

¿Está equitativamente repartida la contaminación sonora urbana? Una evaluación desde el principio de justicia ambiental en la ciudad de Madrid

Is the urban acoustic pollution equitably distributed? An assessment of environmental justice in Madrid

ANTONIO MORENO JIMÉNEZ*

INTRODUCCIÓN

La afirmación de que el ruido ambiental ha devenido un problema muy serio en las ciudades parece ya fuera de toda duda. El eco en los medios de comunicación, la conciencia ciudadana, las molestias y conflictos generados, las iniciativas reguladoras para domeñar los excesos de ruido y establecer un marco de protección y disciplina para espacios y personas, etc. conforman un abanico de manifestaciones que emanan del interés por la calidad y bienestar socio-ambiental, como aspiración colectiva prioritaria. Las amenazas para la salud y el malestar provocado por el ruido excesivo que caracterizan a determinados lugares está reclamando la atención de los estudiosos de diversas disciplinas, en aras de determinar con precisión los procesos de interacción fuente-receptor, sus consecuencias, las medidas a adoptar, etc. lo que posibilitaría avances hacia la sostenibilidad acústico-ambiental en muchos ámbitos.

Como fenómeno con una clara proyección espacial, el ruido es susceptible de un abordaje desde la perspectiva geográfica. Este artículo se inscribe dentro de una de las tradiciones científicas de esa disciplina, particularmente

* Este artículo se inscribe en una línea de investigación en colaboración con el doctorando P. Martínez Suárez, a quien se agradece el trabajo de importar los datos del plano acústico de Madrid a ArcGIS.

la que examina las relaciones de la sociedad con el medio, en este caso con un fenómeno físico, el sonido, en cuya generación y problematismo intervienen decisivamente los propios miembros de las comunidades humanas. El énfasis aquí recae, no en las causas y procesos de generación y difusión del ruido, sino en sus consecuencias o resultados socio-espaciales, cuyo análisis desde la perspectiva territorial apenas si ha sido desarrollado¹. De manera más específica, la investigación presentada atañe a un punto concreto: la relación entre niveles de ruido ambiental urbano y estatus de renta de la población residente, tratando de dilucidar el grado de equidad / inequidad ambiental derivado del patrón espacial de ambos fenómenos en un ámbito concreto, la ciudad de Madrid. De esta manera, y a partir de este caso de estudio, en el artículo queda involucrado un asunto de mayor envergadura: la adopción de principios generales que gozan de sólido fundamento y amplio reconocimiento a la hora de evaluar situaciones geográficas y, por tanto, que resultan valiosos para inspirar políticas territoriales y urbanas (planificación y gestión) atentas al bienestar y la sostenibilidad, pero también a la equidad.

En el apartado siguiente se concreta el marco teórico y los objetivos precisos contemplados, para después realizar algunas consideraciones sobre las fuentes de datos y la metodología adoptada. A continuación se presentan y discuten los resultados obtenidos, para finalizar con un balance y conclusiones.

EL MARCO TEÓRICO Y LOS OBJETIVOS: PLANTEAMIENTO DESDE EL PRINCIPIO DE LA JUSTICIA AMBIENTAL

La aproximación a la cuestión de las relaciones entre medio y sociedad, central en la Geografía a lo largo de su devenir como disciplina científica, ha cobrado en los últimos tiempos un renovado interés y esa reforzada relevancia conecta con ciertas preocupaciones que en las sociedades contemporáneas impregnan la atmósfera de ideas en la que se desenvuelven científicos, políticos, entidades públicas, empresas privadas y organizaciones no lucrativas, orientando sus discursos y prácticas.

Una de las razones de esa relevancia radica en el hecho de cómo se generan y reparten espacial, temporal y socialmente las "externalidades". El

1. No abundan las referencias previas en esa dirección, mereciendo mencionarse las desarrolladas por López Barrio (1987), Lázaro Pérez Toledo (1998), Moreno y Martínez (2005), Martínez y Moreno (2005), Martínez y Moreno (2006).

concepto de externalidad, originario de la ciencia económica, alude a la generación de beneficios o perjuicios por un agente que se proyectan sobre terceros y que no son cobrados o pagados, es decir, que no ocasionan una corriente dineraria compensatoria de sentido contrario al del beneficio o perjuicio. Se habla por ello de un fallo de mercado por cuanto las utilidades o desutilidades no se traducen o internalizan vías costes / precios. Este fenómeno es bastante usual y, cuando se manifiesta espacialmente, constituye uno de los motores más importantes de las transformaciones territoriales.

El análisis de una externalidad como el ruido desde una perspectiva geográfica requiere de una especificación apropiada, si se pretende alcanzar unos resultados y conclusiones relevantes. Como en otro lugar Moreno (1995) ha formulado, el examen, con fines de diagnóstico o evaluación, de los efectos derivados de un proceso contaminante ambiental implica una serie de agentes y facetas que pueden ser enunciados como clarificadoras preguntas de esta guisa:

1. ¿Quién realiza la actividad y por tanto genera los efectos o “oucomes”?
2. ¿Qué tipo de beneficios y perjuicios se producen sobre terceros?
3. ¿Qué intensidad de beneficios y/o perjuicios se ocasionan sobre otros?
4. ¿A quién afecta negativamente el desarrollo de la actividad, i.e. quién soporta la carga?
5. ¿Quién obtiene los beneficios de la actividad?
6. ¿Dónde se obtienen los beneficios y perjuicios?
7. ¿Cuándo se generan los beneficios y perjuicios, i.e. durante qué periodo?
8. ¿Cuándo se gozan o soportan dichos beneficios o perjuicios?

Responder a cuestiones de ese tenor es lo que ha marcado el norte de una investigación como ésta que concierne al análisis del efecto acústico potencial derivado de ciertas actividades humanas en el marco urbano. Como puede suponerse el reto, por su alcance, es notable. Conceptos ya bien acuñados como los de exposición, vulnerabilidad, impacto, etc. lógicamente conforman el telón de fondo de nuestro empeño empírico, para lo que remitimos a la amplia bibliografía sobre ellos (vid. por ejemplo, Ziegler, Johnson y Brunn, 1983; Blaikie, 1994; Hewitt, 1997; Pita López, 1999; Díaz Muñoz y Díaz Castillo, 2001-02; Paustenbach, 2002; o la revista *Risk Analysis*).

Naturalmente el presente estudio avista solo a una pequeña parte del vasto frente de indagación que se acaba de esbozar, pues se centra en un diagnóstico parcial atingente solo a las preguntas 4, 6 y 8 anteriores.

El principio de justicia ambiental como base para la evaluación de situaciones territoriales

La expresión justicia ambiental emergió en los años setenta, al socaire de los movimientos de base que se oponían a la desigual y racialmente discriminatoria distribución espacial de los residuos peligrosos y las industrias contaminantes en los EEUU (Gelobter, 1994; Sarokin y Schulkin, 1994; Cutter, 1995; Goldman, 1996; Harvey, 1996; Comacho, 1998; Gleeson y Low, 2003). Por tanto, más que a la versión positiva del concepto en sí, en realidad los orígenes se vinculan a situaciones caracterizadas claramente por la “injusticia espacial”, cuya manifestación empírica resultaba más fácil de evidenciar que un escenario ideal justo.

De ser solo una iniciativa ciudadana, el mensaje embrionario de los movimientos sociales de base pasó a adquirir un contenido conceptual cada vez más aquilatado, como se refleja en la bibliografía (vid. por ejemplo Wenz, 1988 y Dobson, 1998). Si inicialmente la definición que el Diccionario de Geografía Humana (Johnston et al., 2000) ofrece, como “movimiento sociopolítico que busca articular las cuestiones ambientales desde la perspectiva de la justicia social”, podía ser aceptable, con el tiempo se ha evidenciado reduccionista (Gleeson y Low, 2003, p. 455), pues enfatiza básicamente la faceta de activismo que vehiculó las reclamaciones. Como afirman Sarokin y Schulkin (1994, p. 121) el concepto gira en torno al hecho de que ciertas poblaciones 1) están sometidas a mayor riesgo de contaminación ambiental que otras, 2) sufren más perjuicios ambientales, y 3) están excluidas del acceso a los procesos de formulación y toma de decisiones. En la misma línea, Towers (2000, p. 23) afirma que la justicia ambiental se aplica a escala de la humanidad y apela tanto a la justicia distributiva, como a la procedimental. La primera (también referida como equidad en los logros o resultados, “output equity”) implicaría que los usos del suelo nocivos estuviesen distribuidos imparcialmente entre comunidades y que toda la gente tuviese derecho a igual protección por las leyes y regulaciones ambientales y de salud pública. La segunda establece el requerimiento de que el público tenga voz en la formación de decisiones que generan amenazas ambientales. Es decir, se refiere al mecanismo causal que conduce a una distribución espacio-temporal justa de los beneficios y cargas. Se percibe en este último entendimiento de la justicia ambiental la presunción de un sistema político capaz de garantizar una participación democrática de manera plena y efectiva a la hora, no solo de repartir el “output”, sino de decidir la producción de costes y beneficios a ser distribuidos, cuestión

de un alcance político sin par en nuestro desigual mundo. En general en la bibliografía, como refiere Lake (1996, p. 163), el énfasis de la expresión justicia ambiental recae en la dimensión distributiva de las amenidades y desventajas entre individuos y grupos.

De cara al análisis a realizar aquí, éste último punto de vista resulta apropiado y como tal se adoptará. Cabe añadir que un cierto número de estudios de caso publicados se han acogido a dicho enfoque, lo que permite contar ya con algunos hallazgos de interés tanto metodológicos, como empíricos (vid. Handy, 1977; Mohai y Bryant, 1992; Bowen et al., 1995; Cutter, Holm y Clark, 1996; Chakraborty y Armstrong, 1997; Jerrett et al., 2001; Bosque, Díaz y Díaz, 2001-2; Brainard et al., 2002; Moreno y Fernández, 2003; Forkenbrock y Sheeley, 2004; Moreno y Cañada, 2007). De los hallazgos obtenidos en dichos estudios se colige, por un lado, la existencia de situaciones de inequidad penalizando a los grupos pobres o minorías raciales / étnicas y, por otro, una pluralidad de aproximaciones metodológicas, involucrando diversas técnicas estadísticas y, cada vez más, a los sistemas de información geográfica (SIG), para solventar la cuestión de medir la intensidad y signo de esa relación espacial, cuestión aún pendiente de normalizar.

Los objetivos de estudio

Uno de los móviles que han latido bajo esta investigación estriba en intentar responder a ciertas preguntas obvias que podrían suscitarse al respecto para la ciudad de Madrid:

- ¿Qué ambiente sonoro disfrutan o padecen las zonas donde viven los grupos más pudientes? ¿Y los de status medio? ¿Y las capas de bajos recursos?
- Los grupos pobres ¿viven proporcionalmente más en ámbitos ruidosos? ¿gozan los ricos de entornos más plácidos y tranquilos? ¿existe un reparto equilibrado de esa "carga" ambiental entre los distintos grupos de renta?
- En suma, ¿qué grado de justicia o injusticia ambiental acústica existe en Madrid?

