industrial, dada la ausencia de industria pesada

Queda excluido de este estudio el impacto sonoro generado por las actividades portuarias y aeroportuarias, ya que será evaluado por las entidades competentes en la gestión de estas actividades.

ANTECEDENTES

El ruido es un problema universal que, en algún momento de sus vidas afecta, en mayor o menor medida, a cada uno de los habitantes de un entorno urbano.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) muestra el ruido como un grave problema para el bienestar y la salud de las personas. Es origen de malestar e irritación, pudiendo producir agresividad y estrés. Afecta a la inteligibilidad de la palabra, el estado de ánimo y la concentración. Puede originar dolores de cabeza y perturbación del sueño, lo que a su vez acarrea serios problemas para el descanso y la salud. También se considera el ruido como un factor de riesgo en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, y tiene efectos nocivos sobre el desarrollo cognitivo, por no mencionar el deterioro que una exposición prolongada puede suponer sobre la audición.

El ruido está ineludiblemente ligado al crecimiento y desarrollo de las sociedades, especialmente en los entornos urbanos, donde los crecimientos demográficos van unidos a una mayor demanda de medios de transporte, siendo estos la principal fuente de ruido en las ciudades. Entre los medios de transporte, el tráfico rodado resulta especialmente problemático debido a que no está restringido a zonas concretas, sino que forma una red por toda la ciudad, lo que dificulta la adopción de medidas de control.

El ruido procedente del ferrocarril, tiene un ámbito de afección muy limitado, ligado al trazado de las vías, y por lo tanto el número de personas perturbadas es menor que en el caso del ruido de tráfico. Además, las medidas de control de ruido suelen ser bastante efectivas, aunque en ocasiones los costes pueden ser elevados.

En el documento **Guidelines for community noise**, de 1999, la OMS estableció una serie líneas básicas de actuación para la gestión de la contaminación acústica. Entre estas, la realización de mapas de ruido se ha convertido en una piedra angular que permite implementar iniciativas en diversos aspectos básicos:

- ▣ Establecer límites a la emisión de las actividades ruidosas.
- ▣ Planificar los medios de transporte: estableciendo limitaciones en la velocidad, características o trazado de las infraestructuras.
- ▣ Planificar los usos del suelo, teniendo en consideración las emisiones acústicas producidas por las fuentes sonoras, así como la sensibilidad frente al ruido de las distintas actividades.
- ▣ Establecer requisitos mínimos de aislamiento acústico en los edificios que permitan compatibilizar las actividades desarrolladas en el interior, acomodándolas frente al ruido ambiental existente en el exterior.
- ▣ Establecer otras medidas de control de ruido de las transmisiones sonoras.

Así mismo, la realización de un mapa de ruido, permite realizar un diagnóstico de los niveles sonoros presentes en la ciudad, procedentes de todas aquellas actividades que realmente se encuentran asentadas. La interpretación de los resultados permite detectar las zonas donde el ruido supone un problema, y categorizar la magnitud del mismo en relación con el número de personas afectadas.

En el Municipio de Palma de Mallorca, la problemática originada por el ruido, ha causado preocupación desde hace tiempo. A continuación, se citan las Ordenanzas y modificaciones referentes a la contaminación acústica:

- Ordenanza para la protección del medio ambiente contra la contaminación por ruidos y vibraciones. Por acuerdo plenario de día 19 de julio de 1995 fue aprobada definitivamente la Ordenanza municipal para la protección del medio ambiente contra la contaminación por ruidos y vibraciones, publicada en el BOCAIB núm. 95 de 29/07/95, entró en vigor el día 12 de agosto de 1995.
- Por acuerdo plenario de 28 de mayo de 1998 se aprobaron definitivamente modificaciones en los artículos 45.5, 46.2, 48, 52 y 53.1 de la Ordenanza, publicadas en el BOCAIB núm. 78 de 16.06.98 entraron en vigor el día 26 de junio de 1998.
- Por acuerdo plenario de 25 de enero de 2001 se aprobaron definitivamente modificaciones en los artículos 45.8 i 45.9 de la Ordenanza y por acuerdo plenario de 29 de marzo de 2001 se aprobó definitivamente la modificación del artículo 34 publicadas en el BOCAIB núm. 78 de 16.06.98 y BOIB núm. 65 de 31/05/01 entraron en vigor los días siguientes de sus respectivas publicaciones.

Una vez firmado el convenio de colaboración entre la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y el **Ayuntamiento de Palma de Mallorca** para la realización del mapa de ruido de la ciudad, y gracias a la participación activa del equipo coordinador de la Agenda Local 21 del Área de Medio Ambiente de Palma, se procedió a la realización de medidas acústicas en campo a lo largo del mes de junio de 2.008. El objeto de este trabajo es, por un lado realizar la corrección de las posibles desviaciones que se puedan dar en la aplicación del modelo informático por el que se obtiene el mapa de ruido municipal, y por otro lado controlar las posibles zonas de conflicto con el objeto de ver el impacto que dicha fuente de ruido causa en la zona y aportar soluciones de cara al futuro **plan de acción** en materia de ruido, tal y como indica la Ley 37/2003 de 17 de noviembre, de ruido.

Los objetivos fundamentales de este proyecto son:

- Contemplar aquellas fuentes de ruido que por sus niveles de emisión sonora pueden afectar a su entorno próximo, y por lo tanto en el estado acústico de la ciudad, con el objetivo final de obtener un indicador, que represente la población afectada por niveles de ruido excesivos.
- Controlar y gestionar las fuentes generadoras de emisiones acústicas puntuales.
- Realizar un diagnóstico de la contaminación acústica.
- Planificar y controlar la contaminación acústica.
- Proponer las actuaciones correctoras y preventivas correspondientes, dándoles forma de Plan de acción, de acuerdo con las directrices establecidas en la vigente Ley del ruido 37/2003, y en el posterior desarrollo de la misma.
- Los resultados obtenidos, deberá servir para redactar una propuesta de ordenanza municipal de ruidos, que modifique o sustituya la vigente **Ordenanza Municipal para la Protección del Medio ambiente contra la Contaminación por Ruidos y Vibraciones**, con el objeto de adecuarla a lo estipulado en la normativa vigente sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

REFERENCIAS

Organización Mundial de la Salud

- Guidelines for community noise, 1999

Unión Europea

- Libro Verde sobre la política futura de lucha contra el ruido. Bruselas 1996. Unión Europea
- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
- European Commission Working Group – Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN) – Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure (Final Draft).
- Imagine-project, IMA32TR-040510-SP08 – Determination of Lden and Lnight using measurements

Legislación Nacional

- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Instrucciones para la entrega de los datos asociados a los mapas estratégicos de ruido. Aglomeraciones. Ministerio de Medioambiente. Madrid, Octubre de 2006.

Legislación Autonómica

- Ley 1/2007, de 16 de marzo, contra la contaminación acústica de las Illes Balears

Legislación Municipal

- Ordenanza municipal para la protección del medio ambiente contra la contaminación por ruidos y vibraciones, publicada en el BOCAIB núm. 95 de 29.07.95. Diversas modificaciones en 1998 y 2001.

Normas de referencia

- NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPC-CSTB). Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel.
- Reken - en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaï '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 Noviembre 1996.
- ISO 9613-1:1993 Acoustics-Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.
- ISO 9613-2:1996 Acoustics-Attenuation of sound during propagation outdoors Part 2: General method of calculation.

LA CIUDAD

Palma de Mallorca es la capital de la Comunidad Autónoma de las Islas Baleares. Se encuentra en la isla de Mallorca y es la mayor ciudad del archipiélago, con 404.335 habitantes.

El término municipal de Palma tiene una superficie de 21.355,844 hectáreas y limita con los términos de Calviá, Puigpuñent, Esporles, Valldemosa, Buñola, Marratxí, Santa Eugenia, Algaida y Lluchmayor, además de con el mar.

La ciudad cuenta con un aeropuerto civil y militar situado a 8 Km al este del centro de la ciudad: **Aeropuerto de Son Sant Joan**. Es el tercer aeropuerto español por número de pasajeros, sólo detrás del Aeropuerto Internacional de Barajas (Madrid) y del aeropuerto del Prat de Llobregat (Barcelona), sin embargo, dada su estacionalidad, los supera en la época estival en lo referente al número de operaciones.

