

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL CON SIG DEL RUIDO AMBIENTAL URBANO EN MADRID Y SUS DISTRITOS

PEDRO MARTÍNEZ SUÁREZ¹ y ANTONIO MORENO JIMÉNEZ²
Dpto. de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España
¹pedro.suarez@uam.es ²antonio.moreno@uam.es

RESUMEN

La principal aportación de este artículo estriba en obtener y presentar una caracterización pionera del ruido ambiental en el ámbito urbano de la metrópoli madrileña, como un componente del llamado "paisaje sonoro". Contando con la novedad del plano acústico, que por primera vez cubre la ciudad, se afronta la tarea de analizar espacio-temporalmente la intensidad acústica urbana. A tal fin se examinan los periodos diurno y nocturno, las variaciones día-noche y los niveles sonoros más elevados, detallando la situación por distritos urbanos. Metodológicamente se aplica una aproximación estadística y un tratamiento apoyado en un SIG vectorial para la exploración de los datos sonoros.

Palabras clave: ruido urbano, ambiente urbano, plano acústico, SIG, Madrid

ABSTRACT

Spatio-temporal analysis of environmental urban noise in Madrid and its districts using GIS

The main contribution of this paper lies in obtaining and introducing a pioneering characterization of environmental noise level registered in the Madrid metropolis, as a component of the so-called "soundscape". Based on the new acoustic map, firstly covering the city, it is tackled a spatio-temporal analysis of urban acoustic intensity. To this end, noise levels during daytime and night-time periods, the day-night variation and the noisiest levels are examined, disaggregating the analysis by urban districts. Methodologically it is used a statistical approach and a GIS for noise data handling, in an exploratory strategy.

Keywords: urban noise, urban environment, acoustic map, GIS, Madrid

1. Introducción¹

El medio urbano corresponde al ámbito de convivencia en el cual se desenvuelve la vida de la mayor parte de la población europea. La calidad ambiental del mismo está supeditada a un gran número de factores que inciden sobre la confortabilidad y salud de las personas, es decir, sobre su bienestar/malestar. Al respecto, uno de los que posee una relevancia indiscutible en dicho entorno es el ruido urbano, cuya importancia se ha visto manifestada a través de crecientes protestas individuales, vecinales y de otros colectivos, y confirmada por estudios de diferentes instituciones y organismos. Está comprobado científicamente que el ruido produce afecciones sobre la salud, diferentes según las características del individuo y culturales, existiendo en cualquier caso una relación causal entre un elevado nivel sonoro y el grado de molestia en los sujetos perceptores (vid. por ejemplo, Berglund y Lindvall, 1995; y Berglund *et al.*, 2000). Por otra parte, la calidad del "paisaje sonoro" se ve degradada por el ruido, en su sentido más amplio.

Los datos que se manejan comúnmente apuntan a que España es uno de los países europeos que soporta mayores niveles de ruido urbano (Mulero Mendigorrí, 1999, p. 90-91). Su origen es variado, pero bien definido. Así, según la administración municipal madrileña, la fuente de ruido dominante a lo largo del periodo diurno es el tráfico rodado, especialmente en los días laborables, al igual que sucede durante el periodo nocturno. En este último, además, en fines de semana (viernes y sábados), influyen también las actividades de pública concurrencia, de ocio y funcionamiento nocturno.

Tales hechos han ido motivando la atención al ruido ambiental entre los diferentes niveles de la Administración Pública que, paulatinamente, se van dotando de instrumentos normativos y técnicos orientados a conocer, medir, controlar y sancionar el ruido urbano. La Comisión Europea lleva tiempo impulsando esta línea de trabajo y persiguiendo el desarrollo sostenible de las áreas urbanas, consciente de que es en ellas donde se concentra más población y los problemas ambientales afectan más a su salud y calidad de vida, puesto que se trata de los entornos en los que las personas desarrollan su vida laboral y ociosa. En este contexto, la *Campaña de Ciudades Europeas Sostenibles* hace una referencia expresa al ruido.

La transposición al ordenamiento nacional español de la normativa europea (*Directiva 2002/49/CE, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*), surgida como consecuencia de la conciencia emergida, se ha materializado en la *Ley 37/2003, del Ruido*, la cual significa un apoyo para abordar los problemas del ruido urbano, propiciando la armonía entre las iniciativas de regulación de las CC. AA. y entes locales y en línea, además, con algunos compromisos constitucionales. La *Ley del Ruido* prevé, como herramienta novedosa, y a la que se presta especial importancia en este estudio, la elaboración de mapas de ruido según métodos de evaluación comunes a los Estados miembros de la U.E., para determinar la exposición de la población al ruido ambiental, así como poner a libre disposición la información sobre éste y sus efectos.

Sin embargo, son las administraciones locales las que se enfrentan más directamente al problema. La existencia de un mayor grado de sensibilidad social hacia el ruido urbano (manifestada, por ejemplo, en que gran parte de las denuncias medioambientales que reciben los

ayuntamientos tienen como causa molestias por contaminación acústica), han propiciado la emersión de iniciativas municipales variadas como la promulgación de ordenanzas "ad hoc", la elaboración de mapas acústicos, redes de vigilancia e información, los planes estratégicos para la reducción de la contaminación acústica, programas de apantallamientos, los libros blancos o campañas de concienciación, además de diversos eventos tales como seminarios, jornadas, congresos, encuentros y reuniones acerca de la contaminación acústica en las ciudades. Por otra parte, los Planes Generales de Ordenación Urbana ya incluyen criterios acústicos para el diseño urbanístico.

Madrid, como metrópoli, exhibe una voluntad clara de mantenerse en las vías del progreso y desarrollo, lo que significa un alto nivel de actividad económica, logros sociales, capacidad para prestar los servicios necesarios para mantener una buena calidad de vida de la población (sanidad, educación, cultura...) y un largo etc. Esta perspectiva implica sin duda, y también, enfrentarse a los problemas ambientales del mundo urbano actual, entre los que destaca, cada vez más, la contaminación acústica. Como en cualquier ciudad, el medio ambiente acústico madrileño es complejo y responde a la interacción de diversos factores, tales como la pluralidad de fuentes emisoras, los usos del suelo y actividades que se desarrollan, la morfología urbana, los apantallamientos, los materiales constructivos, etc. Es bien sabido que la compleja volumetría del tejido urbano hace que el sonido se transmita con variaciones notorias en distancias cortas (vid. VVAA, 1991; Sanz Sa, 1987).

Desde hace unos años, el Ayuntamiento de Madrid desarrolla notables acciones en materia de acústica ambiental, uno de cuyos frutos ha sido la obtención de datos más abundantes y rigurosos sobre la intensidad del ruido exterior. La forma más conspicua de ellos responde a la denominación de planos acústicos, los cuales están abriendo la posibilidad de una auténtica geografía ambiental sonora urbana.

En paralelo a otro trabajo reciente de los autores (Moreno y Martínez, 2005), el foco central de este estudio recae en el análisis espacial y temporal de la intensidad acústica en el medio urbano del municipio de Madrid, tratando de caracterizar los niveles de ruido que se dan en diferentes períodos en cada zona de la ciudad. Se busca responder a las preguntas de ¿qué niveles acústicos posee la ciudad de Madrid?, ¿qué variaciones espaciales intraurbanas afloran?, ¿qué oscilaciones temporales (diarias) existen?, ¿qué tendencias y valores / situaciones acústicamente más graves cabe identificar en el medio madrileño? Por otro lado, y dado que los distritos urbanos se constituyen en unidades de gestión destacadas en el descentralizado organigrama del Ayuntamiento madrileño, ¿qué rasgos sonoros presenta el ambiente de cada distrito respecto al de los demás?, ¿en cuáles existe una situación mejor o peor?

La relevancia de estos objetivos está meridianamente respaldada por una serie de demandas y necesidades sociales. En esencia, las preocupaciones colectivas por el bienestar, calidad de vida de los ciudadanos, desarrollo sostenible y protección del medio ambiente, recogidas por las instancias políticas y proyectadas en un corpus normativo, avalan la relevancia de una línea de investigación a la que este trabajo pretende contribuir.

La limitada tradición de estudio sobre el tema², la novedad de la fuente a usar y la exigencia de incorporar en la investigación las modernas tecnologías de la información geográfica permiten afirmar que la metodología y resultados obtenibles aúnan el interés científico y el aplicado. Parece indudable que este tipo de estudios de caracterización y diagnóstico, a escala global de la ciudad y de subdivisiones significativas desde la óptica de la administración, ha de servir para la intervención con vistas a prevenir, vigilar, reducir y, en definitiva, mejorar el nivel sonoro ambiental siempre que sea necesario, y particularmente cuando la exposición al mismo pueda presentar efectos nocivos para la salud humana u otras actividades. Desde este punto de vista cobra significado de cara a la ulterior toma de decisiones espaciales, en particular sobre actividades urbanas molestas.

2. Objetivos

En línea con las indicaciones de la *Ley del Ruido* española y las iniciativas del Ayuntamiento de Madrid, este trabajo trata de aportar un análisis del patrón espacio-temporal conformado por determinados indicadores acústico-ambientales, correspondiente a la ciudad de Madrid (nivel sonoro, distribución espacial, duración, etc.), buscando, en definitiva, su caracterización sonora. El estudio, pues, se ciñe al exterior, no contemplando los ambientes interiores de las edificaciones e infraestructuras. Los objetivos concretos avistados son básicamente tres: A) A partir del plano acústico de la capital, avanzar hacia una metodología que permita establecer los caracteres sonoros definitorios del medio urbano, en su doble dimensión espacial y temporal. En este último sentido se adoptará, como desagregación temporal, los períodos día-noche. B) En una perspectiva multiescalar, analizar zonas urbanas según los atributos de su ambiente sonoro y la variación temporal del ruido en las mismas. A tal fin se ensayará con los distritos urbanos, como unidad espacial de análisis a efectos comparativos, si bien se contempla que en fases posteriores se adopte una unidad más detallada. Y, C) Ensayar la aplicación de los SIG para gestionar, cartografiar y sintetizar la geoinformación sonora.

3. El ámbito de estudio y la fuente de datos sonoros

La zona de referencia considerada abarca la totalidad del término municipal de Madrid, con una superficie aproximada de 607,09 km², representando el 7,6 % de la superficie de la Comunidad Autónoma, y una población de 2.938.723 (Instituto Nacional de Estadística, 2001). Por su tamaño y rasgos, la ciudad de Madrid ofrece un espacio contrastado y relevante en el que centrar la investigación. Como unidades espaciales para el análisis comparativo se han elegido los 21 distritos en los que se divide administrativamente Madrid, de morfología y características socioeconómicas y demográficas diferentes.

Dentro de este ámbito de estudio, son las áreas urbanizadas del municipio las que cobran más interés, por una parte debido a que en ellas es donde los niveles de ruido ambiental van a producir una mayor afección sobre la población y, por otra, porque son las que, en su mayoría, cubre el Plano Acústico de Madrid, elemento clave en esta investigación.

Los **planos acústicos** o **mapas de ruido** son una fuente reciente de geoinformación susceptible de representar la realidad sonora de un espacio determinado, por medio de algún indicador del ruido ambiental. Los más conspicuos de éstos suelen consistir en el cálculo de una suerte de media de los distintos niveles sonoros registrados a lo largo del tiempo en un punto, para obtener un *nivel sonoro continuo equivalente* (o nivel de presión sonora continuo equivalente) (L_{eq}). Éste identifica el nivel de un hipotético sonido continuo o constante que, en el mismo intervalo de tiempo de referencia, contiene idéntica energía sonora total que el sonido discontinuo o fluctuante que se ha medido en el punto. Es equivalente, pues, en términos de contenido energético, al ruido real; se mide la energía sonora total en un periodo de tiempo y se representa con un solo número. Su concordancia con la respuesta subjetiva humana al sonido es bastante alta y por tal motivo es el índice considerado en este estudio.