Dar contestación a dichos interrogantes constituye el primero de los objetivos del estudio, de cara a emitir valoraciones sobre la situación y posibilitar, luego, la eventual formulación de iniciativas tendentes a cambiarla.

El trabajo ha afrontado, asimismo, un segundo objetivo, en este caso de naturaleza metodológica y técnica. Nótese que lo recién enunciado supone

un reto importante y novedoso, por cuanto la evaluación avistada implica innovaciones en dos direcciones:

- ¿Cómo llevar a cabo la integración en un análisis de datos dispares, en grandes cantidades y con el suficiente grado de detalle espacial?
- ¿Qué tipo de instrumentos informáticos y cuantitativos posibilitan un procesamiento ágil y apropiado de los datos para responder a las cuestiones planteadas?

Se trata, por tanto, de proporcionar un protocolo procedimental capaz de solventar de forma conveniente y efectiva los objetivos y preguntas formulados. En resumen, y como contribución a esta línea de estudios se aspira, como meta última, a definir o diseñar una suerte de “justiciómetro acústico-ambiental” operativo.

A la luz de lo expuesto hasta aquí cabe añadir algunas consideraciones más concretas sobre el tema a solventar. Parece aceptable adoptar como premisa para la evaluación operativa que la no discriminación de los menos pudientes implicaría, por ejemplo, que la carga o externalidad negativa (e.g. ruido ambiental) que soportasen dichos grupos no fuese superior a la que les correspondiese. Análogamente, cabría sostener que si los grupos más favorecidos gozasen de una calidad sonora en su entorno mejor que lo que les corresponde de las externalidades sonoras (positivas o negativas) aludidas, también podría hablarse de inequidad. La dificultad entonces se trasladaría a como dilucidar la expresión de “lo que corresponde a cada grupo o clase socio-espacial”. Desbrozarla puede extenderse a varios planos, como se ha puesto de manifiesto en las preguntas del apartado 2. La acotación del problema que en este estudio se ha realizado permite prescindir por ahora de los agentes que “producen” las externalidades sonoras y las proyectan en el espacio, trasladando así a terceros agentes y otros ámbitos, una parte del “output” de sus actividades.

Conviene no olvidar, como certeramente enunciaron en su día Ziegler, Johnson y Brunn (1983, pp. 35-37), que la consideración conjunta de las zonas donde se obtiene el beneficio y donde se soportan los costes de una actividad hace posible una visión geográficamente más completa y atinada de la cuestión. Pero circunscribiéndonos a la cara relativa a los efectos, que bajo la forma de niveles ambientales sonoros, altos o bajos, molestos o agradables, afectan a los ciudadanos madrileños, la diana de la indagación se situará en dirimir si los ambientes acústicamente indeseables o favorables inciden (o coinciden) de manera desigual en los lugares ocupados por los diferentes niveles de estatus socio-económico de los residentes. Más adelante, al

exponer el método adoptado para tal fin se concretarán los pormenores de la medición de esa relación socio-espacial.

CUESTIONES METODOLÓGICAS

El ámbito de estudio

El objeto central de esta investigación concierne a la interfaz hombre-entorno, considerando dimensiones (el ruido urbano y la distribución intraurbana de uno de los atributos de la población, las rentas) que no hacen particularmente difícil deslindar la zona de estudio. Avistando, en términos generales, al municipio cápital de la región madrileña (principio de demarcación administrativa), resulta apropiado depurar ese ámbito para poner la atención, sobre todo, en el espacio ocupado por usos del suelo urbano, por cuanto es en él donde la población consume la mayor parte de su tiempo, generando y percibiendo, por tanto, ruido ambiental (criterio de significado social). Por tal motivo, adoptar la delimitación censal denominada como “núcleo urbano” resulta congruente. Finalmente, como fenómeno ambiental, la contaminación acústica, salvo causas concretas muy conocidas y localizadas (por ejemplo, el ruido de los aviones), no se despliega espacialmente de una forma demasiado extensa, sino que sus interacciones (e. g. efectos) se circunscriben a un derredor limitado en torno a la fuente (criterios de despliegue e interacción espacial). Otros procesos contaminantes, por ejemplo, las emisiones de gases o de radiación pueden, como es sabido, extenderse mucho más ampliamente sobre el territorio.

En resumen, por cuanto antecede resulta, de momento, razonable aceptar el ámbito de los núcleos de población, dentro del municipio madrileño, como unidad significativa para realizar un análisis geográfico del ruido urbano. No obstante, más adelante se matizará algo dicha demarcación, con criterios complementarios. En la figura 1 se muestra el municipio madrileño y el ámbito definido estadísticamente como núcleo urbano.

Fuentes de datos

La información necesaria para desarrollar el análisis concierne a dos facetas muy distintas, por un lado, el ruido ambiental en Madrid y, por otro, el nivel de renta de sus moradores, como atributo que correlaciona bien con el concepto de estatus socio-económico.

La fuente más completa disponible de datos sonoros sobre el municipio de Madrid es el plano acústico elaborado en 2001-02 por el Ayuntamiento, que se extiende a la parte fundamental del término municipal (*grosso modo* la ocupada por la población) y representa al periodo diario estándar de 24 horas. Se dispone de datos muestrales seleccionados según una cuadrícula básica de 200 x 200 m., que se complementó con subcuadrículas de 100 x 100 m. para el distrito Centro y de 400 x 400 m. para áreas más despejadas (zonas verdes, por ejemplo). En total se realizaron medidas sobre casi 4400 puntos, finalizando los trabajos de campo en 2001. En la figura 1 se muestra también el ámbito cubierto por la cuadrícula del muestreo acústico.

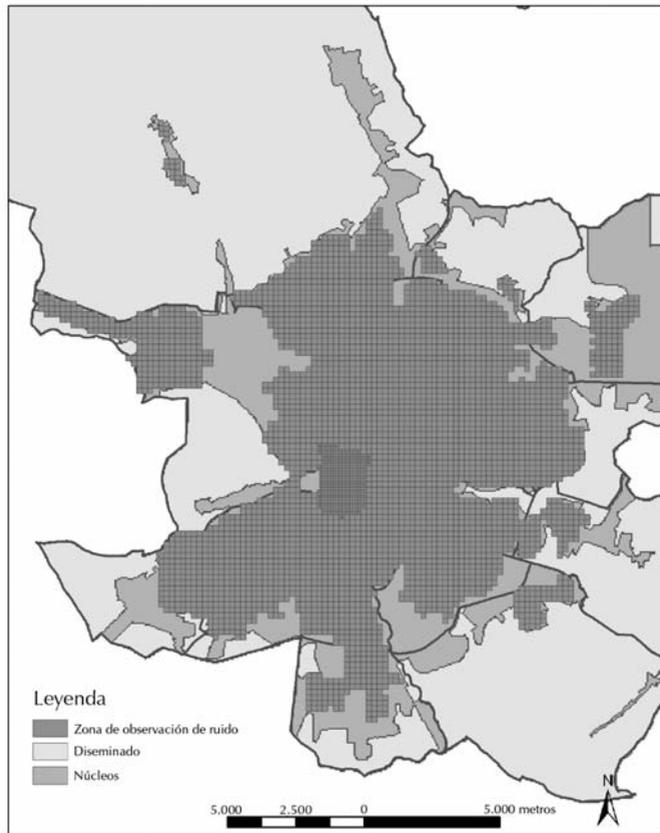
De los indicadores sonoros posibles, sin duda el más significativo para nuestros fines estriba en el *Nivel sonoro continuo equivalente* (L_{Aeq}) que se calcula para periodos bien definidos. Partiendo de n medidas discretas de intensidad sonora, tomadas a intervalos temporales regulares, el indicador se obtendría así (García, 1988, p. 64; VVAA, 1991, p. 50; López Muñoz, 1992, p. 53):

$$L_{Aeq} = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right)$$

Siendo n = el número de medidas derivadas del muestreo temporal sistemático, L_i = medida (en dB con ponderación A) en el instante i . Se trata, por tanto, de una suerte de promedio a partir de las n medidas o sucesos. Teniendo en cuenta que el nivel acústico cambia continuamente en el tiempo, con dicha fórmula se trata de imputar un nivel representativo para el conjunto del periodo. La energía mecánica variable, medida a lo largo de un lapso determinado, se traduce como un valor equivalente, pero constante, para dicho periodo. A efectos de análisis y aplicación práctica se procede obteniendo el indicador anteriormente descrito para periodos significativos como los marcados por el ciclo diario de la vida humana (horas de vigilia y periodos de descanso) cuya caracterización sonora resulta deseable. A tal fin se definen el *nivel sonoro continuo equivalente día* (L_d) y *noche* (L_n). Los datos básicos recogidos en la fuente usada son L_{Aeq} para las 24 horas, L_{Aeq} para el periodo diurno (L_d) y L_{Aeq} para la noche (L_n). En esta fuente, el periodo diurno comprende de 7 a 23 horas (salvo festivos, que es de 8 a 23) y el nocturno de 23 a 7 h. (excepto festivos, en que se extiende hasta las 8).

La importancia de este indicador estriba en que la legislación nacional e internacional se apoya fundamentalmente en él para establecer determinaciones de muy diverso tenor (protección laboral, preservación del descanso, salvaguarda para actividades que requieren silencio, etc.).

FIGURA 1. ZONA CUBIERTA POR EL PLANO ACÚSTICO DE MADRID 2001-2002 (CUADRÍCULAS DE 100 Y 200 M) SOBRE EL FONDO DE LOS NÚCLEOS DE POBLACIÓN DELIMITADOS POR EL INSTITUTO DE ESTADÍSTICA DE LA COMUNIDAD DE MADRID. EL LÍMITE EXTERIOR ES EL PERÍMETRO MUNICIPAL



El segundo atributo a integrar en este estudio concierne al estatus socioeconómico de la población residente. A efectos de representarlo adecuadamente en el espacio urbano es posible llevar a cabo un análisis previo, basado en indicadores varios, cuestión que cuenta con una amplia tradición

de estudio en Geografía. En aras de la eficiencia, y ante la constatada y notable relación de la renta per cápita con los indicadores al uso de condición socio-económica (vid. Moreno, 2003, cap. 3), ha parecido suficiente adoptar el indicador de renta personal para los fines aquí previstos. A tal fin se ha recurrido, como información más idónea por su referencia espacial y su rigor, al Indicador de Renta Familiar Disponible Territorializada que desde hace algunos años elabora el Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid². La desagregación espacial máxima a la que dicho indicador se ha publicado corresponde a la sección censal, disponiéndose por última vez de datos a ese nivel para el año 2000, por lo que ellos serán los utilizados aquí³.

Una advertencia debemos hacer en un principio, especialmente relevante a la hora de examinar tal distribución espacial. Habida cuenta de que en las secciones periféricas se incluyen amplias zonas no ocupadas por usos urbanos, se ha procedido a eliminarlas, mediante una operación de álgebra de mapas con un SIG. A partir de la capa vectorial de los núcleos urbanos (según su definición censal) y de la capa vectorial de las secciones, se ha realizado un “recorte” de éstas por aquéllos, de suerte que se retuviese solamente la parte urbanizada de las secciones. Consecuentemente, la fracción de territorio connotado por renta y cartografiado con tal atributo se ajusta mucho más al ámbito correcto.