En 1990 se creó la **Vía de cintura**, autopista de circunvalación que desvía el tráfico del casco urbano.

La Línea 1 de autobuses de Palma cubre el recorrido entre la ciudad, el puerto y el aeropuerto. Las líneas regulares de autobuses con destino a todos los pueblos de la isla son operadas por compañías privadas mediante adjudicaciones públicas a través del TIB (Transportes de las Islas Baleares).

Palma dispone de dos estaciones de ferrocarril operadas por dos compañías diferentes, ambas situadas junto a la Plaza de España.

La estación de ferrocarril de Inca es gestionada por la compañía pública SFM (Servicios Ferroviarios de Mallorca). Desde esta estación operan los ferrocarriles de las líneas Palma de Mallorca-Inca-Sa Pobla y Palma de Mallorca-Inca-Manacor. Dentro del casco urbano, que corresponde con la zona de estudio, ambas líneas comparten infraestructura.

En la Plaza de España, además de las dos líneas de tren, se encuentran las líneas de autocares de servicio regular y el metro.

La estación de ferrocarril de Sóller es gestionada por la compañía privada Ferrocarril de Sóller SA. La utilizan los trenes de la línea Palma de Mallorca-Bunyola-Sóller. Esta línea es utilizada por trenes clásicos, originales de principio del siglo XX y poseen más de 100 años. Se trata de un tren muy visitado por turistas.

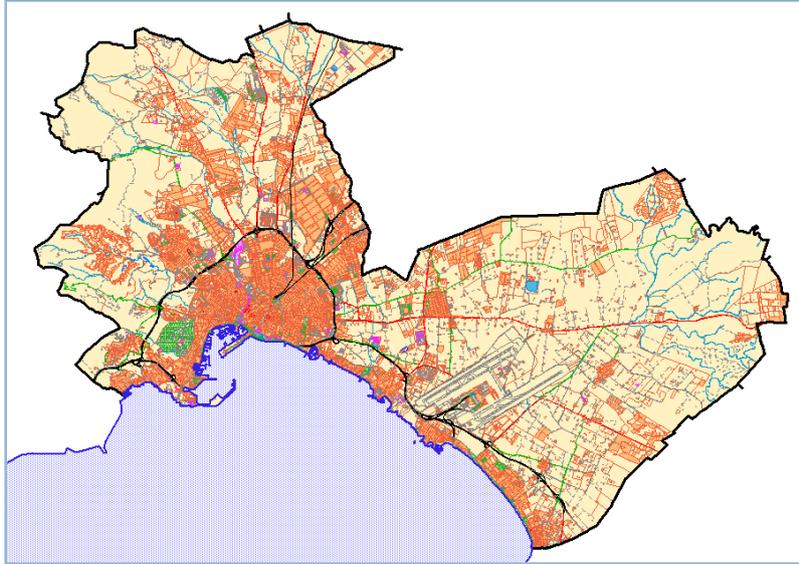


ILUSTRACIÓN 1. PALMA DE MALLORCA

EL PROCESO

Siguiendo las tendencias internacionalmente asentadas para la elaboración de mapas estratégicos de ruido, se optó por la utilización de un modelo informático en lugar de las técnicas basadas en medidas de campo.

Un modelo acústico consiste en una representación digital en tres dimensiones de aquellos aspectos del mundo real que son significativos de cara a la emisión, propagación y recepción del sonido en el medio exterior. Una vez incluidos en el modelo estos elementos, se aplican algoritmos de cálculo que permiten predecir la propagación del sonido.

Existen diferentes modelos de cálculo de ruido de tráfico rodado, entre los que destacan los siguientes:

- ▣ FHWA Traffic Noise Model – Estados Unidos.
- ▣ **NMPB – Routes – 96 – Francia.**
- ▣ Calculation of Road Traffic Noise (CRTN) – Reino Unido.
- ▣ Richtlinien für Lärmschutz an Straßen (RLS-90) – Alemania.
- ▣ Nordic Prediction Method for Traffic Noise (Nord 2000) – Suecia, Noruega, Islandia, Finlandia y Dinamarca.

En los últimos años, la Unión Europea viene mostrando una preocupación en materia medioambiental que se extiende al ámbito de la contaminación acústica. Diferentes iniciativas han desembocado en la creación de un grupo de trabajo formado por expertos técnicos de los diferentes países miembros, encargado de la creación de un modelo de cálculo armonizado (Harmonoise). Este método se encuentra en fase de validación, por lo que ha sido descartado para la realización de este estudio.

No obstante, asumiendo las recomendaciones de la **Unión Europea (Directiva 2.002/49/CE)**, así como las indicaciones de la **Ley 37/2003 del Ruido**, se ha decidido utilizar el modelo francés **NMPB** por considerarlo el más adecuado en base a los datos de entrada necesarios, y en base a la experiencia en la precisión de los resultados obtenidos.

Este modelo permite calcular la atenuación del sonido durante su propagación por el medio exterior, siendo sus principales características las siguientes:

- **Parámetros asociados a la fuente sonora:**
 - Intensidad de tráfico.
 - Porcentaje de vehículos pesados.
 - Velocidad media de los vehículos .
 - Características del flujo de tráfico.
 - Características del pavimento.
 - Trazado tridimensional de las calles y carreteras.

■ **Parámetros asociados a la propagación del sonido:**

- Cotas del terreno.
- Características acústicas del suelo.
- Localización de edificios, pantallas acústicas, y en general todos los elementos que puedan alterar la propagación del sonido.
- Temperatura y humedad relativa del aire.
- Coeficiente de absorción de los materiales (edificios, pantallas,...).

■ **Parámetros asociados al receptor:**

- Altura y localización de los receptores.

En cuanto a los métodos de cálculo de ruido ferroviario, también existen diversas alternativas, sin embargo, la Unión Europea ha decidido adoptar el método nacional de cálculo de los Países Bajos, publicado en «**Reken en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer**» (RMR/RLM2/SMR2). Dicho modelo se considera el más adecuado para los países que carecen de un modelo propio, como es el caso de España.

Entre los distintos paquetes software existentes en el mercado para implementación del modelo acústico seleccionado se eligió el software **Lima**, desarrollado *Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH* y comercializado por *Brüel & Kjaer*.

Lima permite la creación y realización de cálculos en modelos a gran escala, habiendo sido utilizado en la creación de mapas de ruido de ciudades tan importantes como Madrid, Birmingham o Buenos Aires. Entre sus principales ventajas figuran las siguientes:

- Incorpora herramientas de importación de datos a partir de formatos *GIS*.
- Permite optimizar y reparar carencias detectadas en la entrada de datos.
- Incorpora diferentes modelos de cálculo, entre los que se encuentran los métodos seleccionados para la realización de este estudio (**NMPB y SMR2**)
- Permite un acceso estructurado a los elementos que contiene el modelo, lo que permite realizar cambios, correcciones o calibraciones de los diferentes elementos.
- Permite la obtención de **mapas de conflicto y exposición sonora**
- Permite optimizar la salida de resultados a formatos compatibles con las herramientas *GIS* más extendidas del mercado.
- Su estructura modular y sus servidores de cálculos permiten la secuenciación de tareas, así como la realización en paralelo de estas, aprovechando incluso las características de servidores con varios procesadores. De esta manera es posible automatizar y agilizar el cálculo.

MODELO DE CÁLCULO EMPLEADO

Datos de entrada

Para crear un modelo acústico, es necesario conocer y describir adecuadamente los principales elementos que intervienen en la generación y propagación del sonido.

Para poder incorporar todos los elementos, la información debe estructurarse adecuadamente, en forma de capas de información geográfica. Cada uno de los distintos elementos, o capas, que intervienen en la generación del modelo deben contener la información mínima imprescindible, de manera que no se comprometa la exactitud de los resultados, a la vez que se minimizan los costes computacionales.

El manejo y optimización de estas capas de información, debe gestionarse mediante herramientas GIS, de manera que se facilite la labor del consultor acústico, durante el proceso de fusión de toda la información mediante el sistema de simulación.

Ámbito de estudio

Tras realizar un primer análisis, se propuso y acordó con la Agenda 21 el ámbito de estudio, centrándolo en las zonas habitadas, y excluyendo aquellas zonas que, perteneciendo al término municipal, no presentan densidades de población importantes, o las que debido a los usos del suelo asentados, no resultan especialmente sensibles al ruido. En el Mapa A0.1 se delimita el ámbito de estudio.