La principal fuente utilizada aquí reside en el Plano Acústico de Madrid 2001-02 (Ayuntamiento de Madrid, 2002 a), cuya elaboración corrió a cargo del Instituto de Acústica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Cubre la mayor parte del espacio urbano madrileño ([figura 1](#)) y se configura a base de puntos muestrales de registro sonoro, referidos a periodos varios (24 horas, día y noche). La distribución espacial de los puntos trató de responder a un muestreo sistemático, de acuerdo con una retícula regularmente espaciada de 200 m., si bien en una parte (el distrito de Centro) fue de 100 m. y en otras más limitadas y secundarias de 400 m. (reconvertidas luego a cuadrículas de 200 m.). La práctica habitual, discutible por otro lado, estriba en imputar el valor puntual observado a toda una cuadrícula (i.e. polígono) de tamaño coherente con el espaciado, por lo que el mapa adquiere un aspecto próximo al de una capa raster (para más detalle sobre el particular, véase Moreno y Martínez, 2005). Los datos disponibles en origen están redondeados (y por tanto discretizados) a unidades dBA.

4. Cuestiones metodológicas y procedimentales

La metodología de análisis geográfico-ambiental del territorio planteada aquí contempla la generación de nuevos conocimientos científicos, recurriendo a las modernas tecnologías de la información geográfica, como instrumentos idóneos e imprescindibles para gestionar y analizar datos de naturaleza acústica. A tal fin se apoya intensamente en el empleo de los sistemas de información geográfica (S.I.G.), la cartografía digital y las técnicas estadísticas. Más concretamente, y en coherencia con lo descrito en el apartado anterior, se han utilizado las prestaciones de los SIG bajo un modelo de datos vectorial, usando, a conveniencia, los puntos muestrales y los polígonos-cuadrículas a ellos asociadas, para soportar los atributos (identificadores e indicadores sonoros).

La realización del estudio se ha estructurado conforme a las siguientes tareas fundamentales:

- Obtención de cartografía digital (Servicio Cartográfico Regional de la Comunidad de Madrid e Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid) y preproceso de la misma.
- Obtención del Ayuntamiento de Madrid de los datos de niveles sonoros urbanos del municipio. El Plano Acústico de Madrid de 2001-02 ha constituido la fuente de información fundamental para la realización de este estudio. Su migración, desde un SIG no estándar y de

limitadas prestaciones, implicó una inicial conversión e integración de los datos procedentes del mismo en otro dotado de superiores prestaciones de gestión y analíticas (ArcGIS).

- Realización de representaciones gráficas y cartográficas para visualizar la geoinformación sonora por periodos relevantes.
- Aplicación de los procedimientos de manipulación y tratamiento de la información mediante SIG (ArcGIS) y técnicas estadísticas (SPSS y Excel). Obtención de estadísticos descriptivos, para el conjunto de Madrid y con desagregación por distritos, con vistas a caracterizar y comparar el ambiente acústico general de la ciudad y el de sus distritos.
- Caracterización estadístico-cartográfica de los niveles de ruido (L_{Aeq}), para el conjunto de la ciudad y sus distritos, por periodos temporales (día-noche).
- Estudio de los niveles sonoros más severos, por periodos día-noche y distritos, mediante indicadores estadísticos, cartografía y búsquedas temáticas con SIG.
- Obtención de conclusiones metodológicas y empíricas.

5. Los niveles acústicos de Madrid durante el periodo diurno

El plano de la [figura 2](#) muestra la realidad del ambiente acústico del municipio de Madrid, a partir de los valores del nivel sonoro continuo equivalente con una ponderación del tipo A (L_{Aeq}), correspondiente al periodo diurno y expresado en decibelios (dBA). Según la normativa vigente en el momento de la realización del plano (*Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano - Libro II: Protección de la Atmósfera frente a la Contaminación por Formas de Energía, del Ayto. de Madrid*), se considera como periodo diurno el comprendido entre las 7 y las 23 h (16 h de duración). Para la representación de dicho indicador acústico se ha adoptado la técnica de coropletas, 8 intervalos con una amplitud de 5 dBA cada uno y empleado una escala dicromática desde el azul (niveles sonoros más bajos) hasta el rojo (más elevados).

Un primer examen visual del ambiente acústico general de Madrid indica un predominio de las tonalidades rojizas, bastante intensas, lo cual apunta a un registro de niveles sonoros elevados. Analizando las diferencias que presentan los distintos distritos en cuanto a sus niveles sonoros ambientales, se constata que en la mayor parte del área comprendida dentro de la denominada "almendra central" de Madrid (distritos más céntricos en forma aproximada de elipse N-S) los niveles sonoros son más elevados; predominan allí claramente las tonalidades rojizas, mientras que en las zonas más próximas a la periferia se tiende hacia un equilibrio con las tonalidades azuladas.

Con el fin de caracterizar sintéticamente el ambiente sonoro intraurbano madrileño, se ha llevado a cabo un análisis estadístico descriptivo univariado, a partir de los niveles sonoros expresados por el L_{Aeq} diurno. Los estadísticos usados buscan informar de las propiedades de centralidad y variabilidad, si bien, y debido a la naturaleza intrínsecamente logarítmica del indicador acústico, se han rehuido los que implican cálculos propios de los niveles de medida cuantitativos (como la media o la varianza).

El histograma de la [figura 3](#) describe la distribución del total de los puntos-cuadrículas del Plano Acústico de Madrid. Resulta ligeramente platicúrtica (índice 2,89) con notable simetría (índice -0,04). Las clases centrales, de 60-65 dBA y de 65-70 dBA, son las que engloban con

mucho la mayoría de las cuadrículas, conteniendo respectivamente un 34 % (1.487 cuadrículas) y un 35 % (1.553 cuadrículas) del total de las mismas. Los intervalos inmediatamente inferior y superior a ambos también presentan una gran diferencia con respecto a los extremos, en cuanto a número de cuadrículas contenidas en cada uno. En conjunto la distribución no está muy lejos de la gaussiana.

El valor máximo y el mínimo aportan información acerca de los niveles sonoros extremos y, junto con la mediana, admiten una representación gráfica bastante ilustrativa de los rangos dentro de los cuales se encuentran los valores acústicos de cada distrito. A la vista de la [figura 4](#), los **máximos** niveles de ruido diurno afloran en los distritos interiores, como son Tetuán (85 dBA), Centro (83 dBA), Chamartín (81 dBA) y Salamanca (78 dBA); por el contrario los **mínimos** aparecen en Moncloa-Aravaca (45 dBA), Barajas (47 dBA) y Salamanca (49 dBA) y otros distritos de la periferia (Fuencarral-El Pardo, Carabanchel y Hortaleza). Tetuán, a pesar de registrar el valor máximo, su mínimo no es el más elevado. El máximo de Centro es el segundo mayor, a la vez que su mínimo es el tercero mayor. Chamberí, aun teniendo un valor máximo de los más reducidos, presenta el mínimo más elevado. En síntesis, se insinúa una tendencia a que los picos máximos de ruido diurno se den en distritos del interior y que los máximos más bajos a floren en la periferia, aunque hay excepciones como el mencionado distrito de Salamanca.

El diagrama de caja y bigotes de la [figura 5](#) nos permite completar la caracterización comparativa al mostrar visualmente la posición (mediana y cuartiles 1 y 3), la variabilidad (amplitud intercuartil y datos extremos atípicos) y la asimetría de los datos de ruido dentro de cada distrito. Se percibe que aquellos distritos cuya caja es mayor, i.e. con una superior amplitud entre el 3^{er} y 1^{er} cuartil en los niveles sonoros durante el periodo diurno, son Salamanca (4,5 dBA), Chamartín (4,5 dBA) y Tetuán (4 dBA), los tres en una posición interior de la ciudad. El grueso de los distritos muestra una amplitud intercuartil de magnitud media y bastante similar. En contraposición a todos descuella Chamberí (1 dBA), por su atípicamente alta homogeneidad sonora diurna. En cualquier caso se insinúa también una convergencia de varios distritos periféricos hacia una variabilidad menor en lo concerniente al ruido diurno (e.g. en Vicálvaro, Hortaleza, Pte. de Vallecas, etc.).

Las medianas, por su parte, y dentro de su limitada variación entre distritos, inciden en la tendencia que estamos desvelando: en general más altas en los distritos interiores (véanse los distritos 1 a 7 en la [figura 5](#)), incluso entre ellos se da la máxima (Chamberí). En los restantes y más periféricos las medianas descienden hasta el mínimo de Vicálvaro. Algunos distritos periféricos, no obstante, discuerdan de este patrón: Ciudad Lineal, por ejemplo, quizá relacionado con su configuración excesivamente larga que atraviesa medios muy variados, y Pte. de Vallecas que, por la expansión urbana, ya no queda en posición totalmente periférica.

Otro rasgo perceptible en la [figura 5](#) estriba en que, en la mayoría de los distritos, la mediana se sitúa hacia la mitad del intervalo intercuartílico (excepto en Carabanchel y Ciudad Lineal), indicando una propensión a la simetría en la distribución de los niveles sonoros dentro de cada distrito.

Si reexaminamos la [figura 2](#), tomando ahora en consideración la división superpuesta de los distritos, se pueden matizar y destacar ciertos rasgos:

- El distrito de Salamanca presenta un predominio de niveles bajos hacia el este, mientras que hacia el oeste, especialmente las zonas próximas al Pº. de Recoletos (borde occidental), que constituye un gran eje de comunicación norte-sur, se registran niveles elevados.
- Chamartín presenta una gran variabilidad, desde los elevados niveles registrados al este, en torno a la gran vía de transporte M-30 (borde E), hasta los más reducidos y característicos de las colonias de viviendas unifamiliares que alberga en su interior.
- Moncloa-Aravaca muestra una clara diferencia entre los dos bloques de cuadrículas ubicadas en su territorio. La zona oeste, muy residencial y de alto status, desarrollada a partir de la autopista radial A-6, presenta unos niveles bajos, mientras que en el bloque de cuadrículas oriental, separado del anterior unos 3 km. y adyacente a los distritos de Chamberí y Centro, son mucho más elevados.
- Tetuán se caracteriza por poseer una serie de cuadrículas con niveles sonoros muy altos al sur y este del distrito, en torno a grandes vías intraurbanas, en contraste con los niveles bajos repartidos por el resto de su ámbito (de estrecho callejero).
- En contraposición con los anteriores, los niveles de Chamberí, como ya hemos señalado, aparecen muy homogéneos, aunque algo elevados, por todo el distrito.
- El caso de Vicálvaro es otro ejemplo de homogeneidad en los registros, aunque los valores predominantes son, a diferencia de Chamberí, moderadamente bajos, tendiendo a ascender en la zona noroeste.

En resumen, los resultados parecen apuntar a que Vicálvaro es uno de los distritos con unos niveles de ruido ambiental diurnos más soportables, pues sus niveles sonoros son de los más bajos y su mediana es la menor. Sin embargo, conviene advertir que se trata de uno de los distritos con menor número de puntos muestrales (81), hecho que podría influir en la representatividad de este resultado. Con algo menos de bonanza acústica le siguen Hortaleza, Moncloa-Aravaca y Fuencarral-El Pardo. Recuérdese el rasgo de que todos ellos quedan en posición periférica. Por el contrario, Chamberí, Arganzuela, Retiro y Salamanca, todos ellos correspondientes a la "almendra central", se desmarcan como los distritos más ruidosos durante el día. Su mediana supera la del total del municipio y, en general, presentan una mayor variabilidad de los datos.

6. Los niveles acústicos de Madrid durante el periodo nocturno

El análisis de este período resulta prioritario por cuanto la *Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental* determina que el "L night" debe ser el indicador común a todos los Estados miembros para evaluar las alteraciones del sueño. Según la normativa municipal vigente en Madrid en el momento de realización del plano acústico (*Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano – Libro II: Protección de la Atmósfera frente a la Contaminación por Formas de Energía, del Ayto. de Madrid*), se consideraba como periodo nocturno el comprendido entre las 23 y las 7 h (8 h de duración)³.

El mapa de la [figura 6](#), que mantiene los intervalos y tonos del período diurno para su representación, muestra la imagen del ambiente acústico nocturno del municipio de Madrid. Se aprecia un claro predominio de las tonalidades azuladas, lo cual denota un registro de niveles sonoros menores que los del período diurno. Analizando visualmente las diferencias que presentan los distintos distritos se percibe que la situación global es similar al caso diurno: la mayor parte del área de la "almendra central" muestra de nuevo los niveles sonoros más elevados (aunque las tonalidades rojizas y azules allí están muy equilibradas), y en las zonas periféricas aflora una clara predominancia de las tonalidades azuladas. En resumen, el patrón espacial nocturno es bastante análogo al diurno, aunque con menores niveles sonoros.