Método y técnicas

Evaluar con cierto rigor la interacción entre nivel acústico exterior y status de renta de la población conlleva realizar algunas asunciones sobre ambos aspectos de la realidad intraurbana, puesto que tanto ruido como población varían en la doble dimensión espacio-tiempo.

La movilidad habitual de la población hace que su adscripción espacial cambie a lo largo del día, por lo que resulta harto difícil aproximarse a la afección potencial sonora que los miembros de una categoría de renta soportan a lo largo del día tipo. En síntesis el reto estriba en dilucidar estadísticamente el nexo entre:



2. Para un conocimiento más amplio del mismo remitimos a la obra dirigida por Moreno (2003).

3. Procede advertir que la partición espacial de las secciones censales para los datos de renta per cápita corresponde a la implantada para el Padrón Municipal de Habitantes de 1996.

Glosaremos los aspectos de esa relación considerando los tres frentes que afloran:

a) Determinar en qué medida una *categoría de renta* queda más o menos afectada por el ruido o, dicho de otro modo, ¿las zonas de altas rentas sufren menos niveles de ruido o no? ¿y las de bajas rentas? Ahora bien, ¿cómo medir sin sesgo la eventual discriminación o “injusticia” del ruido teniendo en cuenta la distribución espacial del mismo y la distribución espacial de los niveles de renta en la ciudad? El desarrollo de la cuestión en el presente trabajo se concreta en los términos que enunciamos a continuación como preguntas:

- La proporción del territorio ocupado por capas ricas y afectado por niveles de ruido excesivo ¿es inferior, similar o superior a la proporción de espacio que ocupan en el municipio?
- ¿Y respecto a las zonas de rentas bajas?
- ¿Y respecto a las de rentas medias?

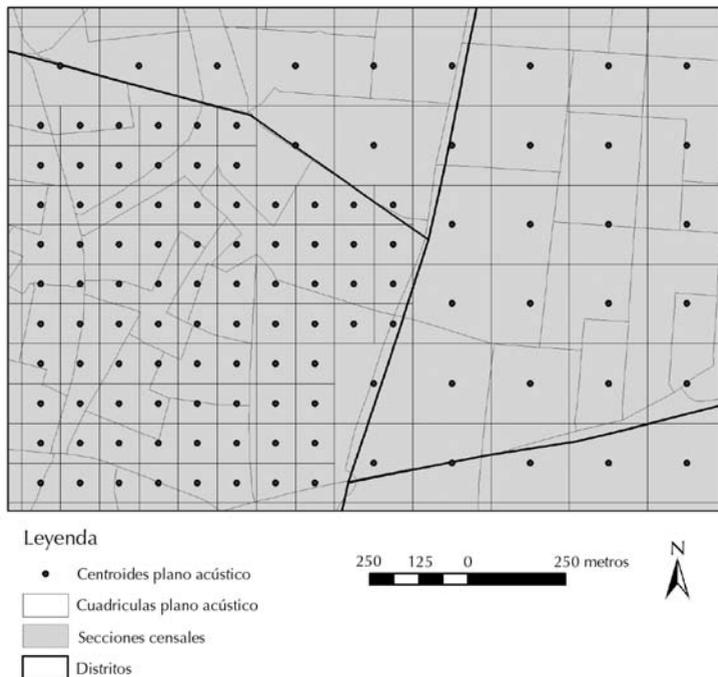
Si la proporción de espacio urbano de bajas rentas y con ruido alto fuese superior a la proporción de espacio urbano ocupado por dichos grupos de renta, entonces se concluiría que hay una penalización o injusticia. En caso contrario, la hipótesis de discriminación negativa (injusticia ambiental) no se podría sostener.

b) Determinar los *lugares* donde concurren unos determinados niveles de ruido y de renta. Ello plantea el reto, central en el análisis geográfico, de comparar y medir la relación entre dos distribuciones espaciales, cuya ejecución no siempre es fácil de llevar a cabo. Una primera aproximación podría sustentarse en el examen visual de la cartografía de los fenómenos considerados. Sin embargo, esa vía, por imprecisa y por insuficiente ante la magnitud de los datos involucrados, no resulta efectiva.

Más allá de las apreciaciones oculares que la cartografía de los fenómenos nos pudiese proporcionar, otra opción apropiada estriba en un análisis cuantitativo para detectar posibles asociaciones y concomitancias entre las distribuciones espaciales de ambos hechos. Ello, sin embargo, afronta una dificultad seria: la incompatibilidad de las unidades espaciales que una y otra fuente (el mapa acústico y la renta per cápita) poseen. En el primer caso, *sensu strictu*, se trata de puntos muestrales (imputados a las cuadrículas y a sus centroides) y en el segundo se trata de secciones censales, i.e. polígonos.

La tecnología de los SIG ofrece posibilidades varias (dentro de lo que se conoce como geoprocésamiento) para solventar dicha cuestión y para viabilizar así el análisis aquí avistado; dilucidar cuál es la más acertada constituye en sí mismo un trabajo metodológico pendiente de realizar. En aras de la eficiencia y la efectividad, en esta investigación se ha elegido una opción que pone el acento en los centroides de las cuadrículas del mapa acústico. A partir de las dos capas, una de puntos (centroides) y otra de polígonos (secciones), se optó por una operación conocida como *Point in polygon analysis* (unión espacial) que permite identificar en qué sección censal cae cada centroide e imputar a dicho centroide (que ya posee los indicadores de ruido) el indicador de renta per cápita de la sección coincidente (vid. figura 2). De esta forma se hacían ya viables los tratamientos bivariados en toda su amplitud⁴, al poderse disponer de N pares de datos cotejables mutuamente.

FIGURA 2. EL PROBLEMA DE LAS UNIDADES ESPACIALES INCOMPATIBLES: SECCIONES CENSALES DE LOS DATOS DE RENTA *VERSUS* PUNTOS-CENTROIDES DE LAS CUADRÍCULAS DEL MAPA ACÚSTICO



4. Otra vía podría ser el cómputo de la parte de cada sección que queda dentro de cada cuadrícula del mapa del ruido, a través de superposiciones bien bajo estructuras vectoriales, bien bajo estructuras raster. Sin embargo, la inexactitud espacial inherente a las unidades espaciales de ambas capas habría conducido a resultados poco fiables.

A partir de lo que antecede debe matizarse que el método adoptado, más que medir la afección acústica que las clases socio-espaciales sufren o disfrutan, permite aprehender, ante todo, el nivel acústico del entorno donde viven las distintas categorías de renta en Madrid. El tratamiento, por tanto, se centra más en el espacio que en las personas, si bien puede legítimamente aducirse que es un espacio cualificado y connotado con un nivel de renta concreto (el que poseen sus moradores).

Hacer un análisis de esta guisa tiene sentido si se entiende como deseable caracterizar el ambiente acústico que sufren o disfrutan las zonas ricas o pobres, por ejemplo, independientemente de que sus moradores estén allí o no y de cuántos haya. Aunque pueda parecerlo a primera vista, ello no es en modo alguno irrelevante, ya que ese componente ambiental (más o menos ameno o molesto), sea cual sea el momento, puede repercutir de otras maneras:

- Potencialidad (idoneidad o aptitud) de un lugar para desarrollar algunas actividades, por ejemplo, una zona con alto ruido ambiental debería ser incompatible con ciertos usos del suelo o actividades sociales que demandan quietud (educación, hospitales, paseo, etc.).
- Precios de los inmuebles: la calidad sonora (entendida como sosiego o tranquilidad o inmisión de sonidos tolerables o agradables) puede ser internalizada, vía precios, en el valor venal de las viviendas.
- Acondicionamiento especial (insonorización) de edificios y viviendas.

c) En qué *periodos*. La variabilidad de los niveles acústicos en el tiempo (en realidad, sometidos a cambios instantáneos) y en el espacio plantea una dificultad importante para el análisis, sobre todo al confrontarse con la movilidad espacio-temporal de los principales agentes afectables (la población).

Si se desea aproximarse tentativamente al impacto potencial del ruido sobre cada categoría de renta sería poco riguroso centrarse en periodos, como el diurno, en el que georreferenciar a la población resulta harto difícil y más aún considerando su atributo de renta (¿dónde están las personas de altas, medias o bajas rentas en ese periodo?). Por tal motivo, se prioriza aquí el periodo nocturno, durante el cual ubicar a los residentes en sus domicilios resulta estadísticamente bastante acertado. Adicionalmente, tal elección se apoya en que la noche posee mayor trascendencia y significado de cara al malestar / bienestar para la población, por coincidir con el periodo de descanso, que exige niveles sonoros más bajos.

El conjunto de decisiones expuesto, así justificadas y adoptadas aquí, son las que permitirán sustentar el diagnóstico sobre unas bases más ajustadas y realistas. Técnicamente, y de cara a evaluar de manera conveniente la relación espacial entre los patrones espaciales de ruido y de renta, se recurrirá a varios instrumentos estadísticos.

Por un lado, y usando los puntos-centroides de la muestra del mapa acústico caracterizados con el L_{Aeq} y la renta per cápita, la representación bivariada (diagrama de dispersión) de los mismos, así como la correlación y los ajustes de funciones bivariadas (mínimos cuadrados y Lowess⁵). Por otro, y a partir de una tabulación cruzada de ambas variables con intervalos apropiados, se operará sobre el recuento de los puntos-centroides para obtener los índices de J^2 , C de contingencia y V de Cramer, y se examinará la distribución actual, comparándola con otra representativa de la situación ideal de equidad ambiental. El sistema estadístico usado fue NCSS. Sobre tales instrumentos se sustenta nuestra propuesta de medición de la justicia acústica ambiental.

Antes de exponer los resultados de los tratamientos, se dedicarán unos apartados previos a familiarizar al lector con la geografía de las rentas personales y del ruido nocturno en Madrid, presentando de manera somera los mapas detallados de dichos atributos.

LA DISTRIBUCIÓN DE LA RENTA PER CÁPITA EN MADRID

En el presente apartado se realizará una breve presentación de esta importante dimensión de la población (vid. Moreno, 2003), por un lado de carácter estadístico y por otro de carácter espacial, al objeto de contextualizar convenientemente al lector.

Los valores más representativos de la distribución de las rentas personales madrileñas se muestran en el cuadro 1. El valor medio municipal se situaba ligeramente por debajo de 13.000 €, ocupando la capital el vigésimo tercer puesto en el orden de municipios de la región (el máximo correspondía a Pozuelo de Alarcón con 20.711 €). Ya dentro del municipio, y adoptando las secciones como unidad estadística, se constata que el valor mediano para ellas supera ligeramente la cifra 11.000 €, menor por tanto

5. La denominada *Locally weighted robust regresión* (Lowess) es una técnica de suavizado computacionalmente intensiva, que persigue desvelar la tendencia de la nube de puntos de forma menos rígida que las populares técnicas de regresión (vid. Cleveland y Devlin, 1988).

que la media recién mencionada. Ello ya anticipa que la distribución de frecuencias de las secciones resulta asimétrica positiva (índice 1,73), denotando que en Madrid también persiste el rasgo de concentración importante de valores (secciones) en los niveles bajos y medio-bajos de renta y una “cola” extendida hacia los niveles altos de rentas. La figura 3 desvela nítidamente estos hechos, tanto en la propia forma del histograma y de la línea de densidad, como en el gráfico en caja inferior.