El terreno

El modelo digital suministrado por el **Departamento de Cartografía del Instituto Municipal de Innovación (IMI)** de Palma de Mallorca, constaba de líneas de nivel a una escala de 1:500 y 1:2000. Dicho modelo también contenía puntos de cota a una escala de 1:500.

Se compuso un modelo tridimensional con la información útil de curvas maestras, líneas de nivel y puntos de cota. Para ello fue necesario simplificar y eliminar gran cantidad de la información existente en la cartografía original, por su escaso interés desde el punto de vista acústico. Dicho modelo comprende la totalidad del ámbito de estudio, y lo extiende una longitud de, al menos 500 m, de manera que aquellos elementos que pudieran afectar a la propagación del sonido no quedaran excluidos. De esta manera se pretende reducir la zona de cálculo, sin perder precisión en los resultados.

En el interior del ámbito de estudio se han contemplado las cotas del terreno con una precisión de 1 m, mientras que en los márgenes exteriores a éste se han empleado cotas de 5 m.

De cara a reducir el coste computacional, aplicando técnicas GIS, se suavizaron las curvas de nivel, eliminando puntos redundantes o innecesarios.

Edificios

Además de los edificios correspondientes a viviendas, se incluyeron en este apartado los edificios públicos, los lugares de culto, los depósitos y otros obstáculos como construcciones monumentales, plaza de toros, estadios y otras instalaciones deportivas. La inclusión o exclusión de cada obstáculo acústico se realizó de manera pormenorizada barrio a barrio, atendiendo a criterios técnicos.

La inmensa mayoría de edificios quedan dentro del ámbito de estudio, respetando los edificios que se encontraban fuera de la zona de cálculo pero dentro de un radio de 500 metros alrededor de dicha zona. El resto de edificios no fueron incluidos en el modelo, por no presentar ninguna característica relevante de cara a la propagación acústica.

La cartografía original disponía de información detallada de cada edificio dentro de cada parcela, que fue utilizada para la detección de las viviendas y los obstáculos acústicos. Cada edificio tenía asociada una cota absoluta. Dicha cota se redondeó a 1 metro de cara al cálculo de la altura relativa de los edificios.

De cara a optimizar el modelo sin perder precisión en los resultados, se simplificaron los edificios que tenían la misma altura, reduciendo el número de polígonos y minimizando el tiempo de cálculo.

Tras realizar las simplificaciones y comprobar y corregir polígonos para su correcto manejo por el software, se ha obtenido un modelo acústico con 64.654 polígonos correspondientes a edificios y con una extensión aproximada de 80 km².

Calles y carreteras

El **Departamento de movilidad** del **Ayuntamiento de Palma de Mallorca** proporcionó los datos referentes al modelo de tráfico del municipio. Este modelo se obtiene a partir de técnicas de macro simulación y es ajustado a partir de datos de espiras.

El modelo de tráfico contempla los ejes viarios de mayor importancia de la ciudad. Cada tramo de calles lleva asociada la siguiente información, útil para la creación del modelo acústico:

- ▣ Trazado del tramo.
- ▣ Número de carriles por sentido de circulación.
- ▣ Sentidos de circulación de los vehículos.
- ▣ Tipo de vía.
- ▣ Intensidad Media Diaria (IMD) en cada sentido.

De manera adicional, se proporcionaron los datos de las medidas realizadas en 31 espiras situadas en 17 cruces repartidos por la ciudad. Dichas medidas contenían un histórico de datos del flujo de vehículos en tramos de una hora durante un período de un año (valores de 2005). El procesado de dicha información fue utilizado para analizar la distribución horaria del tráfico de la ciudad. Dicha información es necesaria para realizar la distribución de los datos de IMD a cada uno de los períodos de estudio (día, tarde y noche). Los datos obtenidos se muestran en la *Tabla 1*.

TABLA 1. DISTRIBUCIÓN DE TRÁFICO

Período	Porcentaje de IMD
Día (07 – 19 h)	73%
Tarde (19 – 23 h)	16%
Noche (23 – 07 h)	11%

Dado que el modelo de tráfico sólo incorpora aquellos viarios de cierta importancia atendiendo a criterios de movilidad, algunos tramos de vía no contenían valores de IMD asignados.

Se procedió a asignar valores por defecto en función del tipo de vía y la velocidad a la que circulan los vehículos, siguiendo las recomendaciones internacionales.

La clasificación de las vías se muestra en la *Tabla 2*.

TABLA 2. TIPOS DE VÍA

Tipo de vía
“A”: Vía de Cintura y Autopistas
“B”: Paseo Marítimo y rutas de la EMT
“C”: Vías principales
“D”: Vías pequeñas

Debido a que la información de carreteras y del resto de elementos que forman el modelo acústico procedía de diferentes fuentes, fue necesario realizar una transformación de la capa de tráfico con el fin de ajustar el sistema de coordenadas y la geometría de todos los elementos. Se utilizaron fotografías aéreas para poder realizar estas transformaciones, corrigiendo y ajustando el modelo acústico para hacerlo coincidir con la realidad física.

Salvo las calles con un volumen de tráfico muy elevado y las situadas en el casco urbano, y aquellas con calzadas separadas, el resto de calles se han modelado mediante un eje central sin ser desdobladas en cada carril. Esta modelización implica una concentración de la potencia sonora lineal en un único eje, obteniendo unos resultados similares a los obtenidos digitalizando cada carril. Se ha optado por este modelo, debido a la precisión del trazado de las carreteras y la ausencia de datos en determinados tramos.

La distribución de los vehículos ligeros y pesados se ha realizado basándose en el tipo de vía, realizándose estimaciones basadas en los conteos efectuados a tal efecto. Cada tipo de vía tiene asociado un porcentaje diferente para cada período de estudio y cada tipo de vehículo, como se muestra en la *Tabla 3*.

TABLA 3. PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS

Tipo de vía	Vehículos pesados Día (07 – 19 h)	Vehículos pesados Tarde (19 – 23 h)	Vehículos pesados Noche (23 – 07 h)
“A”	15%	10%	5%
“B”	10%	6%	3%
“C”	5%	2%	1%
“D”	2%	1%	0%

Finalmente, los datos introducidos en el modelo acústico fueron, para cada uno de los períodos de evaluación (día, tarde y noche):

- ▣ Tipo de vía.
- ▣ Dirección de la vía.
- ▣ Intensidad de vehículos ligeros (vehículos/hora).
- ▣ Velocidad de los vehículos ligeros (kilómetros/hora).
- ▣ Intensidad de vehículos pesados (vehículos/hora).
- ▣ Velocidad de los vehículos pesados (kilómetros/hora).

Líneas ferroviarias

El trazado de las líneas ferroviarias, al igual que lo descrito en la mayoría de las carreteras, se ha realizado mediante un único eje central.

Tanto la línea Palma de Mallorca-Inca, como Palma de Mallorca-Soller, se han dividido en distintos tramos en función de la velocidad media de los trenes, caracterizándolas según los puntos de validación.

La descripción de cada tramo se ha realizado basándose en la cartografía y fotografías existentes, además de visitas de campo.

De este modo se han definido las líneas de tren mediante los siguientes parámetros:

- ▣ Trazado y longitud de la vía.
- ▣ Altura relativa de la vía.
- ▣ Tipo de vía en función del balasto y las traviesas.
- ▣ Tipo de vía en función del número de juntas y cruces.
- ▣ Velocidad máxima de los trenes que circulan por la vía.

Los datos utilizados para la modelización del ruido ferroviario corresponden a la situación existente en 2006, habiendo sido realizadas las modelizaciones en 2007. Las obras de soterramiento acometidas con posterioridad no han sido contempladas en la realización de estos trabajos. Su influencia se recogerá en futuras revisiones del mapa de ruidos del municipio.

Datos de los trenes

Los datos de los trenes se han obtenido tanto de los horarios oficiales como mediante pequeñas correcciones realizadas a partir de las medidas realizadas.

Los datos asociados a los trenes son:

- ▣ Categoría acústica.
- ▣ Número de vagones.
- ▣ Velocidad máxima.
- ▣ Número de trenes diarios durante los períodos de estudio (día, tarde y noche) .

Pantallas acústicas

Se han simulado como pantallas acústicas los muros y las construcciones monumentales. De este modo, se ha utilizado la información cartográfica para delimitar recintos como la catedral o el paseo marítimo,...