El histograma de la [figura 7](#) revela cómo el intervalo entre 55 y 60 dBA de L_{Aeq} nocturno contiene la mayor proporción de cuadrículas (1.638, el 37 % del total). El rango de niveles sonoros inmediatamente superior, de 60 a 65 dBA, es el que alberga la segunda mayor cantidad de cuadrículas (1.260, representando el 29 %). Estos dos intervalos presentan una gran diferencia con respecto a los demás, en cuanto a número de cuadrículas contenidas. Los rangos de niveles sonoros inmediatamente inferior y superior a ambos también se encuentran bastante equilibrados, y de nuevo exhiben una gran diferencia con respecto a los extremos. La distribución muestra una ligera asimetría positiva (0,13) y es algo platicúrtica (índice 2,89); se asemeja algo menos a la normalidad que el L_{Aeq} diurno.

En relación con los valores extremos ([figura 8](#)), los **máximos** niveles sonoros aparecen en los distritos de Tetuán (79 dBA), Chamartín (76 dBA), Moncloa-Aravaca (75 dBA), Salamanca (74 dBA) y Fuencarral-El Pardo (73 dBA), mientras que los **mínimos** en Moncloa-Aravaca (41 dBA), Barajas (43 dBA), Salamanca (45 dBA), Fuencarral-El Pardo (45 dBA), Carabanchel (45 dBA), Ciudad Lineal (45 dBA) y Hortaleza (45 dBA). Ahora no emerge una tendencia espacial tan nítida, puesto que tanto distritos interiores, como periféricos aparecen en ambos polos. No obstante, prevalecen los máximos en distritos interiores y los mínimos en los periféricos.

Merece destacar, por otro lado, que hay una serie de distritos cuyos máximos son de los más altos, a la vez que sus mínimos son de los más bajos; se trata de Moncloa-Aravaca, Fuencarral-El Pardo, Ciudad Lineal o Salamanca, que denotan así unas fuertes disparidades internas. De los cuatro mencionados, los tres primeros son periféricos. Por otra parte, Chamberí, en consistencia con su atípica conducta diurna, exhibe de nuevo uno de los menores valores máximos y, a la vez, el mínimo más alto, i.e. mucha homogeneidad.

Completando el análisis sobre la variabilidad de los datos sonoros dentro de cada distrito, en la [figura 9](#) se observa que los de mayor amplitud intercuartil, es decir, cuya caja es mayor, son Chamartín (5,25 dBA), Salamanca (5 dBA), Tetuán (4,5 dBA) y Retiro (4 dBA), todos ellos situados en posición interior; en contraposición a ellos, por su homogeneidad sonora nocturna aparecen Chamberí (aunque no tanto como durante el día) y Moratalaz (2 dBA). La **amplitud semi-intercuartil** oscila entre 2,5 y 3,5 dBA en la mayoría de los distritos, si bien unos pocos, como los mencionados primero, exhiben variabilidad mayor (≥ 4 dBA) o menor (2 dBA).

La inspección de la distribución espacial de los niveles sonoros dentro de los mencionados distritos destacados arroja un patrón bastante similar al del caso diurno (las cajas se distribuyen

aproximadamente de la misma manera), salvo la lógica disminución generalizada de la intensidad sonora: todos los 1^{os} cuartiles caen por debajo de los 60 dBA (menos el distrito de Chamberí, en el que coincide con dicho valor), e incluso también alguno de los 3^{os} cuartiles.

Las **medias** nocturnas también alcanzan niveles considerablemente más bajos y su distribución es más irregular, habiendo más diferencias entre las de unos distritos y otros. Los del "ensanche" (Retiro, con la más alta - 63 dBA-, Salamanca, Chamberí y Arganzuela) arrojan niveles superiores y, nuevamente, en bastantes distritos periféricos caen ostensiblemente, emergiendo en Vicálvaro la mediana más baja (56 dBA).

Analizando más detalladamente en el diagrama de caja la posición relativa de la mediana respecto a los cuartiles 1 y 3, se constata que en la mayoría de los casos ésta se sitúa hacia la mitad, indicando de nuevo una cierta simetría en la distribución del 50 % central de los datos dentro de cada distrito. No obstante, también se insinúa en un cierto número de ellos una asimetría positiva, lo que apunta a mayor heterogeneidad en los niveles más ruidosos.

En resumen, estos resultados indican nuevamente que Vicálvaro es uno de los distritos con unos niveles de ruido ambiental nocturnos más soportables (niveles sonoros más bajos y mediana menor), al igual que sucede con el L_{Aeq} diurno. Le siguen Puente de Vallecas y Fuencarral-El Pardo, (ambos con mediana 57 dBA, 1^{er} cuartil 54 dBA y 3^{er} cuartil 60 dBA). Dos de los tres casos citados son distritos periféricos. Por el contrario, Retiro, Salamanca, Chamberí y Arganzuela, todos ellos correspondientes a la "almendra central", parecen ser los distritos con unos niveles sonoros nocturnos, en conjunto, más desfavorables por altos. Su mediana supera a la del total de Madrid y, en general, presentan una mayor variabilidad acústica.

7. Niveles acústicamente más desfavorables en los distritos de Madrid durante el día y la noche

El examen por distritos de los lugares más ruidosos tiene su interés por cuanto permite comparar y valorar aquéllos que en su interior sufren más severamente este tipo de polución. A tal fin se utilizará un conocido y útil indicador: el percentil 90 de la serie de datos de L_{Aeq} registrada⁴. Su interpretación, recuérdese, indica que el 90 % de la muestra de datos del distrito posee un nivel sonoro inferior o igual a dicho valor y que, por tanto, el 10 % lo supera. Nuestro interés recae precisamente en ese 10 % de cuadrículas (o lo que es lo mismo, del espacio muestreado de cada distrito) que soporta unos niveles sonoros más elevados; en definitiva, se trata de las zonas acústicamente más desfavorecidas del distrito.

7.1. Situaciones acústicamente más desfavorables durante el periodo diurno (7 a 23 h)

El percentil 90 por distritos de la serie de datos de L_{Aeq} diurno se ha plasmado en la [figura 10](#), mediante colores graduados, con una escala dicromática azul-rojo, agrupando los valores en intervalos de 2 dBA de amplitud.

Los niveles sonoros más altos y desfavorables se registran en los distritos pertenecientes a la "almendra central" de Madrid, destacando Salamanca, con un 10 % de sus cuadrículas con un nivel superior a 75 dBA. Tras él, el par constituido por Retiro y Tetuán (74 dBA), junto con Centro y Chamartín (73 dBA) y, a continuación, Arganzuela (72,3 dBA), Moncloa-Aravaca, Chamberí y Ciudad Lineal (71 dBA). El resto de distritos (once) presenta un nivel algo menor, pero aún así elevado (69 y 70 dBA); finalmente aparece Moratalaz, con 68 dBA, cuyo percentil 90, aun siendo el menor, alcanza un nivel sonoro excesivo. Nótese que en todos los casos se supera con mucho, por ese conjunto de cuadrículas, el umbral recomendable de 65 dBA para zonas residenciales durante el día.

7.2. Situaciones acústicamente más desfavorables en el periodo nocturno (23 a 7 h)

Las situaciones acústicamente más desfavorecidas, según las delimita el percentil 90 de la serie de datos de L_{Aeq} nocturno, se exhibe en la [figura 11](#). Como diferencia sustancial, pero lógica, entre los resultados que aporta este plano y el anterior, emerge la reducción de los niveles sonoros, por el descenso de la actividad urbana. Los valores más altos afloran una vez más en los distritos interiores de Madrid, destacando Tetuán (70 dBA), Salamanca (69,6 dBA), Retiro y Chamartín (69 dBA), seguidos de Centro y Arganzuela (67 dBA). A continuación un grupo formado por Moncloa-Aravaca, Chamberí, Ciudad Lineal (66 dBA), y Villa de Vallecas (65 dBA). Tras ellos, el resto de distritos (diez), con un nivel comprendido entre 63 y 64,9 dBA; finalmente se encuentra, al igual que en el periodo diurno, Moratalaz, con un 10 % de cuadrículas que superan los 62 dBA. Constátase cuán lejos queda, en todos los distritos, ese conjunto de cuadrículas más ruidosas de los niveles recomendables para zonas residenciales para la noche (55 dBA).

* * *

A la vista de los dos planos comentados y, dentro de la zona acústicamente más conflictiva, es decir, la "almendra central" de Madrid, el distrito de Salamanca se desmarca por sus niveles sonoros más elevados, seguido por Retiro y Tetuán, mientras que Chamberí representa el caso contrario, siendo el menos perjudicado en ese ámbito. En el conjunto de Madrid, y según este indicador, la situación menos grave se daría en Moratalaz.

8. Diferencias y oscilaciones acústicas diarias por distritos

El último de los aspectos objeto de atención en este trabajo concierne a la variación de los niveles sonoros a lo largo del día. Dado que el ritmo de las actividades humanas generadoras de sonido varía durante las 24 horas parece conveniente explorar cuán diferente es el nivel acústico en cada lugar entre los dos períodos significativos adoptados aquí. A tal fin abordaremos el examen de dos puntos: por un lado, el grado de paralelismo entre el ruido ambiental día-noche y, por otro, sus diferencias.

Respecto al primer aspecto, cabe constatar que la asociación estadística (correlación de Pearson) entre los valores de los puntos muestrales es muy alta: 0,976 (vid. [figura 12](#)). La nube de puntos, salvo algunos casos anómalos, muestra una forma claramente lineal y elíptica en torno a la

recta de regresión ($L_{Aeq} \text{ noche} = -7,60 + 1,025 L_{Aeq} \text{ día}$). La pendiente de dicha recta expresa que un aumento / disminución de 1 dBA durante el día se asocia, en general, a una variación correlativa de 1,025 dBA durante la noche.

Estudiando, en segundo lugar, las diferencias estadísticas en cada punto muestral mediante la simple resta entre el L_{Aeq} diurno y el L_{Aeq} nocturno, se percibe que esa oscilación posee una notable consistencia: la distribución es unimodal ([figura 13](#)), pero asimétrica positiva (índice 1,1) y muy apuntada o leptocúrtica (índice 34,2). Hay un valor netamente dominante, 6 dBA (57,4 % de los puntos muestrales), que se constituye así en la regla del descenso habitual del ruido ambiental en Madrid del día a la noche. Entre 5 y 7 dBA (ambos inclusive) queda ya el 88,2 % de los puntos, lo que corrobora esa fuerte homogeneidad en el descenso del ruido urbano. Téngase en cuenta que ambos indicadores son un tipo de promedio y no traducen por tanto la disparidad entre los extremos sonoros puntuales que puedan ocurrir.

Pese a lo anterior, afloran algunos casos anómalos: en tres puntos muestrales la variación es negativa, lo que indica que la noche es más ruidosa allí que el día; en otros 27 (0,6 por ciento de los puntos muestrales) la variación positiva, iguala o supera los 10 dBA y de ellos en cuatro se exceden los 15 dBA.

La desagregación por distritos permite comprobar que, en una mayoría, las diferencias oscilan entre 4-8 dBA ([tabla 1](#)). El ámbito del distrito de Centro se comporta de forma netamente discordante, con puntos atípicos más ruidosos en la noche que en el día, o con incrementos sonoros diurnos extraordinarios. Villa de Vallecas también se aparta de los demás por su menor oscilación acústica diaria (máximo de 6 dBA). Finalmente, y como último rasgo a señalar, las diferencias intradía más homogéneas (hasta 3 dBA) se manifiestan en los distritos de Puente de Vallecas, Villaverde y Vicálvaro.