Realmente, la distribución exhibe unas diferencias muy importantes, dada la existencia de unas pocas secciones con rentas muy elevadas. Los puntos a la derecha del gráfico en caja identifican esas secciones de rentas excepcionalmente altas y su amplio recorrido en el eje de abcisas.

CUADRO 1. ESTADÍSTICOS DE RENTA PER CÁPITA EN EL MUNICIPIO DE MADRID POR SECCIONES CENSALES, AÑO 2000

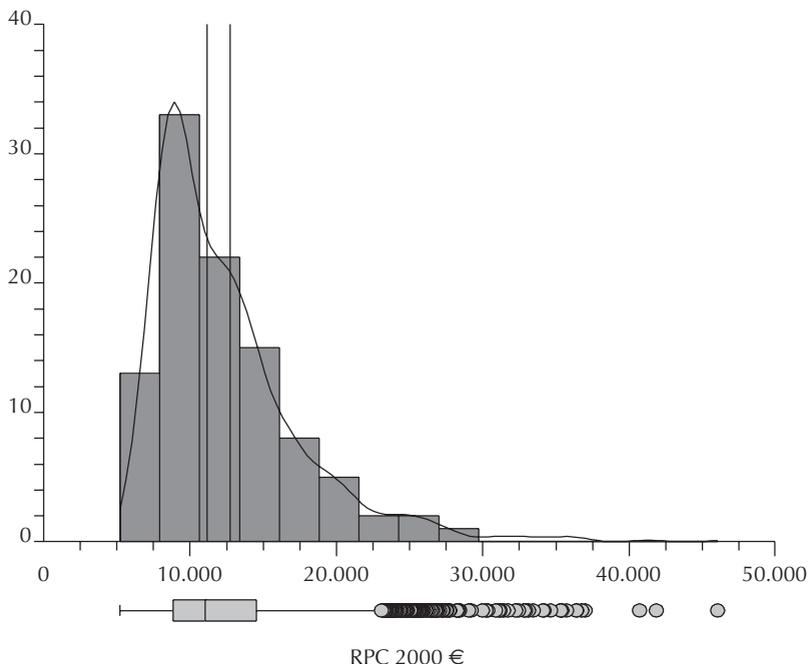
| Estadístico | Renta per cápita € por secciones censales |
|-----------------------|---|
| Valor mínimo | 5.219,64 |
| Valor máximo | 46.079,43 |
| P ₁₀ | 7.650,00 |
| Q ₁ | 8.842,11 |
| Mediana | 11.168,63 |
| Q ₃ | 14.538,59 |
| P ₉₀ | 19.144,23 |
| RPC municipal (media) | 12.767,93 |

Fuente: elaboración propia.

Glosando algo más la distribución, resulta pertinente para nuestros objetivos aludir al grupo de los más desfavorecidos. El criterio de pobreza que aplica Eurostat (60 por ciento de la mediana) valdría 6.701,18 €, usando las secciones censales como unidad estadística. Un total de 72 secciones se incluirían en este conjunto más depauperado. Aplicando, complementariamente, al contexto de la cápita el criterio adoptado por Atkinson (1995) que, asimismo, se ha manejado en la Unión Europea, esto es, el 50 por ciento de la renta media municipal, se obtendría un umbral de pobreza de 6383,97 €. Ahora 56 secciones de la cápita estarían por debajo de tal umbral.

A efectos de agrupar las secciones en intervalos de renta que faciliten la interpretación, y teniendo en cuenta los criterios anteriormente manejados de pobreza y los estadísticos del cuadro 1, se ha adoptado la clasificación del cuadro 2, tanto para la representación cartográfica, como para los posteriores tratamientos que se realizarán.

FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN DE LAS SECCIONES CENSALES DE MADRID SEGÚN RENTA PER CÁPITA EN 2000. SE INCLUYE EL GRÁFICO EN CAJA (ABAJO) Y LA CURVA DE DENSIDAD (DENSITY TRACE). LA LÍNEA VERTICAL DERECHA REPRESENTA LA RENTA PER CÁPITA DEL MUNICIPIO Y LA IZQUIERDA LA MEDIANA DE LAS SECCIONES



Fuente: elaboración propia.

CUADRO 2. CATEGORÍAS DE RENTA ADOPTADAS EN EL ANÁLISIS

| Categoría | Intervalos de renta per cápita 2000 |
|------------|-------------------------------------|
| Baja | <6.500 |
| Media-baja | 6.500-9.000 |
| Media | 9.000-13.000 |
| Media-alta | 13.000-19.000 |
| Alta | 19.000 |

Fuente: elaboración propia.

En lo concerniente a la transcripción espacial de las rentas en Madrid, la inspección de la figura 4 no denota un patrón simple, fruto de la compleja evolución de la metrópoli. No obstante, resumiendo la caracterización del mismo pueden señalarse los siguientes rasgos:

- Las rentas altas tienden a ubicarse más hacia el norte, en tanto que en la parte meridional predominan rentas más bajas. Aflora claramente así la contraposición N-S, bien reconocida en la geografía social madrileña.
- Con algo más de detalle se constata que las rentas superiores conforman varias manchas periféricas, sobre todo en el NW, N y NE, resultado de la suburbanización de capas acomodadas. Por otro lado, dominan también en dos franjas, una N-S en torno al eje central de la Castellana y otra al NE en torno al tramo norte de los ejes de la M-30 y Arturo Soria.
- Las rentas de menor cuantía, además de en el S, constituyen zonas de desigual tamaño en la parte norte, tanto interior (Tetúan), como periférica (Fuencarral, Hortaleza), así como en el E (San Blas, Ciudad lineal). Son la herencia poligénica de, por un lado, el crecimiento tentacular de la segunda mitad del XIX y primera del XX, y por otro, de los poblados de viviendas sociales y las promociones privadas para capas populares erigidas desde los años cincuenta de la pasada centuria.

En resumen, se constata un esquema un tanto abigarrado, en el que afloran componentes concéntricos, radiales y nucleares, por lo que no se adapta exactamente a ninguno de los esquemas popularizados en los manuales de geografía sobre estructura interna de la ciudad.

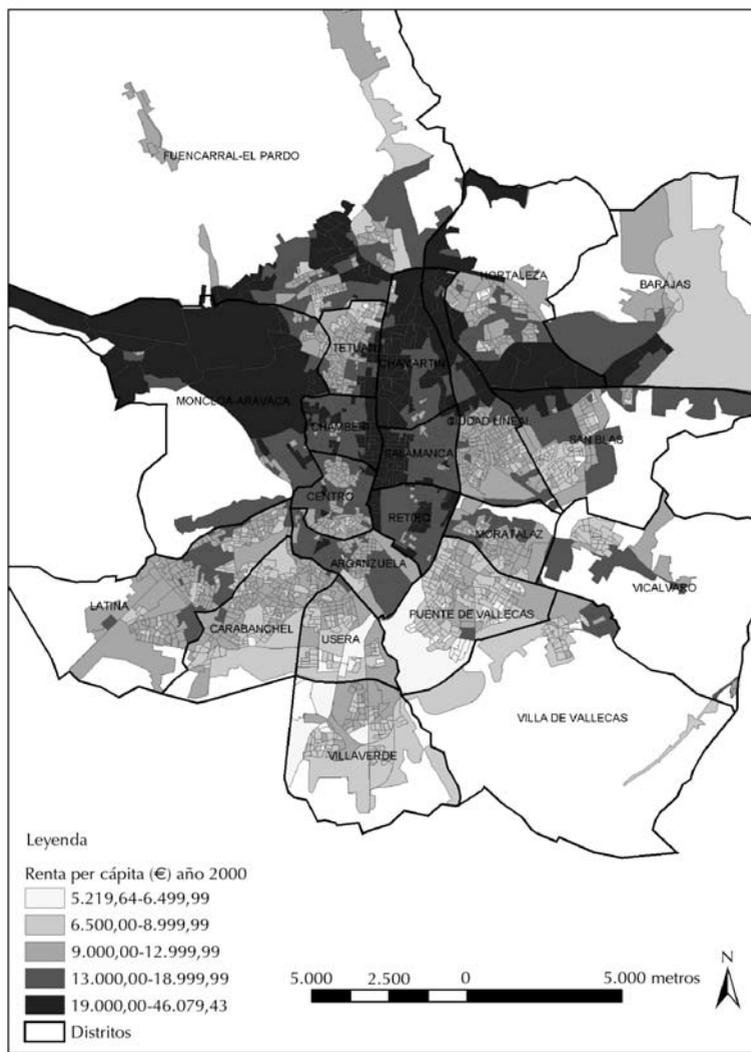
LOS NIVELES DE INTENSIDAD SONORA NOCTURNA EN MADRID

Según la fuente usada, la intensidad acústica ambiental nocturna en Madrid era ciertamente elevada: la mediana se situaba en 59 dBA. La distribución estadística de los datos (figura 5) resulta bastante simétrica, apreciándose que estrictamente por encima del nivel de 55 dBA –que según la ordenanza municipal vigente no se debería superar por la noche–, quedaba la mayoría (un 74,7%) de los puntos muestrales.

El patrón espacial del indicador de intensidad sonora, $L_{Aeq\ noche}$ (figura 6), desvela estos rasgos principales:

- Existe una presencia de valores altos en todos los distritos de la ciudad, si bien las zonas ruidosas más extensas abundan preferentemente en algunos distritos interiores. En las áreas periféricas la intensidad sonora suele ser, en general, ligeramente inferior, aunque afloran también manchas de ruido destacado.

FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RENTA PER CÁPITA 2000 EN MADRID POR SECCIONES CENSALES

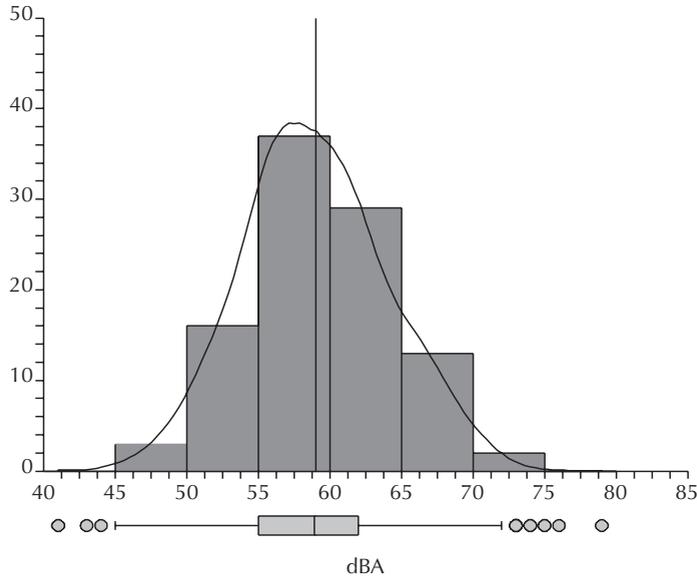


Fuente: elaboración propia con datos del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid.

- Los espacios ruidosos muestran una geometría plural: a veces son manchas relativamente compactas, a veces poseen una disposición lineal, asociable a vías de tráfico importante, y a veces emergen como puntos aislados, vinculables a algún foco singular.