Población

Mediante herramientas GIS, se realizó una asignación de número de habitantes a cada uno de los edificios residenciales. Relacionando esta información con los resultados de las simulaciones se está en disposición de ofrecer datos concretos sobre el número de personas expuestas a los diferentes rangos sonoros.

Condiciones ambientales

TABLA 4. - CONDICIONES METEOROLÓGICAS

	Media anual	Media máxima anual	Media mínima anual
Datos aportados por el <i>Instituto Nacional de Meteorología</i>			
Temperatura	16 °C	22 °C	10 °C
Humedad Relativa	73 %	80 %	63 %

Dado que los resultados de los mapas sonoros son expresados mediante valores globales ponderados A, y teniendo en cuenta que en un ambiente urbano los rayos sonoros que aportan más energía a un

receptor suelen recorrer distancias cortas (debido a la distribución de calles y edificios), el efecto de las condiciones ambientales sobre los mapas sonoros, se minimizan.

Teniendo esto en cuenta, y con el objetivo de eliminar elementos que aporten incertidumbre al modelo, y facilitar las comparaciones con futuros escenarios, se considera adecuado fijar unos valores de referencia para los parámetros de temperatura y humedad relativa del aire. Dados los valores medios existentes en la ciudad, se seleccionaron como valores de referencia los recomendados por norma francesa **NMPB-Routes-96**, temperatura 15°C y una humedad relativa 70%, muy similares a los datos existentes en Palma de Mallorca.

Mejoras

A lo largo de todo el proceso de planificación y ejecución de los trabajos, se pusieron de manifiesto carencias y deficiencias referentes a los datos de entrada al modelo de ruido de tráfico rodado.

Para afrontar la elaboración de una primera fase de mapas de ruido, y por lo tanto ante la falta de experiencias previas, las administraciones no disponen de la información necesaria para la creación de los modelos acústicos. En algunos casos, parte de la información existe, pero presenta deficiencias por haber sido adquirida con una finalidad diferente.

Este fenómeno ha sido detectado previamente en otras ciudades europeas, lo que ha permitido confeccionar a nivel comunitario² un compendio de herramientas y recomendaciones para poder ejecutar los mapas de ruido ante la falta de datos de entrada a los modelos. Este manual, ofrece alternativas para tratar los datos disponibles o estimar los no disponibles, ofreciendo una evaluación de la complejidad, coste y precisión que aportan.

La versión del mapa de ruido entregada en junio de 2008 fue confeccionada atendiendo a estas recomendaciones internacionales, y optando por las opciones más conservadoras (para una mayor protección de los ciudadanos), en aquellos casos en los que la estimación era la única opción factible.

Con el objetivo de mejorar la calidad y precisión de los resultados ofrecidos en esta primera versión del mapa de ruido, se estudiaron distintas posibilidades para recopilar y mejorar la calidad de los datos de entrada al modelo acústico. Con la participación de la Agenda 21 y el Departamento de movilidad del Ayuntamiento de Palma se adoptaron las siguientes acciones, cuyo fruto es la revisión del mapa de ruido plasmada en este documento:

- ▣ **Revisión del modelo de tráfico.** Esta labor fue realizada por el departamento de movilidad.
- ▣ **Campaña de medida de velocidad.** La UPM organizó una campaña de medida de la velocidad de los vehículos en las vías más representativas de la ciudad.
- ▣ **Conteos de vehículos pesados.** El departamento de movilidad facilitó el acceso a las cámaras existentes para realizar el seguimiento del tráfico, lo que permitió a la UPM realizar un conteo para establecer el porcentaje de vehículos pesados en puntos representativos de la ciudad.
- ▣ **Campaña de medida de ruido.** En coordinación con la Agenda 21, la UPM ubicó 7 monitores de ruido durante un período de 10 días. Los niveles sonoros registrados permitiría realizar una validación y calibración de los resultados.

La adopción de estas soluciones ha permitido mejorar la calidad de los datos de entrada en lo referente a la descripción del tráfico rodado, ya que la estimación y extrapolación de datos se efectúa tomando

² Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. Version 2. Final Draft. European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN)

como partida datos procedentes de medidas efectuadas en Palma de Mallorca. De esta manera se pretendía mejorar la precisión de los resultados finales.

Las mediciones de ruido, permitieron observar la mejora en la precisión de los resultados, y además efectuar una calibración de los mismos basada en datos objetivos.

Este proceso no ha afectado en manera alguna los resultados referentes al ruido ferroviario, por lo que se mantienen los mapas obtenidos en la revisión 0 del estudio.

Análisis de resultados

A partir del modelo acústico creado y el programa de simulación empleado (Lima), se obtienen resultados que permiten valorar el ambiente sonoro exterior y evaluar los niveles de exposición sonora de los edificios. Estos, están relacionados con la inmisión sonora a la que se ve expuesta la población en el interior de sus viviendas. En este sentido, se han realizado dos tipos de cálculos:

Mapas de niveles sonoros.

Apoyándonos en las recomendaciones efectuadas por el grupo de trabajo de la Comisión Europea, para la obtención de un mapa de niveles sonoros se ha empleado una rejilla de receptores espaciados 10 m, y situados a una altura de 4 m sobre el suelo. Los resultados deben permitir realizar una presentación en forma de mapas de contornos. Estos mapas podrán ser utilizados para realizar una valoración general de los niveles sonoros en la ciudad y facilitarán el proceso de divulgación de los resultados. Este tipo de representación también puede ser utilizado por las administraciones locales durante las fases de planificación urbanística, de manera que se puedan alejar las actividades sensibles de aquellas zonas donde los niveles sonoros son más elevados.

Niveles sonoros en fachada.

Para la aplicación de los diferentes métodos existentes que evalúan el malestar originado por el ruido sobre las personas, es necesario calcular el nivel sonoro incidente en la fachada de los edificios. A partir de la asignación de niveles sonoros a edificios, se está en disposición de calcular el total de población expuesta a los distintos niveles sonoros.

Mapas sonoros

Los resultados se presentan en una escala en pasos de 5 dB que corresponde con los criterios fijados por el Ministerio de Medioambiente, recogidos en el documento: **“Instrucciones para la entrega de los datos a los Mapas Estratégicos de Ruido. Aglomeraciones”**. Según estas instrucciones, al final del documento se presentan los siguientes mapas:

- 11_1T_n: Indicador L_{día}. Ruido total (todos los focos), 10 hojas.
- 11_2T_n: Indicador L_{tarde}. Ruido total (todos los focos), 10 hojas.
- 11_3T_n: Indicador L_{noche}. Ruido total (todos los focos), 10 hojas.
- 11_4T_n: Indicador L_{den}. Ruido total (todos los focos), 10 hojas.
- 11_1R_n: Indicador L_{día}. Tráfico Rodado, 10 hojas.
- 11_2R_n: Indicador L_{tarde}. Tráfico Rodado, 10 hojas.
- 11_3R_n: Indicador L_{noche}. Tráfico Rodado, 10 hojas.
- 11_4R_n: Indicador L_{den}. Tráfico Rodado, 10 hojas.
- 11_1F_n: Indicador L_{día}. Tráfico Ferroviario, hojas 3, 4 y 5.
- 11_2F_n: Indicador L_{tarde}. Tráfico Ferroviario, hojas 3, 4 y 5.
- 11_3F_n: Indicador L_{noche}. Tráfico Ferroviario, hojas 3, 4 y 5.
- 11_4F_n: Indicador L_{den}. Tráfico Ferroviario, hojas 3, 4 y 5.

Población expuesta al ruido

En lo referente a la creación de Mapas Estratégicos de Ruido, los valores de referencia a partir de los que debe calcularse la población expuesta al ruido son definidos en el Real Decreto 1367. Por lo tanto, nos referiremos a 50 dBA para el indicador Ln, y 55 dBA para los indicadores Ld, Le y Lden.

Los valores de referencia deben ser considerados de cara a la creación de nuevos desarrollos urbanísticos, ya que a partir de estos niveles sonoros empiezan a producirse efectos no deseados sobre la salud de las personas.

A partir del análisis de los niveles sonoros en las fachadas de los edificios, las *Tabla 6, 7 y 8* muestran la población que se encuentra expuesta a niveles sonoros por encima de los objetivos establecidos.