El mapa de las variaciones día-noche ([figura 14](#)) añade no poca clarificación de esta realidad sonora tan poco visible, pero tan sentida, apreciándose la dominante homogeneidad antes comentada. En el distrito de Centro es donde brotan los mayores cambios en los niveles sonoros diarios. En ello probablemente influya la mayor resolución de su malla, detallando así mejor el ambiente acústico, pero resulta muy revelador también que aparezcan allí los tres puntos donde el nivel sonoro aumenta por la noche respecto al día; como hipótesis hay que pensar en las actividades ligadas al ocio nocturno. Al mismo tiempo, este distrito es el que sufre los mayores aumentos sonoros diurnos respecto a la noche: en algunos puntos (seis) se incrementa en más de 14 dBA y en uno la diferencia llega hasta 22. Dadas esas fuertes alternancias sonoras, no extraña la preocupación preferente al respecto de las autoridades municipales sobre este distrito. En otros lugares también emergen "manchas" de oscilaciones notorias: calle Cristóbal Bordú (Chamberí), el cruce de la avda. Cardenal Herrera Oria y la autopista M-607 (Fuencarral-El Pardo), el entorno del Hospital Doce de Octubre (Usera), el interior del Cementerio de la Almudena (sur de Ciudad Lineal). En ellos cabe presumir como causa el descenso del tráfico nocturno.

La exploración, mediante búsquedas temáticas en el SIG, permite establecer algunas asociaciones espaciales para las diferencias acústicas intradía moderadas (entre 1 y 4 dBA en L_{Aeq}): a veces (42 puntos) coinciden con niveles nocturnos también "moderados" (hasta 60 dBA), hecho

que se concentra sobre todo en el distrito de Centro, en zonas con trama formada por calles secundarias y estrechas (poco aptas para el tráfico) y en el entorno de la calle Bailén-Pza. de Oriente, cuyo tráfico subterráneo parece haber sido efectivo en ese sentido. Pero, a veces, coinciden también con zonas de ruido nocturno alto (igual o superior a 65 dBA); en este caso la cifra de puntos muestrales es mayor (211) y más disperso, si bien tienden a aglutinarse sobre bastantes vías principales, v. gr. Gran Vía, Pta. del Sol-Pza. Mayor, algunos tramos de la Castellana, Azca, Pza. de Castilla, calles Concha Espina (Chamartín), Goya, María de Molina, Arco de la Victoria, Princesa-Alberto Aguilera, Pº Reina Cristina-Avda. del Mediterráneo, M-30, Cardenal Herrera Oria, Paraninfo de la Ciudad Universitaria, General Ricardos-Oca (Carabanchel), Valmojado (Aluche), Avda. de los Poblados (Carabanchel), Avda. de Daroca-Casalarreina (Vicálvaro), etc. En estos casos las limitadas diferencias intradía obedecen al hecho de que tanto de día como de noche los niveles sonoros son notables, circunstancia vinculable al tráfico que soportan.

9. Conclusiones

En la actualidad, los problemas ambientales urbanos a los que se enfrentan las administraciones municipales cada vez cobran más importancia a causa de su influencia sobre la salud y bienestar de los ciudadanos y deben abordarse en las políticas locales, desde una perspectiva de desarrollo integrado y sostenible. En este trabajo se ha afrontado una cuestión, el ruido urbano, de indudable interés ambiental, pero también social, económico y político-administrativo.

Desde el punto de vista metodológico-instrumental, el estudio se ha beneficiado del empleo de las tecnologías de la información geográfica aplicadas al análisis espacial de rasgos ambientales, en este caso resultado sobre todo de la interacción hombre-medio, permitiendo adoptar un enfoque multiescalar de manera flexible. Ha sido factible así abordar eficientemente una fase analítica concreta, la descripción del nivel sonoro, mediante un SIG y otras herramientas informáticas y estadísticas.

Desde el punto de vista empírico, se ha realizado una primera caracterización espacio-temporal del ambiente sonoro madrileño. De ella cabe colegir que, en Madrid, los niveles sonoros experimentan un lógico descenso (bien expresado por las medianas de los distritos) al pasar del periodo diurno al nocturno y que, además, la variación de dichas medianas tiende a mantenerse dentro de unos márgenes estrechos, tanto en el periodo diurno, como en el nocturno.

En el conjunto de la metrópoli se ha comprobado que, en términos generales, los niveles sonoros ambientales tienden a disminuir al irse aproximando a la periferia. El análisis desagregado por distritos ha constatado que los integrantes de la "almendra" central de Madrid (Centro, Arganzuela, Retiro, Salamanca, Chamartín, Tetuán y Chamberí) se desmarcan por su ambiente exterior más ruidoso, respecto al resto de Madrid, en los dos periodos del día considerados. Su mediana supera la del total de Madrid y, en general, presentan una mayor variabilidad de los datos. El orden varía según se considere el periodo diurno (Chamberí, Arganzuela, Retiro y Salamanca) o nocturno (Retiro, Salamanca, Chamberí y Arganzuela).

Por el contrario, los resultados apuntan que Vicálvaro es uno de los distritos con unos niveles de ruido ambiental más soportables, en ambos periodos, pues sus indicadores son de los más bajos, presentan una variabilidad relativamente escasa y su mediana es la menor. Sin embargo, procede recordar que se trata de uno de los distritos con menor número de puntos muestrales, hecho que podría influir en la representatividad de este resultado. En el periodo diurno le siguen Hortaleza, Moncloa-Aravaca y Fuencarral-El Pardo, y en el nocturno Puente de Vallecas y Fuencarral-El Pardo, la mayoría de ellos periféricos.

Cuando el análisis enfoca las situaciones sonoras más desfavorables (que afectan al "peor" 10 % de los puntos-cuadrículas del Plano Acústico), tanto durante el periodo diurno como el nocturno, éstas afloran en los distritos de Salamanca, Retiro, Tetuán y Chamartín, que forman parte de nuevo de la "almendra" central. Por el contrario, Moratalaz es el menos perjudicado, aunque aún así presenta niveles sonoros elevados en el percentil 90.

La oscilación sonora diaria apunta también hacia algunas conclusiones claras: un descenso general en torno a 6 dBA y la existencia de ámbitos singulares. Uno de ellos es el distrito de Centro, donde aparecen puntos en los que aumenta el ruido durante la noche (escasos, pero expresivos probablemente del ocio nocturno), o donde aumenta desmedidamente durante el día. En otras zonas, lo especial estriba en su escasa fluctuación intradía, independientemente de que sean o no ruidosos.

Considerando que un ambiente deseable desde el punto de vista de la intensidad sonora podría caracterizarse como poseedor de un nivel aceptable y relativamente constante (lo que apuntaría a una limitada fluctuación intradía), cabe avistar ulteriores análisis para desarrollar, por ejemplo, una tipología acústica del espacio urbano madrileño, a partir de los indicadores más significativos, que identifique zonas homogéneas en su ambiente sonoro, tanto en cuanto a intensidad, como en cuanto a oscilación temporal.

En resumen, en esta investigación se han contemplado dos tipos de objetivos, uno empírico, relativo al municipio de Madrid, pretendiendo contribuir al conocimiento del ruido urbano en esa metrópoli y adoptando los distritos como unidad base para un análisis comparativo, dada la descentralización administrativa vigente en la urbe madrileña; y otro de tipo metodológico-instrumental, al aplicar un protocolo de análisis geográfico-ambiental para caracterizar la atmósfera sonora urbana, como paso previo para una ulterior evaluación de la incidencia que tiene el ruido ambiental sobre la población y las actividades. Parece razonable asumir que este protocolo podría aplicarse a otro buen número de ciudades que cuentan ya con planos acústicos y cuyo tamaño y funcionamiento genera también crecientes problemas de ruido urbano entre su población y actividades. No debe perderse de vista que la *Directiva europea 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental* establece una serie de plazos para la elaboración de mapas de ruido, concretamente el año 2007 para las aglomeraciones con más de 250.000 habitantes y 2012 para el resto, además de su posterior revisión periódica quinquenal. Ello supone que en unos años, el análisis, la prevención y corrección de la contaminación acústica estarán plenamente integrados en la gestión municipal, lo cual contribuirá inequívocamente a las metas de bienestar, calidad de vida y sostenibilidad de nuestras sociedades.

Referencias bibliográficas

- Arana, M. *et al.* (1997): "Actualización del mapa acústico de Pamplona", *Tecniacústica 97. XXVIII Jornadas Nacionales de Acústica y Encuentro Ibérico de Acústica. Conferencias invitadas y comunicaciones*. Calvo-Manzano, A. y Santiago, J. S. (eds.), número extraordinario de la Revista de Acústica, vol. XXVIII, Madrid, Sociedad Española de Acústica, p. 17-20.
- Arriaga Sanz, J. M. *et al.* (2001 a): "Evolución de la contaminación acústica ambiental en las 18 ciudades de más de 50.000 habitantes de Andalucía", *Tecniacústica 2001, XXXII Congreso Nacional de Acústica y Encuentro Ibérico de Acústica*, Nº especial de la *Revista de Acústica*, vol. XXXII, Madrid, Sociedad Española de Acústica, Publ. CD-ROM.
- Arriaga Sanz, J. M. *et al.* (2001 b): "Estudio de la contaminación ambiental acústica en Andalucía. Análisis comparativo entre ciudades de más de 50.000 habitantes y ciudades entre 20.000 y 50.000 habitantes", *Tecniacústica 2001, XXXII Congreso Nacional de Acústica y Encuentro Ibérico de Acústica*, Nº especial de la *Revista de Acústica*, vol. XXXII, Madrid, Sociedad Española de Acústica, Publ. CD-ROM.
- Ayuntamiento de Madrid (2002 a): *Mapa Acústico de Madrid* [archivo en formato .ppt de presentación de Microsoft PowerPoint]. Área de Medio Ambiente, Dirección de Servicios de Gestión de Residuos y Calidad Ambiental, Unidad de Control Acústico, 1^{er} Plan Estratégico para la Reducción de la Contaminación Acústica (P.E.R.C.A.).
- Ayuntamiento de Madrid (2002 b): *Documentación para el manejo del Mapa de Ruido en VisualMap* [archivo en formato .doc de Microsoft Word].
- Ayuntamiento de Madrid (2002-2004): *Sistema de Información Medioambiental (S.I.M.)*, *Red de Vigilancia de la Contaminación Acústica* [en línea]. Madrid, Ayto. de Madrid, Rama de Medio Ambiente, Departamento de Calidad Ambiental [ref. varias] Disponible en Web: <<http://www.mambiente.munimadrid.es>>.
- Ayuntamiento de Madrid: Ordenanza de Protección de la Atmósfera contra la Contaminación por Formas de Energía, aprobada por el Pleno de Ayuntamiento de Madrid el 31 de mayo de 2004.
- Ayuntamiento de Madrid, Área de Salud y Consumo (2003): "Elementos estructurales de la economía madrileña. Superficie y población", *Calidad de Vida*, núm. 47.
- Ayuntamiento de Madrid (s.f.): *PERCA. Plan estratégico para la reducción de la contaminación acústica. Nuevo plano acústico de Madrid*. Madrid, Área de Medio Ambiente.
- Barrigón-Morillas, J. M. *et al.*, (2001): "Caracterización acústica de las calles de barrio de la ciudad de Cáceres", en *Tecniacústica 2001, XXXII Congreso Nacional de Acústica y Encuentro Ibérico de Acústica*, Nº especial de la *Revista de Acústica*, vol. XXXII, Madrid, Sociedad Española de Acústica, Publ. CD-ROM.
- Behar, A. (1994): *El ruido y su control*. Méjico, Editorial Trillas, S.A.
- Berglund, B. y Lindvall, T. (1995): *Community noise*. Estocolmo, Center for Sensory Research.
- Berglund, B. *et al.* (2000): *Guidelines for community noise*. Ginebra, World Health Organisation.
- Cobo Parra, P. (1997): *Control activo del ruido. Principios y aplicaciones*. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Colección Textos Universitarios, nº 26.
- Cortizo, J. *et al.* (2003): "Aplicación de los sistemas de información geográfica: Mapa acústico de la ciudad de León". Poster presentado en la *IX Conferencia Iberoamericana de SIG*. Cáceres, Universidad de Cáceres (cortesía del autor).
- España: Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.