- Con frecuencia emergen variaciones considerables a cortas distancias: hay cuadrículas con cifras bajas o altas, adyacentes a otras con valores contrapuestos. Tal fenómeno es algo peculiar del sonido y consustancial con las fuertes perturbaciones que sufre en su difusión por el medio urbano.

FIGURA 5. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE LOS PUNTOS-CENTROIDES SEGÚN EL LAEQ NOCHE. LA LÍNEA VERTICAL SEÑALA LA MEDIANA



Fuente: elaboración propia.

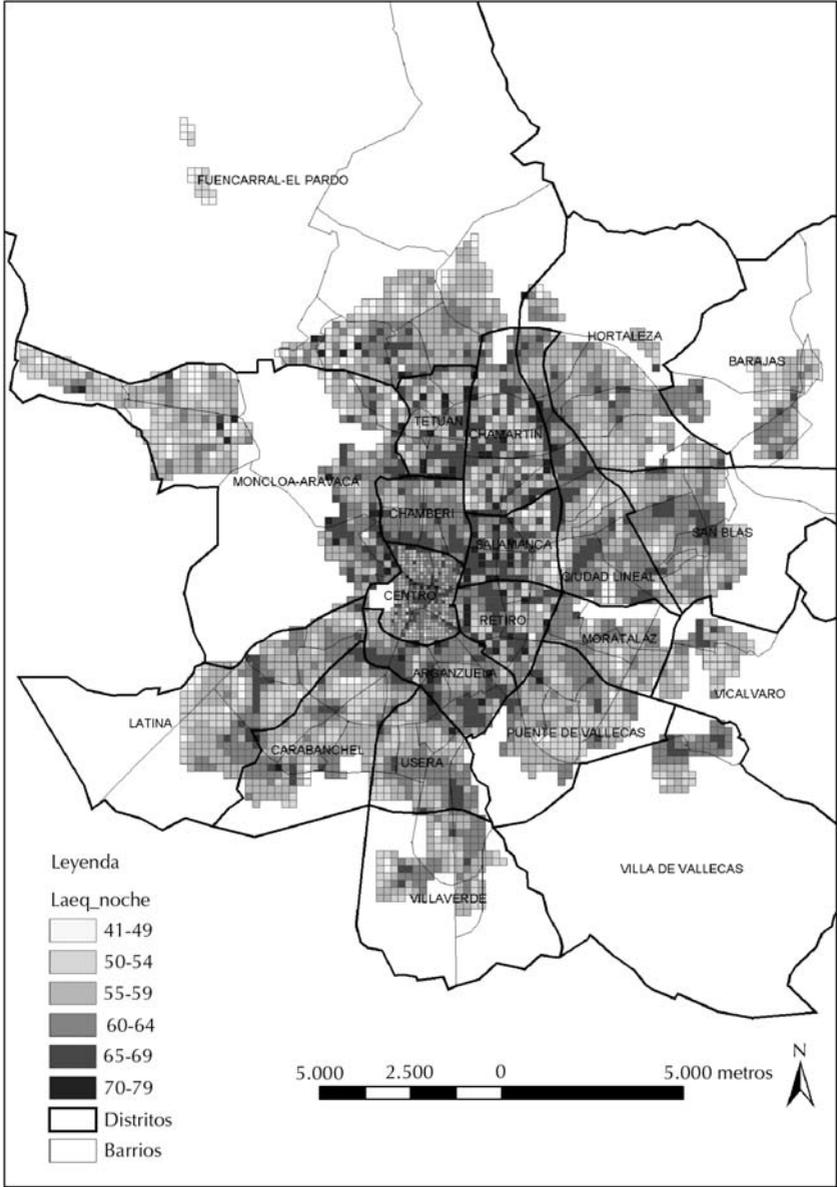
En síntesis, la atmósfera sonora urbana en la noche madrileña no revelaba, en general, una situación ni halagüeña, ni apacible en la mayoría de sus zonas y, por tanto, para sus moradores.

LA RELACIÓN ESPACIAL ENTRE EL ESPACIO DE LOS GRUPOS DE RENTA Y LA INTENSIDAD SONORA EXTERIOR EN MADRID: EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LA HIPÓTESIS DE EQUIDAD/INEQUIDAD AMBIENTAL

Una vez realizadas las operaciones de geoprocésamiento de datos para viabilizar la comparación o cotejo espacial entre las dos variables, se aborda ahora la comprobación de la existencia o no de alguna clase de relación espacial entre ambas. A tal fin, y como se expuso en el apartado previo de

métodos y técnicas, las de tipo estadístico resultan particularmente potentes y convenientes para tratar un volumen de datos como el que aquí se maneja (4397 centroides de cuadrículas).

FIGURA 6. INTENSIDAD SONORA AMBIENTAL NOCTURNA EN MADRID (LAEQ NOCHE) EN 2001



Fuente: elaboración propia con datos del Ayuntamiento de Madrid.

El examen de la distribución bivariada de puntos-centroides (figura 7) nos muestra un aspecto abigarrado y de legibilidad limitada. No obstante, es posible señalar en el mismo estos rasgos:

- La nube es mucho más densa en la parte izquierda (hasta la vertical de los 20.000 €) que en la derecha, hecho que refleja la asimetría positiva de la distribución de la renta y que transcribe meridianamente el gráfico en caja inferior.
- No se manifiesta una tendencia clara ascendente o descendente que apuntaría a relaciones estadísticas lineales. De ello se desprende que no existe una relación simple lineal entre la distribución espacial de ambos fenómenos.
- En cualquier tramo del eje horizontal (intervalos de rentas) aparece una notable variabilidad sonora en la vertical.

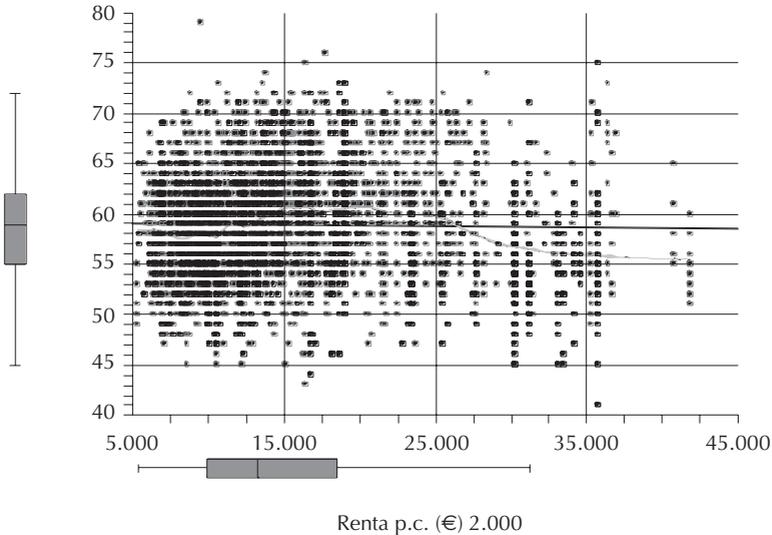
El recurso a dos técnicas estadísticas clásicas corrobora el anterior aserto. La correlación lineal de Pearson entre el nivel sonoro ambiental nocturno y la renta personal es prácticamente nula (-0,017) y el ajuste de la recta de regresión arroja un trazado prácticamente horizontal (línea discontinua en la figura 7).

¿Significa lo expuesto que no hay relación alguna entre ambos fenómenos? Las posibilidades de penetrar en la masa de datos, que otras técnicas estadísticas brindan, hace viable investigar relaciones menos simples. Así por ejemplo, se ensayó la aplicación de la técnica de ajuste no paramétrica "Lowess", emanada dentro de la corriente del análisis exploratorio de datos, la cual permite identificar tendencias, posibilitando la intervención del experto. Tras los ensayos oportunos se retuvo la que muestra la figura 7 como más representativa. Ahora, empiezan a vislumbrarse algunos matices en la variación del $L_{Aeq \text{ noche}}$ a medida que sube la renta. Se podrían distinguir ahora varios tramos, dentro de la irregularidad o sinuosidad habitual de dicha línea: en el tramo más bajo (izquierda) de los valores de renta, el $L_{Aeq \text{ noche}}$ tiene una trayectoria ascendente, en la parte central (valores de renta entre 15 y 25.000 aproximadamente) la línea se convierte en subhorizontal y para el tramo de rentas más altas, la línea desciende primero y luego tiende a estabilizarse.

Tal trayectoria está próxima a la de una función parabólica y, por tal motivo se procedió a ajustarla con el sistema NCSS. La figura 8 muestra el resultado. La función se escribiría así:

$$L_{Aeq \text{ noche}} = 52,55 + 8,105395E-04 * RPC2000 - 2,1E-08 * RPC2000^2$$

FIGURA 7. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN BIVARIADO DE LOS CENTROIDES (N = 4397) DE LAS CUADRÍCULAS (MAPA DE RUIDO) SEGÚN EL NIVEL SONORO NOCTURNO Y LA RENTA PER CÁPITA DE LA SECCIÓN EN LA QUE SE SITUAN. SE MUESTRA ADEMÁS LA RECTA DE REGRESIÓN (DISCONTINUA), LA CURVA LOWESS (AJUSTADA CON EL 15% DE LOS CASOS) Y LOS DIAGRAMAS DE CAJA



Fuente: elaboración propia.

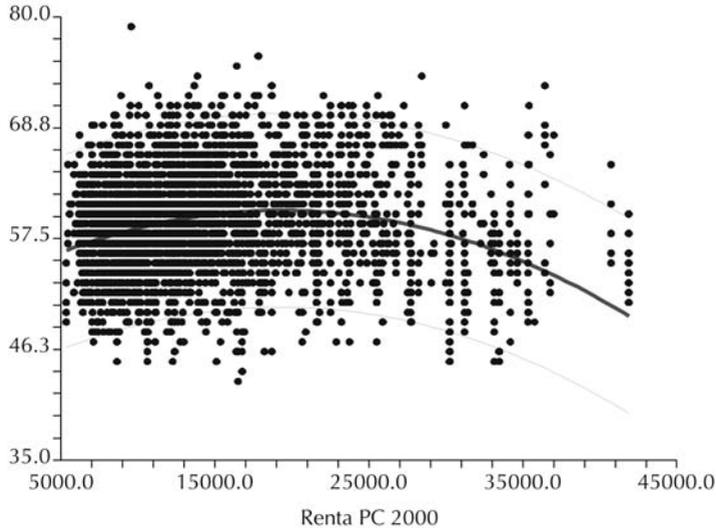
En todo caso, la bondad de ajuste es exigua, la pseudo R^2 sólo alcanza 0,0469, aunque la tendencia se muestra ahora con cierta claridad.

De los tratamientos previos parece insinuarse la existencia de una cierta relación entre ambos fenómenos: menor ruido en los entornos de mayor riqueza y pobreza, superior ruido en los ocupados por las amplias capas medias. Cabe pensar que la diferente ubicación de las categorías de renta respecto a las vías más contaminadas acústicamente late bajo tal hallazgo. En todo caso la relación esbozada resulta poco modelable con las funciones estadísticas comunes, ya que la dispersión de los datos en torno a las curvas obtenidas es muy alta.