TABLA 5. POBLACIÓN EXPUESTA AL RUIDO DE TRÁFICO RODADO

Día (07 – 19 h)			Tarde (19 – 23 h)			Noche (23 – 07 h)		
Ld (dBA)	Población expuesta (total 4.043 x100 hab)		Le (dBA)	Población expuesta (total 4.043 x100 hab)		Ln (dBA)	Población expuesta (total 4.043 x100 hab)	
	x100 hab	%		x100 hab	%		x100 hab	%
< 55	1527	38%	< 55	1865	46%	< 45	1033	26%
55 – 60	1259	31%	55 – 60	1078	27%	45 – 50	1048	26%
60 – 65	719	18%	60 – 65	701	17%	50 – 55	1087	27%
65 – 70	378	9%	65 – 70	292	7%	55 – 60	596	15%
70 – 75	146	4%	70 – 75	98	2%	60 – 65	235	6%
> 75	14	0%	> 75	10	0%	65 – 70	41	1%
						> 70	4	0%

Completo (0 – 24 h)		
Lden (dBA)	Población expuesta (total 4.043 x100 hab)	
	x100 hab	%
< 55	1170	29%
55 – 60	1148	28%
60 – 65	955	24%
65 – 70	518	13%
70 – 75	215	5%
> 75	36	1%

TABLA 6. POBLACIÓN EXPUESTA AL RUIDO DE TRÁFICO FERROVIARIO

Día (07 – 19 h)			Tarde (19 – 23 h)			Noche (23 – 07 h)		
Ld (dBA)	Población expuesta (total 4.043 x100 hab)		Le (dBA)	Población expuesta (total 4.043 x100 hab)		Ln (dBA)	Población expuesta (total 4.043 x100 hab)	
	x100 hab	%		x100 hab	%		x100 hab	%
< 55	4.037	99,8	< 55	3.996	98,8	< 45	4.037	99,8
55 – 60	6	0,2	55 – 60	24	0,6	45 – 50	6	0,1
60 – 65	0	0	60 – 65	24	0,6	50 – 55	0	0
65 – 70	0	0	65 – 70	2	0	55 – 60	0	0
70 – 75	0	0	70 – 75	0	0	60 – 65	0	0
> 75	0	0	> 75	0	0	65 – 70	0	0
						> 70	0	0

Completo (0 – 24 h)		
Lden (dBA)	Población expuesta (total 4.043 x100 hab)	
	x100 hab	%
< 55	4.035	99,8
55 – 60	8	0,2
60 – 65	1	0
65 – 70	0	0
70 – 75	0	0
> 75	0	0

TABLA 7. POBLACIÓN EXPUESTA AL RUIDO TOTAL

Día (07 – 19 h)			Tarde (19 – 23 h)			Noche (23 – 07 h)		
Ld (dBA)	Población expuesta (total 4.043 x100 hab)		Le (dBA)	Población expuesta (total 4.043 x100 hab)		Ln (dBA)	Población expuesta (total 4.043 x100 hab)	
	x100 hab	%		x100 hab	%		x100 hab	%
< 55	1526	38%	< 55	1862	46%	< 45	1032	26%
55 – 60	1259	31%	55 – 60	1078	27%	45 – 50	1048	26%
60 – 65	720	18%	60 – 65	702	17%	50 – 55	1087	27%
65 – 70	378	9%	65 – 70	292	7%	55 – 60	596	15%
70 – 75	146	4%	70 – 75	98	2%	60 – 65	235	6%
> 75	14	0%	> 75	11	0%	65 – 70	41	1%
						> 70	4	0%

Completo (0 – 24 h)		
Lden (dBA)	Población expuesta (total 4.043 x100 hab)	
	x100 hab	%
< 55	1169	29%
55 – 60	1148	28%
60 – 65	956	24%
65 – 70	518	13%
70 – 75	215	5%
> 75	37	1%

ANÁLISIS DEL PROCESO DE SIMULACIÓN

La aplicación de técnicas de simulación para la obtención de mapas estratégicos de ruido presenta grandes ventajas con respecto a técnicas basadas en mediciones.

■ Reducción de costes.

Los costes de una campaña de medida suficientemente representativa del promedio anual del ruido, para toda una ciudad son muy elevados. Las técnicas de muestreo temporal y espacial, permiten reducir los recursos empleados, a costa de un considerable incremento de la incertidumbre asociada a los resultados.

■ Análisis de causas.

Mediante técnicas de simulación, resulta muy sencillo realizar un estudio separado de las diferentes fuentes sonoras existentes en una ciudad. De esta manera es posible identificar adecuadamente, y para cada zona, los diferentes factores que intervienen en la contaminación acústica, de cara a la mitigación del ruido.

■ Planes de acción.

Mediante técnicas de medida, dejando a un margen los costes económicos, es posible confeccionar mapas sonoros que describan la afección sonora existente en la actualidad. Sin embargo, mediante la simulación, además de esto, es posible realizar una evaluación de medidas correctoras concretas, incluso cuantificando su efectividad.

■ Planificación.

En fases preoperacionales, resulta imposible efectuar mediciones, por lo que la simulación es la única alternativa para poder efectuar una correcta planificación que atienda a criterios acústicos.

■ Mantenimiento del mapa estratégico de ruido.

Es necesario realizar un seguimiento de la evolución del ruido en la ciudad. Dicho seguimiento puede ser abordado mediante una correcta planificación, que permita actualizar los modelos acústicos a partir de la modificación de los datos de entrada.

A pesar de estas ventajas, la elaboración de mapas sonoros, también presenta algunas dificultades con las que este equipo de trabajo se ha tenido que enfrentar:

- La elaboración de mapas de ruido mediante la aplicación de técnicas de simulación implica la obtención de una amplia gama de datos para la caracterización del modelo acústico. A pesar de que gran parte de dichos datos ya estaba disponible, fue necesario organizar algunas campañas de medición para poder efectuar correcciones y ajustes de manera que el modelo acústico definitivo fuera un fiel reflejo de la realidad.
- La técnica empleada para la obtención de datos de intensidad de tráfico se ha mostrado como adecuada, dados los objetivos del estudio. Sin embargo, determinados tramos viarios presentaban una ausencia de datos, por lo que hubo que asignarles datos por defecto, basándose en criterios aceptados internacionalmente.
- Inicialmente se detectó una carencia en lo referente a la inclusión de velocidad media de los vehículos, por ausencia de información específica. Tras la campaña de medición efectuadas se considera que ha mejorado la fiabilidad de este dato de entrada al modelo.

CONCLUSIONES PALMA

A la vista de los resultados expuestos, la primera conclusión es que la **principal fuente de ruido existente en la población es el tráfico rodado**, que supera tanto en extensión, como en niveles sonoros y población expuesta al ruido al ruido producido por el ferrocarril.

El ruido procedente del ferrocarril, dada la distribución de la red ferroviaria, se encuentra muy localizado, y delimitado.

En el interior del casco urbano las características del tráfico ferroviario, en lo referente a tipos de trenes, velocidades, número de vagones,..., motivan que los niveles sonoros sean de escasa relevancia, viéndose la afección reducida a la fachada más expuesta de cada edificio.

Además, el tráfico rodado escolta el paso de los trenes en el interior del casco urbano, generando en su recorrido unos niveles sonoros que ocultan el impacto que el ruido ferroviario produce en la zona. Aunque el paso de cada tren, produce un sonido que se eleva sobre el ambiente sonoro de la zona, su escasa duración, y su eventualidad, no incrementan la contaminación acústica definida en términos de nivel sonoro equivalente, para ninguno de los períodos de evaluación (día, tarde y noche).

Por último cabe destacar, que durante el período nocturno, la frecuencia de paso de trenes se ve muy reducida, o incluso desaparece en determinados horarios.

Por todos estos motivos, puede concluirse de forma inequívoca que la afección acústica generada por el ferrocarril se ve claramente enmascarada por el ruido de tráfico. Por lo tanto, resulta prioritaria la actuación sobre esta última fuente de ruido, relegándose las actuaciones sobre el ruido ferroviario a un segundo plano.

En lo que se refiere al tráfico rodado, se han detectado intensidades diarias muy importantes, que contribuyen de forma clara a marcar el ambiente sonoro en la Ciudad.

La siguiente imagen muestra un esquema de los principales ejes viarios, desde el punto de vista del ruido producido el núcleo urbano.