- García Rodríguez, A. (1988): *La contaminación acústica*. Valencia, Universidad de Valencia, Servicio de Publicaciones.
- García Rodríguez, A. (1994): *Estudio del ruido ambiental en la Comunidad Valenciana*. Valencia, Conselleria de Medi Ambient. Generalitat Valenciana.
- García, A. et al. (2001): *Environmental urban noise*. Ashurst, Southampton, Wit Press.
- García Macho, R. (2000): "El principio rector medio ambiente y la protección ciudadana frente a los ruidos", en Sosa Wagner, F. (coord.), *El Derecho Administrativo en el umbral del siglo XXI. Homenaje al Profesor Dr. D. Ramón Martín Mateo*. Valencia, Editorial Tirant lo Blanch, tomo III.
- García Sanz, B. y Javier Garrido, F. (2003): *La contaminación acústica de nuestras ciudades*. Barcelona, Fundación "la Caixa", Colección Estudios Sociales, nº 12.
- Iglesia Huerta, A. de la (1999): *El ruido y sus consecuencias para la salud. Primer Congreso Nacional sobre el Ruido*. Madrid, Editorial AECOR.
- Instituto Nacional de Estadística (2001): *Censo de Población y Viviendas*. Madrid.
- López Barrio, I. (2001): "El significado del medio ambiente sonoro en el entorno urbano", *Estudios Geográficos*, 244, pp. 447-466.
- López Barrio, I. y Carles, J. L. (1997 b): "Espacio urbano y calidad sonora", *Tecniacústica 97. XXVIII Jornadas Nacionales de Acústica y Encuentro Ibérico de Acústica. Conferencias invitadas y comunicaciones*. Calvo-Manzano, A. y Santiago, J. S. (eds.), número extraordinario de la *Revista de Acústica*, vol. XXVIII, Madrid, Sociedad Española de Acústica, pp. 295-298.
- Martín-Retortillo Baquer, L. (1996): "Medio ambiente sonoro", en *Derecho del Medio Ambiente y Administración Local*, Esteve Pardo, J. (coord.), Madrid, Editorial Civitas-Diputació de Barcelona.
- Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (1983): *Ruido de tráfico urbano e interurbano. Manual para la planificación urbana y la arquitectura*. Madrid, Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente (C.E.O.T.M.A.), Secretaría General Técnica, Servicio de Publicaciones, Serie Manuales, núm. 4.
- Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (1989): *Medio Ambiente en España*. Madrid, Servicio de Publicaciones, Monografías de la Secretaría General de Medio Ambiente.
- Moreno Jiménez, A. y Martínez Suárez, P. (2005): "El ruido ambiental urbano en Madrid. Caracterización y evaluación cuantitativa de la población potencialmente afectable", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 40, 27 pp. (en prensa). <www.age.es>.
- Mulero Mendigorri, A. (1999): *Introducción al medio ambiente en España*. Barcelona, Ariel.
- O.C.D.E. (1991): *Lutter contre le bruit dans les années 90*. París. O.C.D.E.
- Perera, P. et al. (2000): "Estudio de niveles sonoros ambientales en el distrito Centro de Madrid", *Tecniacústica 2000, XXXI Congreso Nacional de Acústica, etc.*, nº especial de la *Revista de Acústica*, vol. XXXI, Madrid, Sociedad Española de Acústica, Publ. CD-ROM, 7 pp.
- Perera, P. (2001, coord.): *Libro blanco de la contaminación acústica en el municipio de Madrid*. Madrid, Ayuntamiento de Madrid.
- Perera, P. (s.f., coord.): *Jornadas internacionales sobre contaminación acústica en las ciudades, Madrid 2002*. Madrid, Ayuntamiento de Madrid.
- Pfretzschner, J. (1998): "El ruido urbano y su tratamiento", en Tello Ripa, B. (comp.): *El malestar ambiental de la ciudad*. Madrid, Ediciones de la UAM, pp. 163-199.
- Recuero López, M. (s.f.): *Contaminación acústica*. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, Licenciatura en Ciencias Ambientales.
- Recuero, M., Gil, C. y Grundman, J. (1996): "Mapa del ruido en San Sebastián de los Reyes. Metodología de medidas y resultados", *Tecniacústica 96. Jornadas Nacionales de Acústica*.

Martínez Suárez, P. y Moreno Jiménez, A. (2005): "Análisis espacio-temporal con SIG del ruido ambiental urbano en Madrid y sus distritos", *GeoFocus (Artículos)*, nº 5, p. 219-249, ISSN: 1578-5157

- Conferencias invitadas y comunicaciones.* Calvo-Manzano, A., Perera, P. y Santiago, J. S. (eds.). Número extraordinario de la *Revista de Acústica*, Madrid, Sociedad Española de Acústica, p. 51-54.
- Recuero, M., Gil, C. y Grundman, J. (1997): "Mapa del ruido de Segovia. Estudio de diferentes ambientes acústicos", *Tecniacústica 97. XXVIII Jornadas Nacionales de Acústica y Encuentro Ibérico de Acústica. Conferencias invitadas y comunicaciones.* Calvo-Manzano, A. y Santiago, J. S. (eds.), número extraordinario de la *Revista de Acústica*, vol. XXVIII, Madrid, Sociedad Española de Acústica, p. 29-32.
- Sanz Sa, J. M. (1987): *El ruido*. Madrid, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones, Serie Unidades Temáticas Ambientales de la Dirección General del Medio Ambiente.
- Schafer, R. (1985): "Acoustic Space", en Seamon, D. y Mugerauer, R. (eds.): *Dwelling, place, and environment*. Dordrecht, Martinus Nijhoff, pp. 87-98.
- Stevenson, G. M. (1972): "Noise and the urban environment", en Detwyler, T., Marcus, M. et al. (eds.): *Urbanization and environment*. Belmont, Duxbury Press, pp. 195-228.
- Unión Europea: Directiva 2002/49/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Unión Europea (1996): *Informe sobre las ciudades europeas sostenibles*. Comisión Europea, Dirección General de Medio Ambiente, Seguridad Nuclear y Protección Civil, Grupo de expertos sobre medio ambiente urbano, Bruselas, marzo.
- Unión Europea (1996): *Libro Verde de la Comisión Europea sobre política futura de lucha contra el ruido*. Documento COM (96) 540 final, Comisión Europea, Bruselas, 4 de noviembre.
- VVAA (1991): *El ruido en la ciudad. Gestión y control*. Madrid, Sociedad Española de Acústica.
- Walker, J. y Flindell, I. (2005): *Noise pollution*. John Wiley and Sons.

TABLAS

Tabla 1. Diferencias acústicas extremas por distritos entre el L_{Aeq} diurno y el L_{Aeq} nocturno (en dBA).

Distrito	Nº de puntos muestrales	Diferencia mínima	Diferencia máxima
CENTRO	439	-9.0	22.0
ARGANZUELA	167	4.0	8.0
RETIRO	134	4.0	9.0
SALAMANCA	133	4.0	8.0
CHAMARTÍN	221	4.0	8.0
TETUÁN	133	4.0	8.0
CHAMBERÍ	118	4.0	8.0
FUENCARRAL-EL PARDO	329	4.0	10.0
MONCLOA-ARAVACA	481	3.0	8.0
LATINA	284	4.0	10.0
CARABANCHEL	251	4.0	8.0
USERA	178	3.0	9.0
PUENTE DE VALLECAS	228	5.0	8.0
MORATALAZ	123	4.0	8.0
CIUDAD LINEAL	275	4.0	8.0
HORTALEZA	266	4.0	8.0
VILLAVERDE	138	4.0	7.0
VILLA DE VALLECAS	61	1.0	6.0
VICÁLVARO	79	4.0	7.0
SAN BLAS	236	4.0	8.0
BARAJAS	120	4.0	8.0

Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

FIGURAS

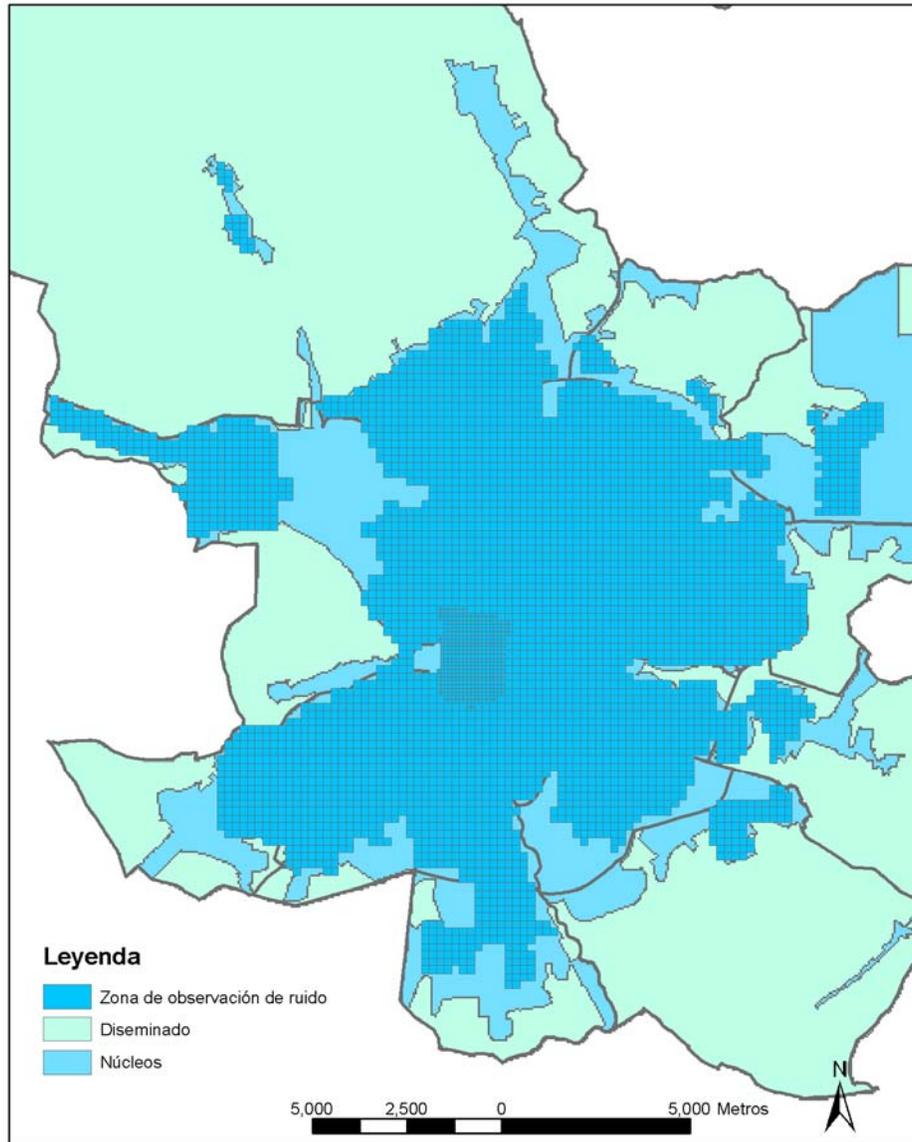


Figura 1. Zona cubierta por el Plano Acústico de Madrid 2001-02 (cuadrículas de 100 y 200 m.), sobre el fondo de los núcleos urbanos y del límite municipal.

Fte.: elaboración propia a partir de cartografía digital del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid.