Para lograr unos resultados más clarificadores se ha recurrido a otro tratamiento habitual, consistente en ejecutar una tabulación cruzada entre las dos variables y obtener algunos estadísticos apropiados. Es posible, para cada una de dichas variables, adoptar unos intervalos significativos. Para el caso de la renta per cápita ya se ha discutido la cuestión antes y para los

niveles acústicos nocturnos el umbral de 55 dBA, y adicionalmente otro superior fijado en 65 (el límite para el día), pueden ser manifiestamente evocadores e interpretables.

FIGURA 8. AJUSTE DE UNA FUNCIÓN PARABÓLICA A LA NUBE DE PUNTOS-CENTROIDES DE $LA_{EQ\ NOCHE}$ Y DE LA RENTA PER CÁPITA



Fuente: elaboración propia.

Ejecutada la tabulación con NCSS en el cuadro 3 se muestran unos primeros resultados, que permiten la comparación, en términos absolutos, de los niveles acústicos nocturnos para los distintos espacios-grupos de renta. Las cifras de puntos-centroides de cuadrículas del ruido varían mucho entre columnas y también por filas lo que dificulta un tanto la aprehensión en una primera inspección.

Conviene señalar de entrada que el coeficiente J^2 asciende para dicha tabla a 185,42; con 8 grados de libertad tal valor permite rechazar la hipótesis nula (independencia entre los dos fenómenos) con un nivel de confianza del 0,00 por ciento. Dicho de otra manera, estadísticamente existe asociación entre ambas variables, aunque poco discernible a primera vista. Los coeficientes de contingencia de Pearson (0,20) y V de Cramer (0,15), que oscilan en el intervalo 0-1, establecen fehacientemente que la relación es baja.

CUADRO 3. DISTRIBUCIÓN DE LOS CENTROIDES DE LAS CUADRÍCULAS (MAPA ACÚSTICO) SEGÚN EL NIVEL SONORO Y LA RENTA PER CÁPITA DE LA SECCIÓN EN LA QUE SE SITÚAN (CIFRAS ABSOLUTAS)

| LA _{eq, noche} | Renta per cápita (€) | | | | | Total |
|-------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------|-------|
| | Baja <6.500 | Media baja 6.500 - 9.000 | Media 9.000-13.000 | Media alta 13.000-19.000 | Alta ≥19.000 | |
| <55 | 16 | 158 | 245 | 161 | 243 | 823 |
| 55 a 65 | 72 | 487 | 940 | 832 | 587 | 2.918 |
| ≥ 65 | 6 | 50 | 120 | 281 | 199 | 656 |
| Total | 94 | 695 | 1.305 | 1.274 | 1.029 | 4.397 |

Fuente: elaboración propia.

A efectos de desvelar mejor esa relación, y por ende valorar el ambiente acústico de los ámbitos ocupados por los distintos grupos de renta, resulta más efectivo usar la tabla de porcentajes verticales (cuadro 4). Ella nos permitirá apreciar la distribución general para el conjunto de la zona estudiada (columna Total) y las de los diferentes grupos de renta. Tales columnas facilitan examinar en qué medida cada grupo sigue o se distancia del patrón general municipal.

CUADRO 4. DISTRIBUCIÓN DE LOS CENTROIDES (N = 4397) DE LAS CUADRÍCULAS (MAPA ACÚSTICO) SEGÚN EL NIVEL SONORO Y LA RENTA PER CÁPITA DE LA SECCIÓN EN LA QUE SE SITÚAN (PORCENTAJES VERTICALES), MADRID

| LA _{eq, noche} | Renta per cápita (€) | | | | | Total |
|-------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------|-------|
| | Baja <6.500 | Media baja 6.500 - 9.000 | Media 9.000-13.000 | Media alta 13.000-19.000 | Alta ≥19.000 | |
| <55 | 17,0 | 22,7 | 18,8 | 12,6 | 23,6 | 18,7 |
| 55 a 65 | 76,6 | 70,1 | 72,0 | 65,3 | 57,0 | 66,4 |
| ≥ 65 | 6,4 | 7,2 | 9,2 | 22,1 | 19,3 | 14,9 |
| Total | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Fuente: elaboración propia.

Si nos fijamos en la fila primera, que alude al nivel sonoro inferior al máximo admisible (55 dBA), se constata que una parte del grupo de rentas más altas es el que relativamente más coincide y goza de un entorno acústico favorable (un 23,6 por ciento). El grupo de rentas medio-bajas es el que le sigue en proporción, siendo ambos grupos los que superan nítidamente el porcentaje para el conjunto de la ciudad (18,7). De los otros grupos de renta y sus ámbitos urbanos asociados merece resaltarse que los de rentas

medio-altas (13-19000) son los que proporcionalmente menos gozan de ambientes plácidos en la noche.

Si atendemos ahora a los ámbitos más gravemente contaminados por el ruido nocturno (≥ 65 dBA) se evidencia que, en términos relativos, otra fracción tanto del grupo de rentas altas, como sobre todo de la de rentas medio-altas, son las que soportan tal situación, superando ampliamente al porcentaje que en la ciudad se observa (14,9).

Ello no quiere decir que entre los grupos de rentas bajas y medias, y en términos relativos siempre, el ambiente acústico nocturno sea favorable. La fila intermedia (55-65 dBA), que expresa también exceso de ruido, exhibe para tales grupos de renta porcentajes superiores al valor de referencia de la cápital (66,4).

Comparando ahora las columnas entre sí, se percibe que los grupos de renta baja y media muestran un reparto proporcional muy parecido entre sí, con algo menos de una quinta parte de sus zonas residenciales mostrando un ruido nocturno admisible.

Si examinamos ahora las dos filas inferiores de la tabla (55-65 y ≥ 65) se constata una tendencia contraria: mientras los porcentajes de la primera mencionada tienden a disminuir hacia la derecha (rentas altas), los de la última tienden al aumento. Ello insinúa una cierta asociación entre creciente renta y ruido grave, en este sentido: a medida que crece la renta per cápita más exposición tiende a haber a los niveles más altos de ruido urbano nocturno.

Tras los anteriores hallazgos se ha intentado zahondar algo más en los datos, en aras de establecer con nitidez si algunos grupos de renta están más penalizados de lo que debieran o si, por el contrario, ciertos grupos disfrutaban proporcionalmente de un mejor ambiente sonoro. El análisis requiere ser planteado con cierta sutileza, para no caer en errores lógicos y conclusiones equivocadas, ya que la interpretación final habrá de hacerse en términos de justicia ambiental.

Al efecto cabe enunciar, como premisa de partida, que, en una situación ideal, el ruido y la quietud afectarían de manera similar, es decir, no discriminatoria a los distintos grupos de renta. Si ello fuese así, la proporción de cada grupo de renta en cada nivel de ruido debería coincidir con la que establece el principio de independencia probabilística: la probabilidad del conjunto intersección entre dos sucesos debe ser igual al producto de las probabilidades individuales de cada suceso. Esto es, si tenemos dos sucesos o conjuntos, A y B, existiría independencia si:

$$P(A \cap B) = P(A) * P(B)$$

En caso de que ello no se cumpla, entonces estaríamos ante una situación de dependencia estadística, lo que equivaldría a decir inequidad. Pues bien, adoptando tal lógica, que es la que subyace al estadístico de la J^2 ya comentado antes, podemos cuantificar y evidenciar, para cada nivel de ruido y categoría de renta, en qué grado y en qué sentido la realidad madrileña se desvía de la situación teórica de no discriminación, en términos de equidad proporcional.

El cuadro 5 y la figura 9 permiten conocer y valorar ya pormenorizadamente el grado de equidad-inequidad existente en Madrid. En este caso, se han resumido más aún los niveles acústicos estableciendo sólo dos intervalos, separados por el umbral nocturno admisible para zonas residenciales (55 dBA). Para interpretar el cuadro y la figura ha de tenerse en cuenta que valores cercanos a cero indicarían una distribución y situación real muy próxima a la de equidad ideal. Valores positivos en una casilla denotan que, para ese nivel de renta-ruido, hay más presencia en la realidad de la que debiera, y los valores negativos significan lo contrario (menos presencia en la realidad de la que debiera haber en situación teórica de igualdad). A partir del cuadro 5 y de la figura 9 se desprenden estos hechos:

- El grupo que más se desvía de la norma equitativa es el de rentas medio-altas (13000-19000), el cual aparece un 1,76% más de lo que debiera en ámbitos con ruido nocturno excesivo (≥ 55 dBA) y menos en los de ruido admisible.
- El medio residencial del grupo de rentas altas (≥ 19000) exhibe un patrón opuesto y resulta ser el más favorecido, en términos relativos, en cuanto a ambiente acústicamente tranquilo (en un 1,15%).
- Los ámbitos de rentas medias y bajas no presentan un patrón espacial discriminatorio. Su distribución proporcional respecto a la del ruido sigue una pauta muy similar a la del conjunto de la cápital.
- Finalmente, el ámbito de rentas medio-bajas sale también algo favorecido, pero en términos relativos resulta muy exigua su ventaja (apenas un 0,63%).

En resumen, como se ha visto no hay una perfecta situación de equidad, o dicho de otra manera, el entorno acústico observado en la noche madrileña no trata equilibradamente a los diferentes grupos de renta, por lo que cabe hablar de un cierto grado de inequidad ambiental. Reconociendo que no hay unos desequilibrios exagerados, sino pequeños, la situación parece favorecer ligeramente a los entornos donde viven los más opulentos; en mucho menor grado ello sucede también con los ámbitos habitados por

personas de rentas medio-bajas. Las zonas de rentas bajas y medias no muestran discriminación y, finalmente, como algo más perjudicados relativamente aparecen los espacios ocupados por grupos de rentas medio-altas.

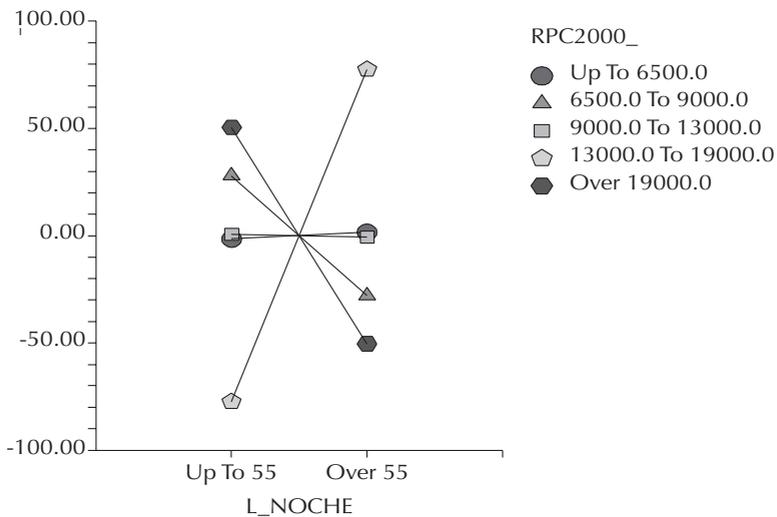
CUADRO 5. DESVIACIÓN DE LA SITUACIÓN DE INDEPENDENCIA (EQUIDAD) EXPRESADA COMO NÚMERO DE CENTROIDES (REDONDEADOS A UNIDADES) Y PORCENTAJES (ENTRE PARÉNTESIS) DE LA CUADRÍCULA DEL PLANO ACÚSTICO 2001-2002

| | | Renta per cápita (miles de euros) | | | | | Total I |
|-------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------|---------------|---------------------|-------------|------------|
| | | Baja <6,5 | Media baja 6,5 - 9 | Media 9-13 | Media alta 13-19 | Alta ≥19 | |
| LA _{eq, noche} | < 55 | 2 (0,04) | 28 (0,63) | 1 (0,02) | -77 (-1,76) | 50 (1,15) | 0 |
| | ≥55 | -2 (-0,04) | -28 (-0,63) | -1 (-0,02) | 77 (1,76) | -50 (-1,15) | 0 |
| | Total | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: elaboración propia.