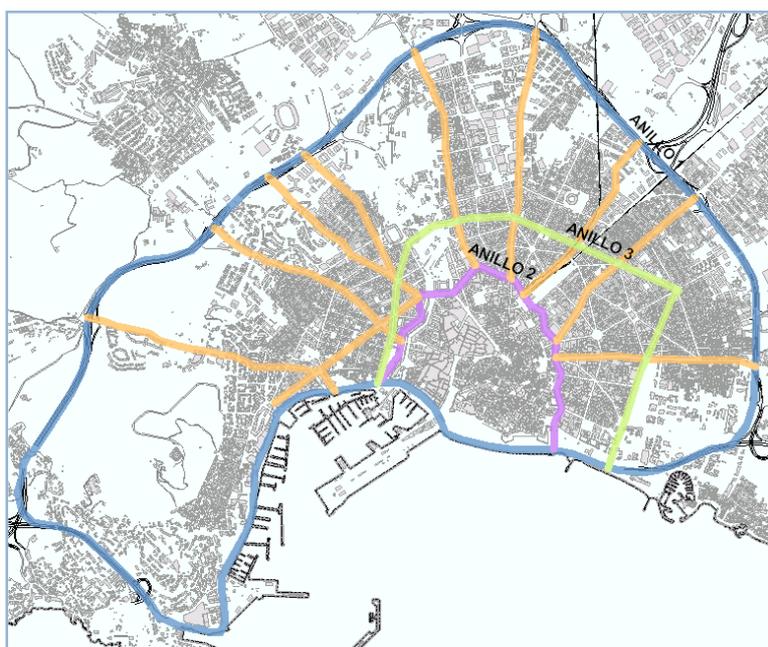


ILUSTRACIÓN 2. PRINCIPALES EJES VIARIOS

Los niveles sonoros más importantes aparecen de lo que denominaremos *Anillo 1*, que bordea el casco urbano:

- La Vía cintura (PM-20) recoge y distribuye la mayor parte del tráfico de la ciudad. Presenta intensidades de tráfico y velocidad de vehículos importantes, por lo que los niveles sonoros en sus inmediaciones superan los 75 dBA en todos los períodos de evaluación.
- La Avenida de Gabriel Roca contribuye a cerrar el anillo con la Vía Cintura por la Costa. Los niveles sonoros superan los 65 dBA (incluso en algunas zonas los 70 dBA) en el período nocturno, y los 75 en el período diurno.
- La Autopista de Levante es la continuación por la costa de la Avenida Gabriel Roca, y cierra la circunvalación con la Vía Cintura. La velocidad de los vehículos se incrementa, así como las intensidades, por lo que los niveles sonoros superan los 70 dBA en el período nocturno y los 75 dBA en el diurno.

En el interior del casco, existen dos nuevos *anillos* que presentan niveles sonoros elevados durante todos los períodos de evaluación:

- El *Anillo 2* lo componen las Avenidas Mallorca, Portugal, Alemania, Comte de Sallent, Joan March, Alexandre Roselló y Gabriel Alomar i Villalonga. En estas calles los niveles sonoros superan los 75 dBA durante los períodos de día y tarde. En el período nocturno los niveles superan los 70 dBA, en gran parte del recorrido. En el interior de este anillo, los niveles sonoros producidos por el ruido de tráfico se ven claramente reducidos, debido al menor número de vehículos que transitan estas calles.
- El *Anillo 3* lo componen las Avenidas Argentina, Balanguera, Andreu Torrens, Ausias March, Roselló i Caçador, Jaume Balmes, Josep Darder Metge, Adria Ferran, Francesc Pi i Margall y Manuel Azaña. Durante los períodos de día y tarde, en la práctica totalidad del *anillo* se superan los 70 dBA (en algunas zonas incluso los 75 dBA). En lo referente al período nocturno, gran parte del *anillo* supera los 70 dBA. Es una excepción la calle Manuel Azaña, en la que los niveles sonoros se ven claramente reducidos por debajo de 65 dBA (incluso en zonas 60 dBA).
- En la zona comprendida entre los Anillos 2 y 3, los niveles sonoros nocturnos oscilan entre los 50-60 dBA de las calles más pequeñas y los 70 dBA en las proximidades de las calles mayores. Durante el día, la mayor extensión del terreno comprendido en esta zona se encuentra sometido a niveles entre 60 y 70 dBA.

Al margen de estos anillos, en la *Ilustración 2*, se han marcado vías de importancia, que podríamos describir como *radiales*. A lo largo del trazado de todas estas vías, en los períodos de día y tarde se superan los 70 o 75 dBA. En el período nocturno, en todos estos ejes se superan los 65 dBA, alcanzándose cifras superiores a los 70 dBA en calles como General Riera, Arago, Manacor, Eusebi Estada, Ramón y Cajal, Espartero, Marqués de la Senia y Comte de Barcelona.

Fuera del casco urbano, los niveles sonoros se reducen de forma considerable. En este caso, sólo son destacables los niveles sonoros existentes en las inmediaciones de vías como la Autopista de Palma a Inca, la Carretera de Sóller, la Carretera Esporles o la ya mencionada Autopista de Levante.

Alejados del casco urbano, existen núcleos de población importantes en Can Pastilla, Les Maravelles y L'Arenal. Las vías internas tienen unos niveles de tráfico mucho menor a los existentes en el casco urbano. En esta zona, Sólo la Autopista de Levante lleva asociados fuertes niveles sonoros. Sin embargo, los márgenes existentes a los lados de esta vía son motivo de la atenuación del sonido por la distancia, y en consecuencia minimizan la afección de la vía. Los niveles sonoros en el período nocturno están por debajo de 55 dBA en la práctica totalidad de estas zonas.

Sólo en las calles con un mayor nivel de tráfico se alcanzan los 65 dBA. En los períodos de día y tarde, estos niveles sufren un incremento cercano a los 10 dBA, no superándose los 75 dBA.

Se puede observar la escasa afección que el ruido de tráfico ferroviario tiene en la ciudad, puesto que tan sólo el 1% de la población total se ve expuesta a niveles sonoros superiores a los objetivos de calidad impuestos. En el período nocturno, toda la población se encuentra expuesta a niveles sonoros por debajo de los 50 dBA (*tráfico ferroviario*).

Dada la excasa afección acústica que produce el tráfico ferroviario, nos encontramos con que las tablas de población expuesta al ruido total coinciden (aproximadamente) con las específicas del ruido de tráfico rodado por lo que se realiza a continuación un análisis conjunto.

En el período nocturno (Ln), el 78% de la población queda expuesta a niveles sonoros por debajo de los 55 dBA, quedando aproximadamente la tercera parte de esta población en un margen inferior a 45 dBA. Esto significa que **el 22% de la población se ve expuesta a niveles sonoros en el período nocturno superiores a los 55 dBA**, por lo que se hace necesario afrontar esta problemática y ofrecer planes de acción que mitiguen esta situación. Resulta especialmente preocupante la situación de un 1% de habitantes que se encuentran expuestos a niveles sonoros nocturnos superiores a 65 dBA.

En los períodos de día (Ld) y tarde (Le), tan sólo el 13% y el 10% de la población, respectivamente, se encuentra expuesta a niveles sonoros por debajo de los 65 dBA. En el período de día, el 4% de la población queda expuesta a niveles sonoros por encima de 70 dBA. Por su parte, en el período de tarde, el porcentaje de población que supera los 70 dBA se reduce a un 2%.

El indicador Lden, pondera los niveles sonoros ya mencionados, teniendo en cuenta no sólo los niveles sonoros existentes, sino también el tipo de actividad que de forma predominante realizan las personas en cada período. De esta manera se penaliza con 5 dBA el período de tarde (frente al período día), por ser más sensible al ruido debido a que la actividad predominante es el ocio, y se penaliza con 10 dBA el período nocturno, debido a que el descanso será la actividad predominante por la noche. Teniendo esto en cuenta, este indicador es un descriptor adecuado para evaluar de forma conjunta los tres períodos de estudio, y obtener conclusiones generales.

Atendiendo al indicador Lden, el 81% de la población se ve expuesta a niveles inferiores a los 65 dBA, alcanzando una cifra del 6% la población expuesta a niveles sonoros superiores a los 70 dBA.

ZONAS DE OCIO

Tanto en el Paseo marítimo como en El Arenal existen zonas de ocio de especial relevancia *en los meses de verano y durante los fines de semana*. La existencia de numerosos bares de copas atrae a un grupo importante de gente y vehículos.