Martínez Suárez, P. y Moreno Jiménez, A. (2005): "Análisis espacio-temporal con SIG del ruido ambiental urbano en Madrid y sus distritos", *GeoFocus (Artículos)*, nº 5, p. 219-249, ISSN: 1578-5157

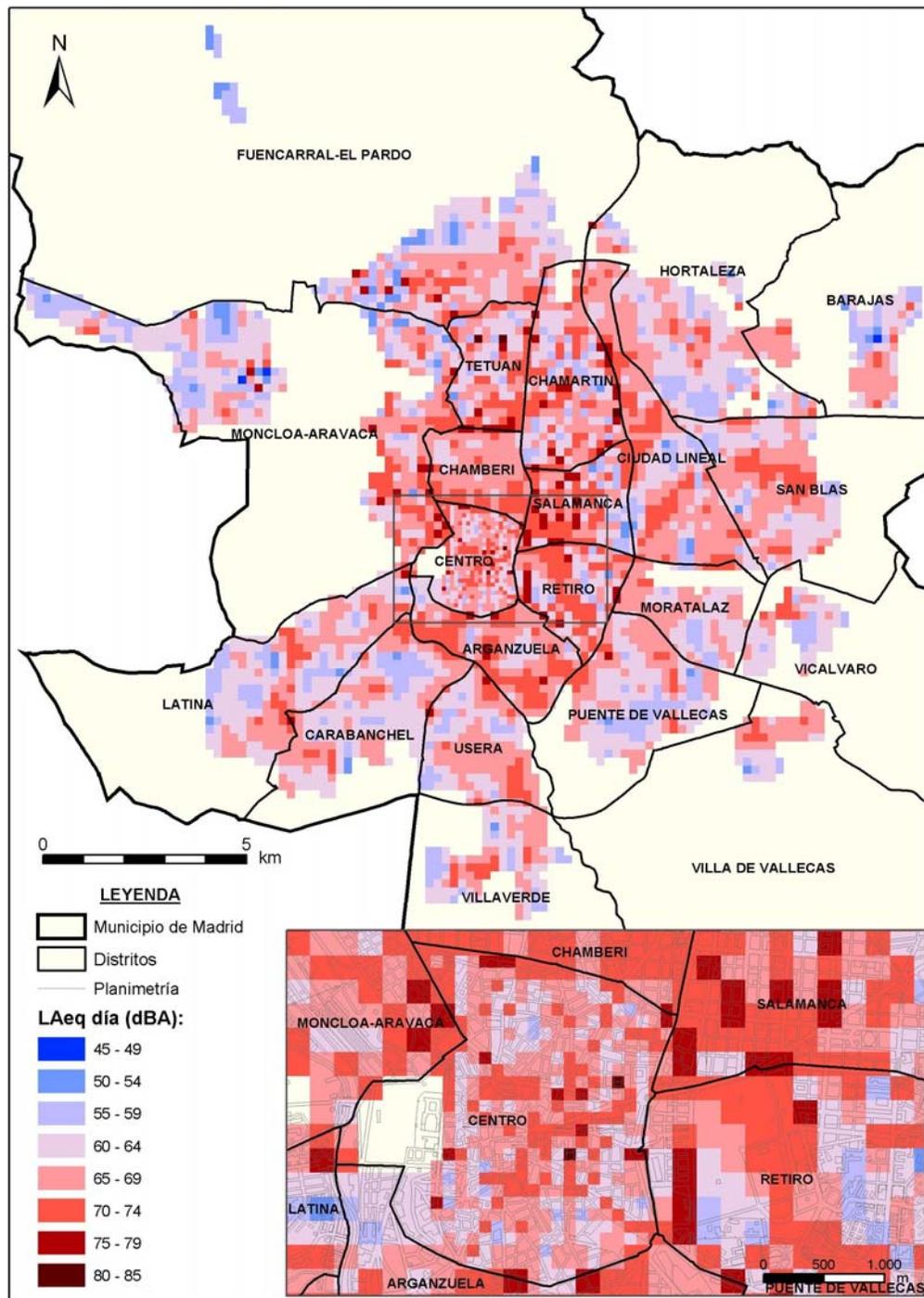


Figura 2. Niveles acústicos de Madrid durante el periodo diurno y detalle del Centro.

Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Martínez Suárez, P. y Moreno Jiménez, A. (2005): "Análisis espacio-temporal con SIG del ruido ambiental urbano en Madrid y sus distritos", *GeoFocus (Artículos)*, nº 5, p. 219-249, ISSN: 1578-5157

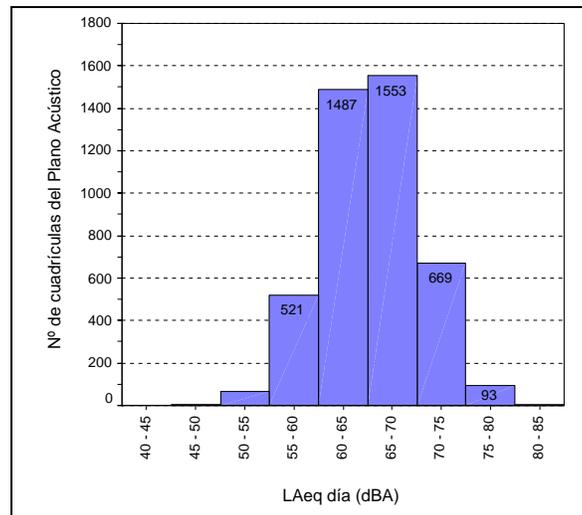


Figura 3 Distribución de frecuencias del L_{Aeq} diurno en Madrid.
Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

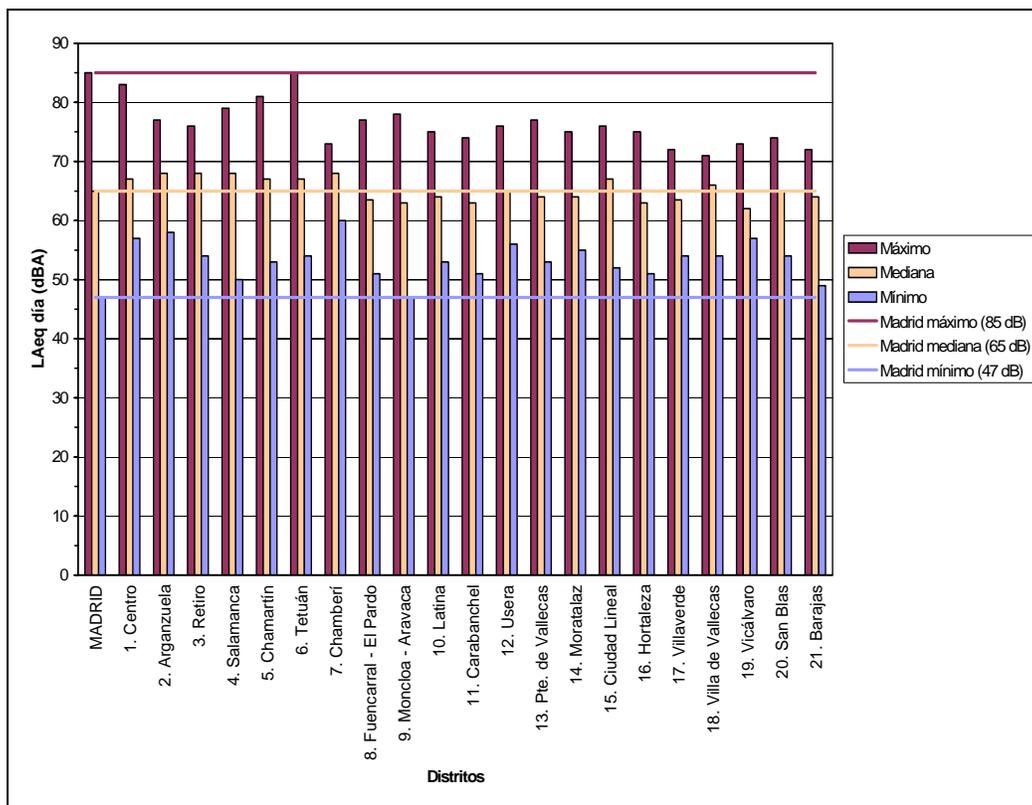


Figura 4. Representación de los niveles sonoros máximos, mínimos y la mediana del L_{Aeq} diurno, por distritos del municipio de Madrid.

Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Martínez Suárez, P. y Moreno Jiménez, A. (2005): "Análisis espacio-temporal con SIG del ruido ambiental urbano en Madrid y sus distritos", *GeoFocus (Artículos)*, nº 5, p. 219-249, ISSN: 1578-5157

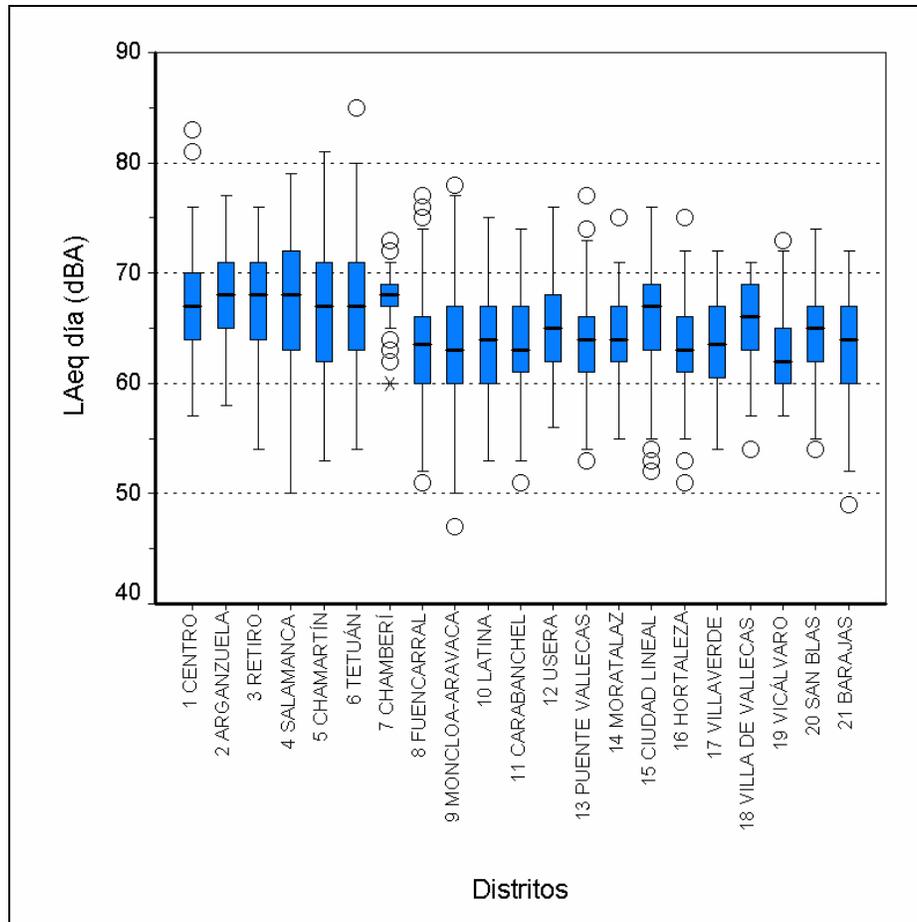


Figura 5. Diagramas de caja y bigotes del L_{Aeq} diurno por distritos del municipio de Madrid. Los datos atípicos están representados individualmente.

Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Martínez Suárez, P. y Moreno Jiménez, A. (2005): "Análisis espacio-temporal con SIG del ruido ambiental urbano en Madrid y sus distritos", *GeoFocus (Artículos)*, nº 5, p. 219-249, ISSN: 1578-5157