Nota: En gris claro las casillas denotando ventaja (desigualdad positiva), en gris oscuro la que denota desventaja (desigualdad negativa).

FIGURA 9. DIAGRAMA O “BALANZA DE LA JUSTICIA ACÚSTICO-AMBIENTAL” EN MADRID, REPRESENTANDO DE QUÉ MANERA Y EN QUÉ CUANTÍA SE DESVÍA CADA GRUPO DE RENTA DE LA SITUACIÓN DE EQUIDAD O NO DISCRIMINACIÓN (LA LÍNEA HORIZONTAL DE PUNTOS)



La figura 9 transcribe los resultados del cuadro 5 y conforma lo que podríamos calificar de balanza de la justicia (“justiciómetro”) acústica ambiental, pues describe cómo se reparten proporcionalmente los niveles

de ruido nocturno (aceptables o inaceptables) entre los cinco grupos de renta. La línea de puntos horizontal (valor cero de la ordenada) marca la situación ideal de equidad proporcional en la “carga” del ruido. Los signos positivos identifican la dirección más favorable acústicamente para cualquier grupo: la posición arriba y a la izquierda representa un estado de beneficio o privilegio ambiental extra y la posición abajo y a la derecha denota menos perjuicio ambiental del que correspondería. A ella se ajustan los grupos de rentas altas y medio-bajas, que gozan pues de una ligera discriminación positiva. La dirección perpendicular a la anterior, marcada por los signos negativos y que *grosso modo* sigue el grupo de rentas entre 13 y 19.000 €, representa la más perjudicial para cualquier grupo: déficit en zonas de bajo ruido y excedente en zonas de alto ruido, es decir, discriminación negativa. Con tal representación es posible visualizar diáfamanamente qué categorías de renta y en qué cuantía salen más beneficiados o perjudicados proporcionalmente de la externalidad ambiental derivada del excesivo ruido nocturno en la ciudad de Madrid.

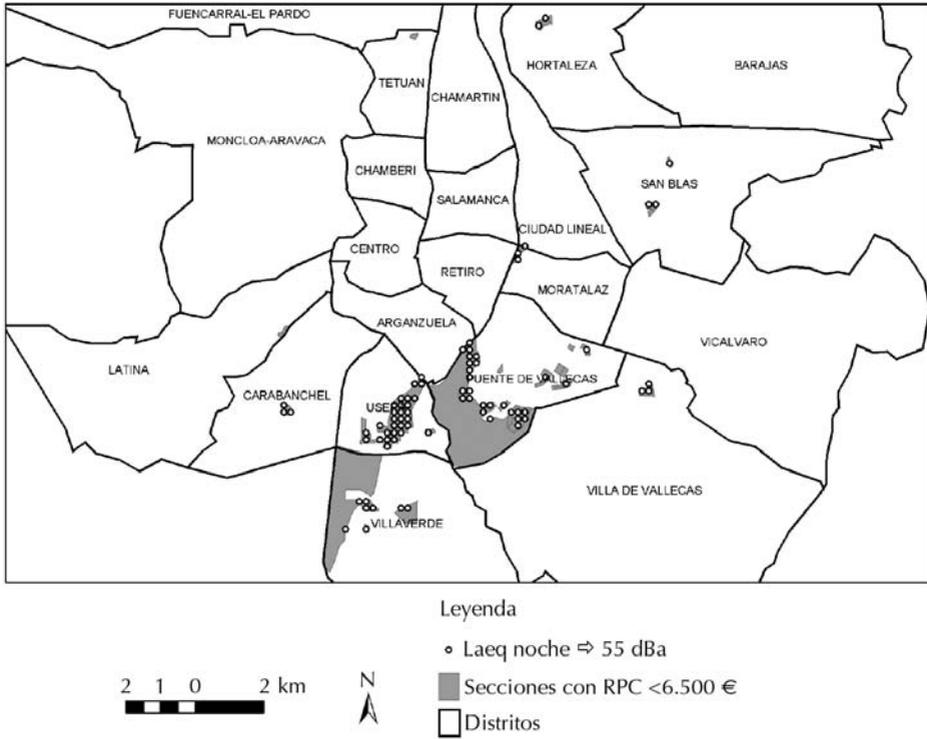
ORIENTANDO DECISIONES EQUITATIVAS SOBRE BASES SOCIALES Y ACÚSTICO AMBIENTALES

Junto al diagnóstico global alcanzado, es bien sabido que la tecnología SIG posibilita apoyar la formulación de decisiones espaciales. Los criterios, tras la oportuna discusión política, podrían por ejemplo avistar la actuación, bien procurando que las categorías-zonas de renta que soportan proporcionalmente más “carga” redujesen ésta hasta ajustarse al patrón del conjunto de la ciudad o bien priorizando las áreas de escasas rentas, considerando su menor capacidad económica para proteger las viviendas del ruido exterior (discriminación positiva). A título de ejemplo la figura 10 muestra las secciones de bajas rentas y, superpuestos, los puntos centroides donde se excede el nivel de ruido nocturno admisible (55 dBA). La coincidencia de ambos hechos permite visualizar nítidamente las zonas objetivo para potenciales medidas.

CONCLUSIONES

Del análisis desarrollado se puede colegir un cierto número de conclusiones. Desde el punto de vista de la hipótesis de equidad/inequidad asociada al ruido nocturno madrileño ha quedado patente que:

FIGURA 10. EJEMPLO DE PRIORIZACIÓN DE ZONAS PARA INTERVENCIÓN: ÁMBITOS DE BAJAS RENTAS CON LOS PUNTOS MARCANDO DÓNDE EL RUIDO EXCEDE LOS NIVELES ADMISIBLES EN MADRID



- los entornos residenciales de los grupos de *rentas bajas y medias* no muestran discriminación alguna, es decir, se reparten por encima y debajo del umbral crítico (55 dBA) en proporción similar a la que están en la ciudad;
- las *rentas medio-bajas* parecen gozar incluso de una ligera ventaja comparativa en cuanto a ruido ambiental, presumiblemente debido a una ubicación más periférica;
- los entornos donde residen las *rentas medio-altas* son los que acumulan la mayor desventaja comparativa. Ello probablemente obedece a su abundancia en distritos centrales acomodados, que soportan un notable ruido nocturno;
- finalmente, los que aparecen más favorecidos son los espacios donde viven los *grupos de rentas altas*, probablemente por su ubicación en zonas urbanas de baja densidad y poco transitados.

En resumen, y teniendo siempre presente la cautela de que los resultados de los análisis geográficos dependen del tipo de unidades espaciales usadas, cabe afirmar que los datos manejados no corroboran la hipótesis de un perjuicio desproporcionado para las capas de menor renta, en lo concerniente a ruido nocturno inadecuado. La inmisión acústica crítica que los ámbitos de vivienda de los menos afortunados sufren está en concordancia con su presencia relativa en la cápital. Por su parte, los grupos de rentas altas sí que parecen añadir un pequeño plus de ventaja acústica a sus ya favorables condiciones de vivienda. Los entornos urbanos de las rentas medio-altas aparecen como los más discriminados negativamente, aunque debe tenerse en cuenta que, por su capacidad económica, probablemente habrán paliado mediante las medidas oportunas, las molestias sonoras nocturnas derivadas del ruido excesivo. En síntesis, la hipótesis de injusticia ambiental hacia los más desfavorecidos no puede avalarse en el caso de Madrid –siempre, insistimos– a partir de los datos y métodos aplicados.

Desde el punto de vista metodológico cabe subrayar que las eficaces prestaciones de los SIG han hecho viable un análisis inabordable de otra forma y que las técnicas estadísticas y gráficas adoptadas han permitido una apreciación bastante exacta, tanto cuantitativa, como visualmente, del grado de equidad del ambiente sonoro urbano y de cómo es posible orientar políticas correctoras en línea con el principio de equidad ambiental. Ello permite recomendarlas para evaluar la forma como se distribuyen ésta y otras externalidades ambientales, de suerte que la aplicación de tal principio inspire el camino hacia estados geográficos más equilibrados y justos.

Recibido 10.06.2007

Aceptado 09.10.2007

BIBLIOGRAFÍA

- ATKINSON, A. (1995): *Incomes and the welfare. Essays on Britain and Europe*. Cambridge, Cambridge University Press.
- BLAIKIE, P. ET AL. (1994): *At risk. People's vulnerability and disasters*. Londres, Routledge.
- BOSQUE SENDRA, J., DÍAZ CASTILLO, C. Y DÍAZ MUÑOZ, M. A. ET AL. (2001-2): "De la justicia espacial a la justicia ambiental en la política de localización de instalaciones para la gestión de residuos en la Comunidad de Madrid", *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, Tomo CXXXVII-CXXXVIII, pp. 90-113.
- BOWEN, W. ET AL. (1995): "Toward environmental justice: spatial equity in Ohio and Cleveland", *Annals of the Association of American Geographers*, 85, 4, pp. 641-663.