La acumulación de personas en la calle y la afluencia de vehículos, marcan el ambiente sonoro existente en dichas zonas. Su evaluación resulta complicada, debido a que existen múltiples factores que pueden influir sobre la afluencia de personas, su concentración en el interior o exterior de los locales, la utilización de vehículos privados, la existencia de música en el medio exterior,... Por otra parte, la presencia de un técnico puede alterar de forma clara el ambiente sonoro habitual de la zona.

Ante esta problemática, se optó por realizar un diagnóstico del ambiente sonoro en la zona mediante la ubicación de tres estaciones de medida con un muestreo temporal limitado. Las estaciones de medida se situaron en el Paseo Marítimo y en El Arenal³.

La zona más conflictiva de las analizadas se refleja en el *Paseo Marítimo (P-Ocio 1)*, con unos niveles sonoros próximos a los 69 dBA.

TABLA 8. MEDIDAS P-OCIO 1

Día	LAeq (dBA) (23 – 07 h)
Viernes	68,6
Sábado	69,2
Lunes	63,3

La franja horaria entre las 02:00 y las 05:00, que suele ser la más silenciosa en la mayoría de aglomeraciones del mundo (si la fuente de ruido es el tráfico rodado), en este caso es la franja más ruidosa, coincidiendo con el cierre de algún local de ocio nocturno y un movimiento de vehículos y personas.

Realizando un análisis global, se obtiene una diferencia de más de 5 dBA entre un viernes o sábado y un lunes durante el período nocturno (Tabla 9).

En El Arenal (P-Ocio 2) se puede observar un máximo de nivel entre las 05:00 y las 06:00 y un descenso de aproximadamente 8 dBA (de 69,7 a 61,8) entre las 06:00 y las 07:00.

En el otro punto de medida en El Arenal (P-Ocio 3), no se puede apreciar claramente una influencia del ocio nocturno durante la noche del viernes, ya que el nivel de ruido medido no sigue un patrón homogéneo. Sin embargo, durante la noche del sábado se aprecia claramente un incremento de nivel de 6,1 dBA (de 64,2 a 70,3 dBA) entre las 03:00 y las 05:00 de la madrugada.

Los valores presentados sirven como una referencia, que pone en evidencia la problemática existente en las zonas analizadas.

³ Su ubicación se puede encontrar en el *Mapa A2.1_Zonas Ocio*.

RECOMENDACIONES

Actualización de la legislación local

A finales de 2003 se aprobó a nivel estatal la Ley del Ruido, que fue desarrollada mediante el Real Decreto 1513, de diciembre de 2005. En esta legislación de ámbito estatal, se ponen las bases para la correcta gestión del contaminante ambiental que denominamos ruido, siguiendo las líneas de actuación mostradas en la Directiva 49 del Parlamento Europeo. Se considera necesario actualizar la **legislación municipal**, para que quede perfectamente encuadrada, manteniendo parámetros compatibles con las normativas referenciadas. Resulta desde el punto de vista medioambiental realizar la evaluación de los períodos definidos como día, tarde y noche, mediante los correspondientes índices Ld, Le, Ln y Lden.

Actualmente, este proceso se ha iniciado por parte del Ayuntamiento.

Zonificación acústica

Una herramienta fundamental en la mitigación de las molestias ocasionadas por el ruido consisten en la delimitación de áreas de diferente sensibilidad acústica. Este **zonificación acústica**, debe permitir, en la medida de lo posible, mantener alejados aquellos usos del suelo susceptibles de generar elevados niveles sonoros, de aquellos otros que pueden ser molestados por el ruido.

Formación

Se plantea la formación para los siguientes niveles:

- Técnicos de medio ambiente, urbanismo y movilidad. Enfocado a la gestión del ruido como contaminante.
- Inspectores de ruido. Enfocado al uso de equipamiento y aplicación de procedimientos de ensayo e inspección en materia de ruido y vibraciones.
- Ciudadanía. Campañas de formación y divulgación para concienciar a la población.

Monitorización permanente

Para completar los trabajos de simulación y plasmar resultados de un mapa estratégico de ruido dinámico, es una práctica habitual ubicar **monitores fijos** para obtener estadísticas del ruido a largo plazo. Mediante estos monitores es posible realizar ajustes sobre el modelo informático, verificando la exactitud de los resultados expuestos o el margen de error incorporado. Además estos monitores permiten conocer en tiempo real los niveles sonoros existentes en una zona, valorando fuentes de ruido reales que pueden no haber sido contempladas durante la creación de los modelos acústicos.

Resulta de especial interés la ubicación de monitores permanentes en las zonas de ocio, ya que una vez superado un período inicial (en el que los efectos son impredecibles), se convierten en herramientas fundamentales para la detección de zonas de saturación acústica.

La combinación con una actuación sancionadora adecuada, puede convertir la presencia de los monitores en un elemento disuasorio de primera magnitud. La creación de una pequeña red de monitorización, unida a su integración en el sistema de información geográfica del Ayuntamiento puede aportar ventajas adicionales, como **divulgar los resultados** y concienciar a la ciudadanía.

Otras líneas de actuación

Una vez efectuado el diagnóstico de los niveles sonoros existentes en el municipio, deben evaluarse diferentes líneas de actuación cuyo objetivo será la reducción de los niveles sonoros y su adecuación a los criterios de calidad propuestos. La conversión de las líneas de actuación que se proponen en un plan de acciones correctoras concretas es una tarea peliaguda, puesto que en muchas ocasiones la aplicación de las medidas de control de ruido más efectivas puede acarrear efectos negativos en lo referente a otras áreas de interés de la ciudadanía.

Las recomendaciones que a continuación se exponen están dirigidas al área de medio ambiente, por lo que el único aspecto considerado es la efectividad de las medidas para la reducción de los niveles sonoros. Dichas propuestas deberán ser evaluadas y armonizadas conforme a otros criterios marcados por las áreas de movilidad, transporte, urbanismo y economía. Teniendo en cuenta estos aspectos, a continuación se proponen los siguientes elementos:

PRIMERO

La creación de un grupo de trabajo cuyo objetivo sea la elaboración de un plan de acciones correctoras. Dicho grupo de trabajo estaría formado por miembros (técnicos y políticos) de las distintas áreas involucradas.

La creación del **plan de acciones correctoras** podría desarrollarse mediante las siguientes fases:

- Definición de **objetivos de calidad acústica**, y **delimitación de zonas de sensibilidad acústica** en función de los usos del suelo predominantes.
- Elaboración de procedimientos que permitan la participación ciudadana en la preparación y revisión de planes de acción.
- Enumeración de zonas afectadas y clasificación de las mismas según las prioridades de actuación. Deben tenerse en cuenta los niveles sonoros existentes en la zona, el grado de sensibilidad acústica y el número de personas afectadas.
- Análisis de posibilidades de actuación para cada zona.
- Evaluación de la efectividad acústica de la acción correctora. Las herramientas de simulación acústica permiten realizar una predicción de los niveles sonoros para distintos escenarios, de manera que se pueden evaluar distintos planes de actuación y optimizar los parámetros que los definen.
- Evaluación de la viabilidad técnica de la implantación, y de los efectos “no acústicos” asociados. En este caso el área de movilidad y transporte estará implicada de forma principal.
- Evaluación de costes económicos directos, y de la repercusión económica indirecta.
- Consulta pública.
- Toma de decisiones.
- Creación de un plan de actuación y plazos de ejecución del mismo.
- Seguimiento de la implantación y evaluación de la efectividad de las actuaciones.

SEGUNDO

La realización de **mapas estratégicos de ruido dinámicos** mediante técnicas de simulación se considera como una herramienta imprescindible para la lucha contra el ruido. Por este motivo se recomienda tomar las iniciativas oportunas para que el *Ayuntamiento* pueda disponer de todos los datos necesarios para la actualización del modelo acústico. Una combinación de herramientas de simulación de tráfico (macro simulación), además de técnicas de medida de tráfico es la alternativa necesaria. La creación de un modelo acústico, supone un esfuerzo inicial importante, tanto desde el punto de vista técnico, como desde el punto de vista económico. Sin embargo, la actualización del modelo, y la creación de nuevos escenarios no lo es tanto, y permite la evaluación a priori de modificaciones en el municipio.