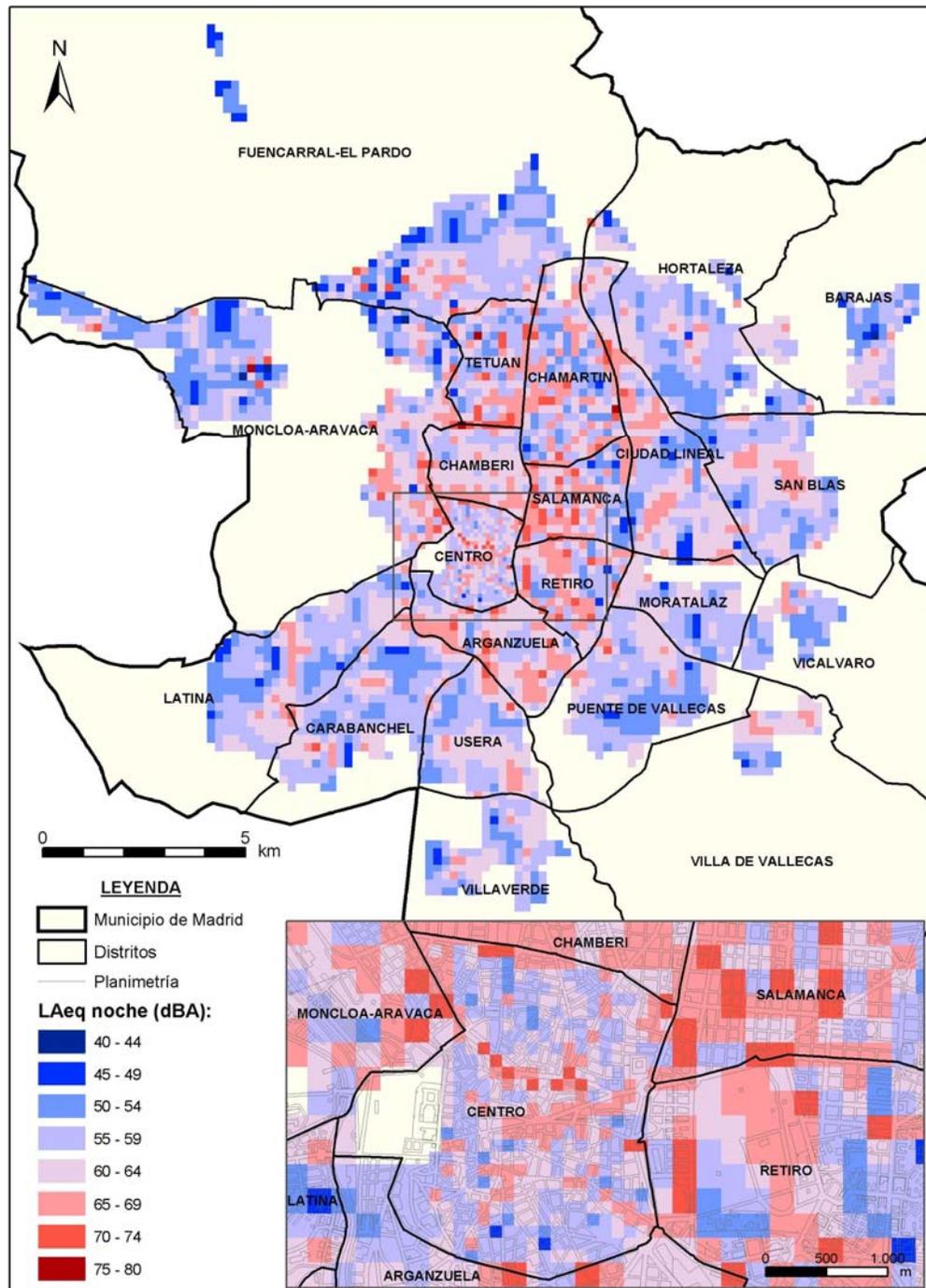


Figura 6. Niveles acústicos de Madrid durante el periodo nocturno y detalle del Centro.
Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Martínez Suárez, P. y Moreno Jiménez, A. (2005): "Análisis espacio-temporal con SIG del ruido ambiental urbano en Madrid y sus distritos", *GeoFocus (Artículos)*, nº 5, p. 219-249, ISSN: 1578-5157

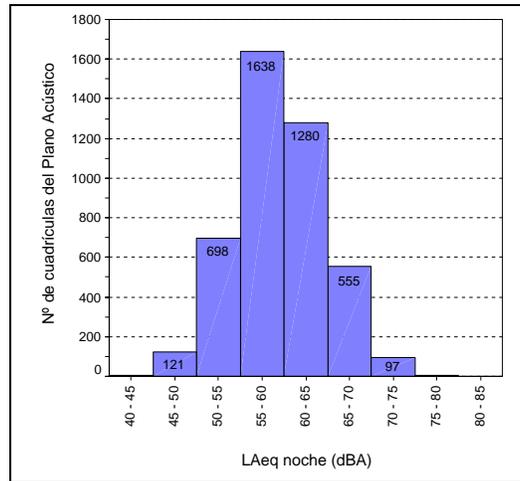


Figura 7. Distribución de frecuencias del L_{Aeq} nocturno en Madrid.

Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

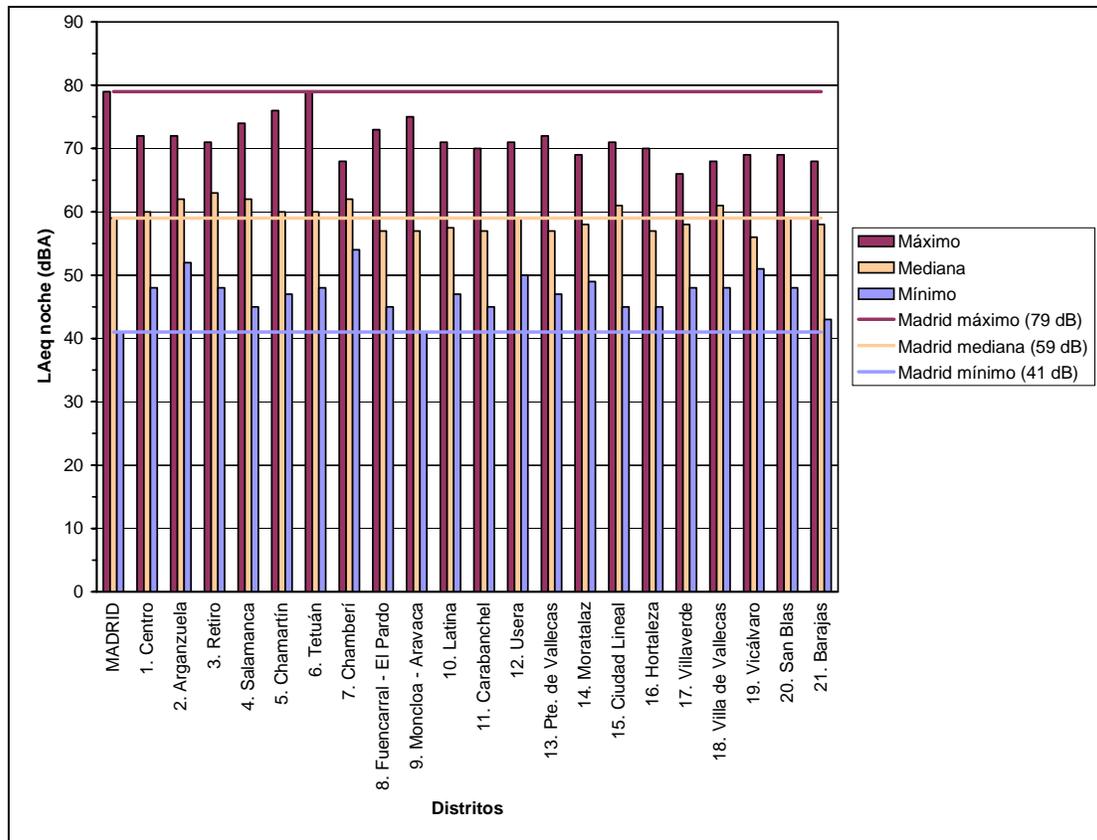


Figura 8. Niveles sonoros máximos, mínimos y mediana del L_{Aeq} nocturno, por distritos del municipio de Madrid.

Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Martínez Suárez, P. y Moreno Jiménez, A. (2005): "Análisis espacio-temporal con SIG del ruido ambiental urbano en Madrid y sus distritos", *GeoFocus (Artículos)*, nº 5, p. 219-249, ISSN: 1578-5157

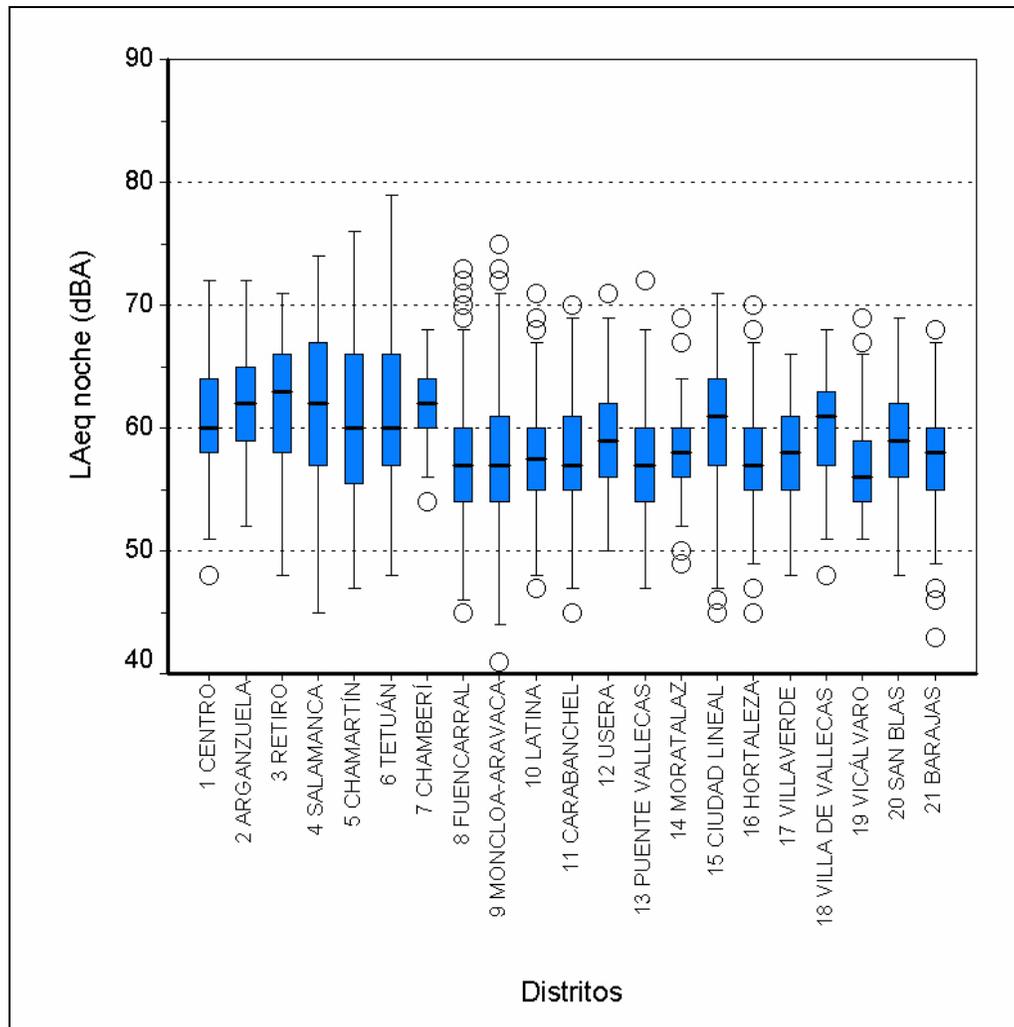


Figura 9. Diagramas de caja y bigotes del L_{Aeq} nocturno por distritos del municipio de Madrid. Los datos atípicos están representados individualmente.

Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Martínez Suárez, P. y Moreno Jiménez, A. (2005): "Análisis espacio-temporal con SIG del ruido ambiental urbano en Madrid y sus distritos", *GeoFocus (Artículos)*, nº 5, p. 219-249, ISSN: 1578-5157

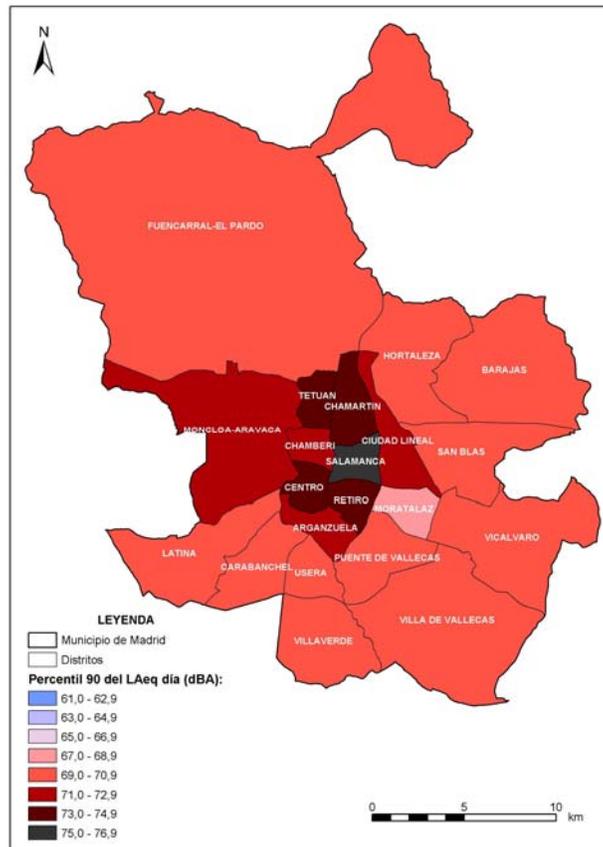


Figura 10. Niveles acústicamente más desfavorables soportados en cada distrito de Madrid durante el periodo diurno (de 7 a 23 h).
Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Martínez Suárez, P. y Moreno Jiménez, A. (2005): "Análisis espacio-temporal con SIG del ruido ambiental urbano en Madrid y sus distritos", *GeoFocus (Artículos)*, nº 5, p. 219-249, ISSN: 1578-5157