- BRAINARD, J. ET AL. (2002): "Modelling environmental equity: access to air quality in Birmingham, England", *Environment and Planning A*, 34, 4, pp. 695-716.
- CHAKRABORTY, J. Y ARMSTRONG, M. (1997): "Exploring the use of buffer analysis of the identification of impacted areas in environmental equity assessment", *Cartography and Geographic Information Systems*, 24, 3, pp. 145-157.
- CLEVELAND, W. Y DEVLIN, S. (1988): "Locally weighted regression: an approach to regression analysis by local fitting", *Journal of the American Statistical Association*, 83, pp. 596-610.
- COMACHO, D. E. (1998, Ed.): *Environmental injustices, political struggles, race, class and the environment*. Durham, NC, Duke University Press.
- CUTTER, S. (1995): "Race, class and environmental justice", *Progress in Human Geography*, 19, 1, pp. 111-122.
- CUTTER, S., HOLM, D. Y CLARK, L. (1996): "The role of geographic scale in monitoring environmental justice", *Risk Analysis*, 16, 4, pp. 517-526.
- DÍAZ MUÑOZ, M. A. Y DÍAZ CASTILLO, C. (2001-02): El análisis de la vulnerabilidad en la cartografía de riesgos tecnológicos. Algunas cuestiones conceptuales y metodológicas", *Serie Geográfica*, 10, pp. 27-42.
- DOBSON, A. (1998): *Justice and the environment*. Oxford, Oxford University Press.
- FORKENBROCK, D. J. Y SHEELEY, J. (2004): *Effective methods for environmental justice research*. Washington, Transportation Research Board.
- GARCÍA, A. (1988): *La contaminación acústica*. Valencia, Universidad de Valencia.
- GELOBTER, M. (1994): "The meaning of urban environmental justice", *Fortham Urban Law Journal*, 21, pp. 841-856.
- GLEESON, B. Y LOW, N. (2003): "Environmental justice", en Agnew, J., Mitchel, K. y Toal, G. (eds.): *A companion to political geography*. Malden, etc., Blackwell Publ., pp. 455-469.
- GOLDMAN, B. (1996): What future for environmental justice?, *Antipode*, 28, 2, pp. 122-141.
- HANDY, F. (1977): "Income and air pollution in Hamilton, Ontario", *Alternatives*, 6, 18-24.
- HARVEY, D. (1996): *Justice, nature and the geography of difference*. Oxford, Blackwell.
- HEWITT, K. (1997): *Regions at risk: a geographical introduction to disasters*. Harlow, Addison Wesley Longman.
- JERRET, M. ET AL. (2001): "A GIS-based environmental justice analysis of particulate air pollution in Hamilton, Canada", *Environment and Planning A*, 33, pp. 955-973.
- JOHNSTON, R. ET AL. (2000, Eds.): *The dictionary of Human Geography*. Oxford, Blackwell, 4ª ed.
- LAKE, R. (1996): "Volunteers, NIMBYs, and environmental justice: Dilemmas of democratic practice", *Antipode*, 28, 2, pp. 160-174.
- LÁZARO PÉREZ TOLEDO, J. M. DE (1998): "M-40, ruido, especulación y conciencia medioambiental", *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 117-118, pp. 709-720.
- LOPEZ BARRIO, I. (1987): "El ruido67, pp. 203-217.

Resumen ["¿Está equitativamente repartida la contaminación sonora urbana? Una evaluación desde el principio de justicia ambiental en la ciudad de Madrid"]

Entre los principios de mayor trascendencia para enjuiciar situaciones geográficas o actuaciones (planificación y gestión territorial) el de justicia ambiental está adquiriendo un eco creciente, por su utilidad para propugnar cambios y progresos hacia cotas superiores de equilibrio y bienestar socio-espacial. En línea con tal premisa, en este artículo se desarrolla un análisis orientado a evaluar el grado en que el ruido ambiental urbano excesivo afecta de manera igualitaria o desigual a los lugares donde residen los grupos de altas, medias o bajas rentas en Madrid. Se propone un método que combina varios instrumentos estadísticos, gráficos y sistemas de información geográfica para aproximarse en cierto modo a un "justiciómetro" acústico-ambiental.

Palabras clave: Justicia ambiental, ruido urbano, sistemas de información geográfica, Madrid.

Abstract [“Is the urban acoustic pollution equitably distributed? An assessment of environmental justice in Madrid”]

Environmental justice is becoming an outstanding principle for assessing geographical situations or actions (i.e. spatial planning and management), because of its usefulness to encourage changes and progress towards higher levels of socio-spatial equilibrium and wellbeing. According to this assertion in this paper it is developed an analysis focusing to asses whether excessive environmental noise affects equally or unequally the places where high, medium o low income groups live in Madrid. The proposed method involves several statistical and graphical tools and geographical information systems to approach a sort of environmental acoustic “justicemeter”.

Fe de erratas

En el Volumen LXVIII, Nº 263, de la Revista *Estudios Geográficos*, con fecha julio-diciembre de 2007, se han producido los siguientes errores, que incluimos rectificadas a continuación:

En el artículo correspondiente a Antonio Moreno Jiménez: “¿Está equitativamente repartida la contaminación sonora urbana? Una evaluación desde el principio de justicia ambiental en la ciudad de Madrid”, la bibliografía reseñada en las páginas 624 y 625 aparece incompleta:

- ATKINSON, A. (1995): *Incomes and the welfare. Essays on Britain and Europe*. Cambridge, Cambridge University Press.
- BLAIKIE, P. *et al.* (1994): *At risk. People's vulnerability and disasters*. Londres, Routledge.
- BOSQUE SENDRA, J.; DÍAZ CASTILLO, C. y DÍAZ MUÑOZ, M. A. *et al.* (2001-2): “De la justicia espacial a la justicia ambiental en la política de localización de instalaciones para la gestión de residuos en la Comunidad de Madrid”, *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, Tomo CXXXVII-CXXXVIII: 90-113.
- BOWEN, W. *et al.* (1995): “Toward environmental justice: spatial equity in Ohio and Cleveland”, *Annals of the Association of American Geographers*, 85, 4: 641-663.
- BRAINARD, J. *et al.* (2002): “Modelling environmental equity: access to air quality in Birmingham, England”, *Environment and Planning A*, 34, 4: 695-716.
- CHAKRABORTY, J. y ARMSTRONG, M. (1997): “Exploring the use of buffer analysis of the identification of impacted areas in environmental equity assessment”, *Cartography and Geographic Information Systems*, 24, 3: 145-157.
- CLEVELAND, W. y DEVLIN, S. (1988): “Locally weighted regression: an approach to regression analysis by local fitting”, *Journal of the American Statistical Association*, 83: 596-610.
- COMACHO, D. E. (ed.) (1998): *Environmental injustices, political struggles, race, class and the environment*. Durham, NC, Duke University Press.
- CUTTER, S. (1995): “Race, class and environmental justice”, *Progress in Human Geography*, 19, 1: 111-122.
- CUTTER, S.; HOLM, D. y CLARK, L. (1996): “The role of geographic scale in monitoring environmental justice”, *Risk Analysis*, 16, 4: 517-526.
- DÍAZ MUÑOZ, M. A. y DÍAZ CASTILLO, C. (2001-02): “El análisis de la vulnerabilidad en la cartografía de riesgos tecnológicos. Algunas cuestiones conceptuales y metodológicas”, *Serie Geográfica*, 10: 27-42.
- DOBSON, A. (1998): *Justice and the environment*. Oxford, Oxford University Press.
- FORKENBROCK, D. J. y SHEELEY, J. (2004): *Effective methods for environmental justice research*. Washington, Transportation Research Board.

- GARCÍA, A. (1988): *La contaminación acústica*. Valencia, Universidad de Valencia.
- GELOBTER, M. (1994): "The meaning of urban environmental justice", *Fortham Urban Law Journal*, 21: 841-856.
- GLEESON, B. y LOW, N. (2003): "Environmental justice", en AGNEW, J.; MITCHEL, K. y TOAL, G. (eds.), *A companion to political geography*. Malden, etc., Blackwell Publ.: 455-469.
- GOLDMAN, B. (1996): What future for environmental justice?, *Antipode*, 28, 2: 122-141.
- HANDY, F. (1977): "Income and air pollution in Hamilton, Ontario", *Alternatives*, 6: 18-24.
- HARVEY, D. (1996): *Justice, nature and the geography of difference*. Oxford, Blackwell.
- HEWITT, K. (1997): *Regions at risk: a geographical introduction to disasters*. Harlow, Addison Wesley Longman.
- JERRET, M. et al. (2001): "A GIS-based environmental justice analysis of particulate air pollution in Hamilton, Canada", *Environment and Planning A*, 33: 955-973.
- JOHNSTON, R. et al. (eds.) (2000): *The dictionary of Human Geography*. Oxford, Blackwell, 4ª ed.
- LAKE, R. (1996): "Volunteers, NIMBYs, and environmental justice: Dilemmas of democratic practice", *Antipode*, 28, 2: 160-174.
- LÁZARO PÉREZ TOLEDO, J. M. de (1998): "M-40, ruido, especulación y conciencia medioambiental", *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 117-118: 709-720.
- LÓPEZ BARRIO, I. (1987): "El ruido y sus efectos en la población. El caso de Madrid", *Documentación Social*, 67: 203-217.
- LÓPEZ MUÑOZ, G. (1992): *El ruido en el lugar de trabajo*. Madrid, Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo.
- MARTÍNEZ SUÁREZ, P. y MORENO JIMÉNEZ, A. (2005): "Análisis espacio-temporal con SIG del ruido ambiental urbano en Madrid y sus distritos", *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 5: 219-249. En: www.geo-focus.org
- MARTÍNEZ SUÁREZ, P. y MORENO JIMÉNEZ, A. (2006): "El ambiente acústico de los hospitales de Madrid: metodología de análisis y diagnóstico con S.I.G.", *Cuadernos Geográficos*, Universidad de Granada, 18 p. (en prensa).
- MOHAI, P. y BRYANT, B. (1992): "Environmental racism: Reviewing the evidence", en MOHAI y BRYANT (eds.), *Race and the incidence of environmental hazards*. Boulder (Col.), Westview Press: 163-176.
- MORENO JIMÉNEZ, A. (1995): "La medicifin de externalidades ambientales: un enfoque espacio-temporal", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 15: 485-496.
- MORENO JIMÉNEZ, A. (dir.) (2003): *La distribución espacial de la renta en la Comunidad de Madrid. Análisis y aplicaciones*. Madrid, Instituto de Estadística, Consejería de Economía e Innovación Tecnológica. En: <http://www.madrid.org/iestadis/gazeta/publicaciones/ies-parentano.htm>
- MORENO JIMÉNEZ, A. y CAÑADA TORRECILLA, R. (2007): "Justicia ambiental y contaminación atmosférica por dióxido de azufre en Madrid: análisis espacio-temporal y valoración con

- sistemas de información geográfica”, *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 22 p. (en proceso de evaluación).
- MORENO JIMÉNEZ, A. y FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (2003): “El confort climático en los entornos residenciales de las capas altas, medias y bajas de la Comunidad de Madrid: otra forma de desigualdad socioespacial”, en MORENO JIMÉNEZ, A. (dir.), *La distribución espacial de la renta en la Comunidad de Madrid. Análisis y aplicaciones*. Madrid, Instituto de Estadística, Consejería de Economía e Innovación Tecnológica: 153-176. En: <http://www.madrid.org/iestadis/gazeta/publicaciones/iesparentano.htm>
- 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: 153-179. En: <http://age.ieg.csic.es/boletin.htm>
- PAUSTENBACH, D. (ed.) (2002): *Human and ecological risk assessment. Theory and practice*. Nueva York, Wiley-Interscience.
- PITA LÓPEZ, M. F. (coord.) (1999): *Riesgos catastróficos y ordenación del territorio en Andalucía*. Sevilla, Consejería de Obras Públicas y Transportes.
- SAROKIN, D. J. y SCHULKIN, J. (1994): “Environmental justice: co-evolution of environmental concerns and social justice”, *The Environmentalist*, 14, 2: 121-129.
- TOWERS, G. (2000): “Applying the political geography of scale: the grassroots strategies and environmental justice”, *The Professional Geographer*, 52, 1: 23-36.
- VV. AA. (1991): *El ruido en la ciudad. Gestión y control*. Madrid, Sociedad Española de Acústica, 540 p.
- WENZ, P. S. (1988): *Environmental justice*. New York, State University of New York Press.
- ZIEGLER, D.; JOHNSON, J. y BRUNN, S. (1983): *Technological hazards*. Washington, Assoc. of American Geographers, Resource Publications in Geography.