TERCERO

Desde el punto de vista técnico, a continuación se enumeran las principales alternativas existentes para el control del ruido en el municipio:

▣ Reducción de la velocidad de los vehículos.

- Reducción de los límites de velocidad.
- Rotondas o glorietas.
- Detectores de velocidad con semaforización.

▣ Ordenación del tráfico.

- Eliminación y/o limitación del tráfico privado .
- Cambios de trazado en líneas de autobuses.
- Peatonalización de calles.
- Redistribución de flujos mediante semaforización o circunvalación.
- Zona azul .
- Políticas de fomento de transporte público.

▣ Control en la fuente.

- Establecimiento de límites a las emisiones acústicas de los vehículos de recogida de residuos urbanos, máquinas barredoras, y otra maquinaria de uso en el medio ambiente exterior.
- Instalación de asfaltos absorbentes.
- Sustitución de bandas sonoras por elementos disuasorios de menor repercusión sobre los niveles sonoros.
- Eliminación de la doble fila.

▣ Pantallas acústicas.

- En el caso de trenes y carreteras, la instalación de pantallas acústicas fonoabsorbentes ofrece un alto grado de eficacia, si bien es importante dimensionar adecuadamente la misma y ajustar la definición de parámetros para optimizar la relación eficacia/coste.

MAPAS SONOROS

A continuación se muestra un listado de los mapas que se muestran en las siguientes páginas:

- ▣ Mapa 11_1T: Indicador Ldía. Ruido total (todos los focos)
- ▣ Mapa 11_2T: Indicador Ltarde. Ruido total (todos los focos)
- ▣ Mapa 11_3T: Indicador Lnoche. Ruido total (todos los focos)
- ▣ Mapa 11_4T: Indicador Lden. Ruido total (todos los focos)
- ▣ Mapa 11_1R: Indicador Ldía. Tráfico Rodado
- ▣ Mapa 11_2R: Indicador Ltarde. Tráfico Rodado
- ▣ Mapa 11_3R: Indicador Lnoche. Tráfico Rodado
- ▣ Mapa 11_4R: Indicador Lden. Tráfico Rodado
- ▣ Mapa 11_1F: Indicador Ldía. Tráfico Ferroviario
- ▣ Mapa 11_2F: Indicador Ltarde. Tráfico Ferroviario
- ▣ Mapa 11_3F: Indicador Lnoche. Tráfico Ferroviario
- ▣ Mapa 11_4F: Indicador Lden. Tráfico Ferroviario

ANEXO 1. DEFINICIONES

Nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo: Diez veces el logaritmo decimal del cuadrado del cociente de una presión sonora cuadrática determinada y la presión acústica de referencia¹, que se obtiene con una ponderación frecuencial² y una ponderación temporal³ normalizadas.

El nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo se expresa en decibelios (dB).

Nivel de presión sonora máximo ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo: Mayor nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo durante un intervalo de tiempo determinado.

Nivel de presión sonora continuo equivalente: Diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el cuadrado de la presión sonora cuadrática media durante un intervalo de tiempo determinado y la presión acústica de referencia, donde la presión sonora se obtiene con una ponderación frecuencial normalizada.

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A es

$$L_{AeqT} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] dB$$

Donde

$p_A(t)$ es la presión sonora instantánea ponderada A en el instante t,

p_0 es la presión acústica de referencia (=20 µPa).

El nivel de presión sonora continuo equivalente se expresa en decibelios (dB).

El índice de ruido $L_{Aeq,T}$, es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, en decibelios, determinado sobre un intervalo temporal T, definido en la norma ISO 1996-1: 2003.

¹ La presión acústica se determina en pascals (Pa). La presión acústica de referencia es 20 µPa.

² Las ponderaciones frecuenciales normalizadas son las ponderaciones A y C especificadas en la norma IEC 61672-1

³ Las ponderaciones temporales normalizadas son las ponderaciones F y S especificadas en la norma IEC 61672-1.

Índice de ruido día-tarde-noche, Lden:

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

Donde:

Ld (*Lday*) es el nivel de presión sonora promediado a largo plazo ponderado A determinado a lo largo de todos los períodos día de un año. El período día comprende entre las 07:00 y las 19:00 horas.

Le (*Levening*) es el nivel de presión sonora promediado a largo plazo ponderado A determinado a lo largo de todos los períodos tarde de un año. El período tarde comprende entre las 19:00 y las 23:00 horas.

Ln (*Lnight*) es el nivel de presión sonora promediado a largo plazo ponderado A determinado a lo largo de todos los períodos noche de un año. El período noche comprende entre las 23:00 y las 07:00 horas.

Donde:

Un año corresponde al año considerado para la emisión de sonido y a un año medio por lo que se refiere a las circunstancias meteorológicas.

ANEXO 2. VALIDACIÓN MEDIANTE MEDIDAS DE RUIDO

A lo largo de los meses de Junio y Julio de 2008, se ha realizado una campaña de mediciones de ruido.

Se ubicaron un total de 4 estaciones de media en continuo que registraron los niveles sonoros minuto a minuto durante 10 días. Además, durante los 10 días se ubicaron 3 estaciones adicionales para registrar el nivel sonoro equivalente en un intervalo de 5 horas, para el período diurno.

La localización de los puntos de medida se muestra en el Mapa A3.1.

Las mediciones efectuadas permiten ofrecer una estimación del ambiente sonoro en estos puntos, cuya comparación con las simulaciones permitirán la validación y calibración del modelo acústico.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en cada punto *x* mediante medidas *Mx* o simulaciones *Sx*.

TABLA 9. COMPROBACIONES INICIALES

dBA	M1	S1	M2	S2	M3	S3	M4	S4	M5	S5	M6	S6	M7	S7
L Día	65,5	67,9	66,5	69,3	68,8	72,9	68,0	69,2	70,3	71,8	68,1	69,2	68,1	73,0
L Tarde	65,6	64,5	-	-	-	-	67,1	67,8	69,4	68,2	66,6	64,3	-	-
L Noche	61,8	58,7	-	-	-	-	61,9	59,5	64,1	62,8	60,8	59,5	-	-

Como puede comprobarse, mientras que en el período día todas las simulaciones ofrencen resultados más elevados que las mediciones, en la tarde y en la noche la tendencia son opuestas. Por estos motivos, se ha decidido aplicar unas correcciones en el modelo, ajustando los mapas resultantes de manera independiente para cada uno de los períodos de evaluación.

Puesto que las mediciones no han sido efectuadas en el largo plazo de un año, las correcciones han sido efecutadas intentando mantener un carácter conservador en los resultados finales. Por lo tanto, los resultados de los períodos tarde y noche han sido corregidos al alza en 1 y 2 dBA respectivamente, mientras que en el período día, la corrección ha sido tan sólo de 1 dBA a la baja.

Dicha calibración permite reducir el error cuadrático medio de los mapas simulados, y ajustar por lo tanto dichos resultados a los obtenidos mediante mediciones, manteniendo un carácter conservador (especialmente en el período día, en que la corrección a la baja podría haber llegado a los 2,6 dBA)

Las diferencias entre las simulaciones y las medidas tras la aplicación de las correcciones se muestran en la *Tabla 11*.

TABLA 10. DIFERENCIAS ENTRE MEDIDA Y SIMULACIÓN PARA EL MODELO DEFINITIVO

dBA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Día	-1,4	-1,8	-3,1	-0,2	-0,6	-0,1	-3,9
Tarde	0,1	-	-	-1,6	0,1	1,3	-
Noche	1,1	-	-	0,4	-0,7	-0,7	-

Teniendo en consideración que los resultados del mapa de ruido se muestran con una escala de colores con una resolución de 5 dBA, las diferencias obtenidas y el grado de precisión asociado se consideran en general satisfactorios (sólo dos de los puntos presentan diferencias entre medida y simulación mayores a 3 dBA¹).

¹ Una corrección mayor hubiera reducido estas diferencias, pero hubiera propiciado que algunos de los puntos fueran minusvalorados por encima de 1,5dBA.

ANEXO 3. OTROS MAPAS

A continuación se muestran algunos mapas referenciados en el documento:

- Mapa A0.1. Ámbito de cálculo.
- Mapa A0.2. División del Municipio en barrios.
- Mapa A1.1. Tráfico.
- Mapa A2.1. Zonas de ocio y puntos de medida en dichas zonas.