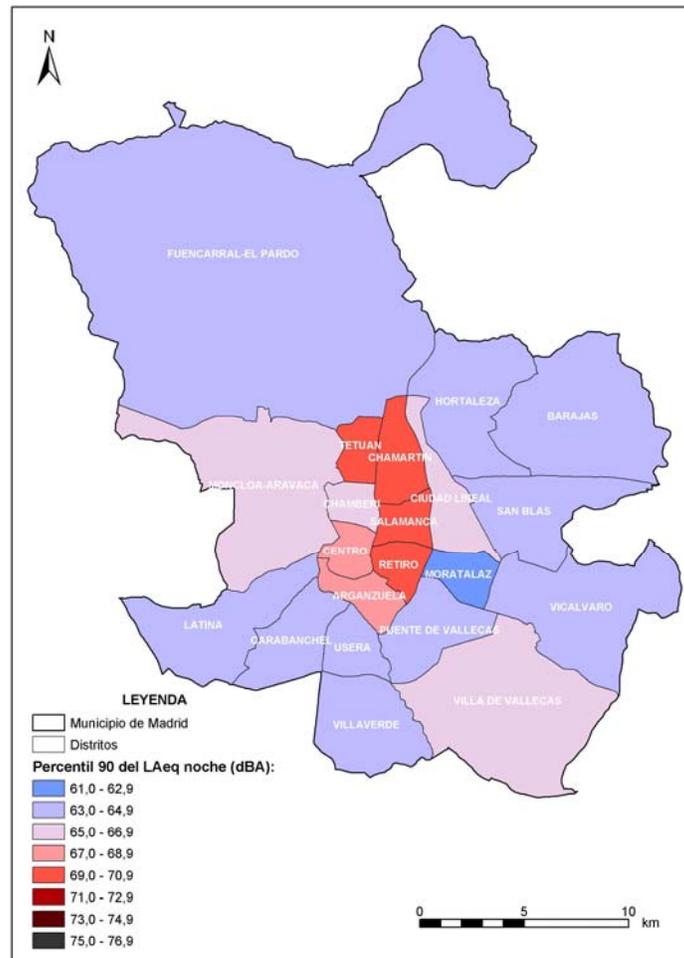


Figura 11. Niveles acústicamente más desfavorables soportados en cada distrito de Madrid durante el periodo nocturno (de 23 a 7 h).

Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Martínez Suárez, P. y Moreno Jiménez, A. (2005): "Análisis espacio-temporal con SIG del ruido ambiental urbano en Madrid y sus distritos", *GeoFocus (Artículos)*, n° 5, p. 219-249, ISSN: 1578-5157

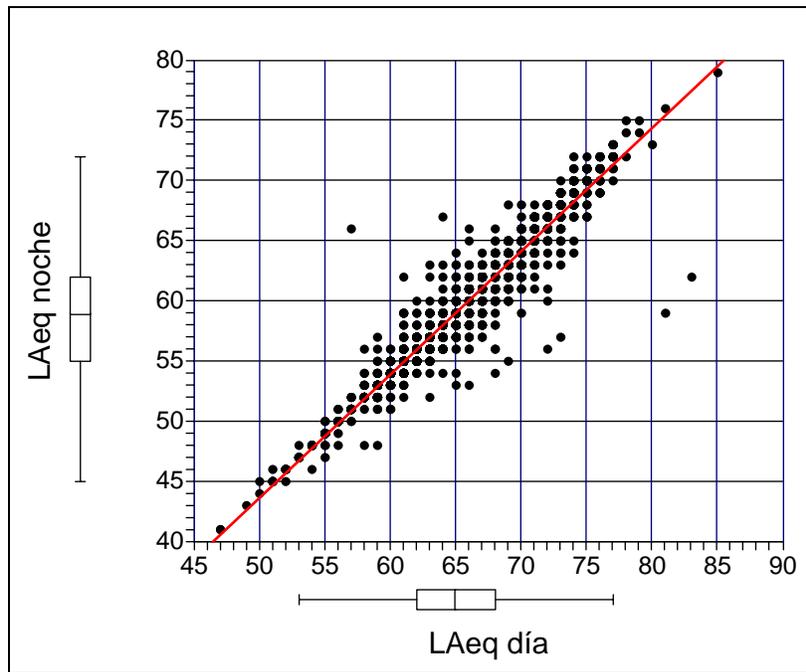


Figura 12. Diagrama de dispersión entre el L_{Aeq} diurno y el L_{Aeq} nocturno en Madrid.
Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

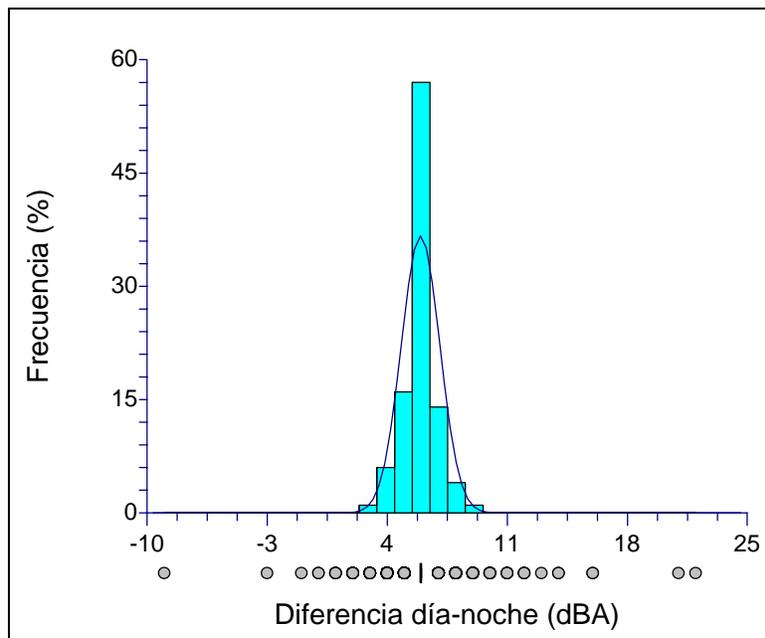


Figura 13. Distribución de frecuencias de las diferencias entre el L_{Aeq} diurno y el L_{Aeq} nocturno para los puntos muestrales en Madrid, con la curva gaussiana superpuesta.
Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Martínez Suárez, P. y Moreno Jiménez, A. (2005): "Análisis espacio-temporal con SIG del ruido ambiental urbano en Madrid y sus distritos", *GeoFocus (Artículos)*, nº 5, p. 219-249, ISSN: 1578-5157

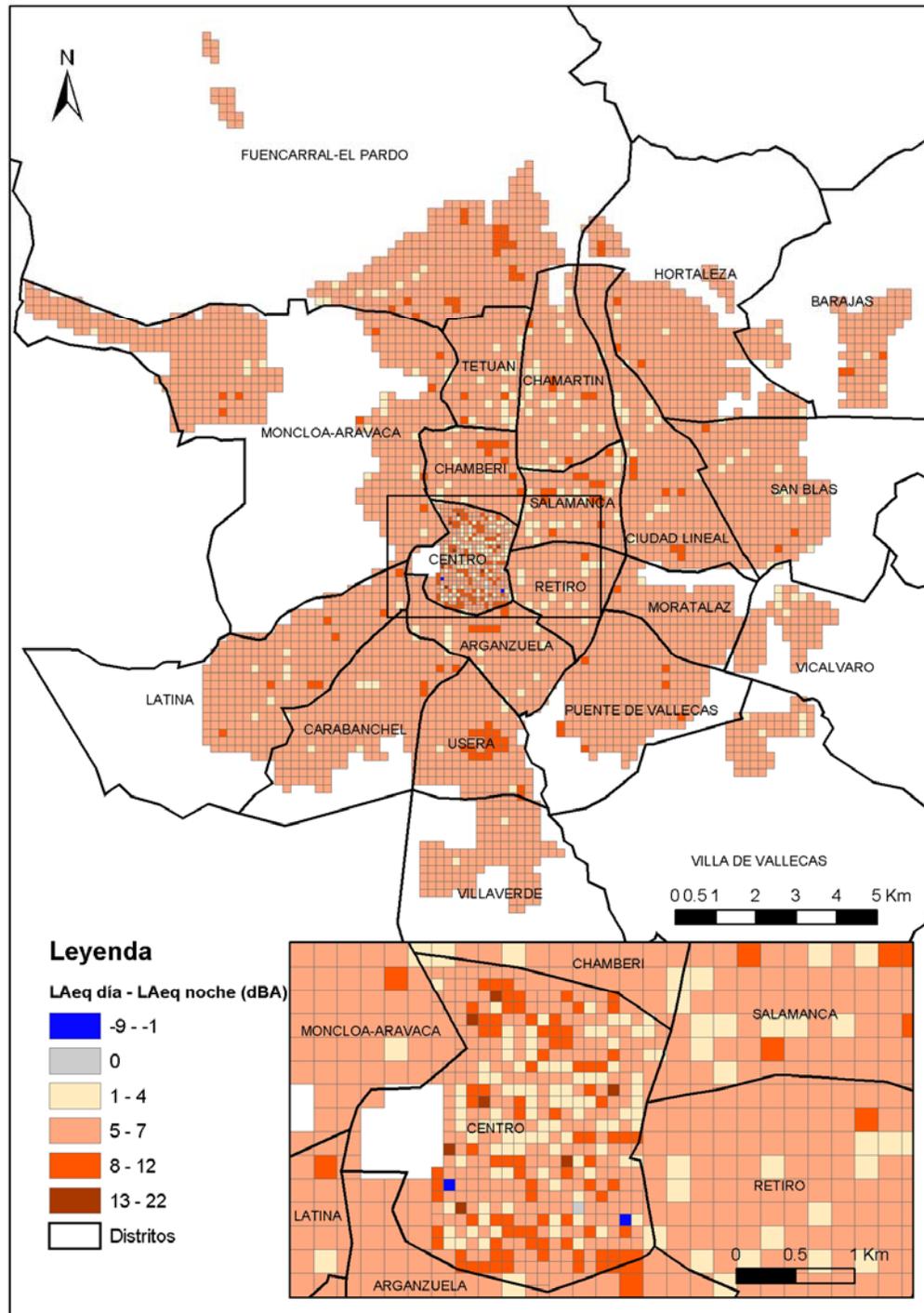


Figura 14. Oscilación acústica diaria por distritos de Madrid.
Fte.: elaboración propia con datos del Plano Acústico de Madrid de 2002.

Martínez Suárez, P. y Moreno Jiménez, A. (2005): "Análisis espacio-temporal con SIG del ruido ambiental urbano en Madrid y sus distritos", *GeoFocus (Artículos)*, nº 5, p. 219-249, ISSN: 1578-5157

¹ Los autores desean agradecer a los organismos públicos que facilitaron los datos usados en el estudio y, en especial, al Ayuntamiento de Madrid (Unidad de Niveles Sonoros) por los datos del Plano Acústico 2001-02.

² En los últimos años, la elaboración de mapas acústicos en diversas ciudades españolas ha motivado la aparición de algunos estudios preliminares sobre los datos hallados. Los recientes Congresos Nacionales de Acústica (publicados por la Revista de Acústica) suelen contener aportaciones de esa índole. Véase también Cortizo *et al.* (2003).

³ El periodo nocturno de medición de los niveles sonoros ambientales, según la nueva *Ordenanza Municipal de Protección de la Atmósfera contra la Contaminación por Formas de Energía, aprobada por el Pleno del Ayuntamiento de Madrid el 31 de mayo de 2004*, ha pasado a ser el comprendido entre las 0 y las 6 h.

⁴ El significado de este percentil 90 (con dimensión espacial) no debe confundirse con el índice de ruido L_{90} (con dimensión temporal), el cual indica el nivel sonoro continuo equivalente con una ponderación del tipo A (en dBA) que se ha superado o excedido durante el 90 % del tiempo total de medición y que suele identificar al llamado ruido de fondo (García Sanz y Javier Garrido, 2003).