

# JUSTICIA AMBIENTAL Y CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR DIÓXIDO DE AZUFRE EN MADRID: ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL Y VALORACIÓN CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

**Antonio Moreno Jiménez y Rosa Cañada Torrecilla**

Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid. España

## RESUMEN

Desde hace unos años se ha tomado creciente conciencia de que las emisiones contaminantes ocasionadas por actividades humanas, al difundirse por el territorio, no afectan de manera similar a las diferentes categorías sociales. A menudo se ha observado que esas externalidades negativas discriminan y penalizan especialmente a los grupos más desfavorecidos, lo que genera una «injusticia» de origen ambiental.

Este artículo aborda el diagnóstico del grado en que dichas externalidades negativas, asociadas a la contaminación atmosférica por SO<sub>2</sub>, afectan desigualmente a las zonas ocupadas por los distintos grupos de renta en Madrid en dos años recientes, 1995-2005, en aras de comprobar el nivel de equidad-inequidad ambiental que podían causar. A tal fin se usan dos fuentes de datos: los de renta per cápita por secciones censales y los de polución registrados en los observatorios de vigilancia. Con estos últimos se han generado, por interpolación, capas raster del grado de concentración de ese contaminante en la atmósfera y luego se ha realizado una tabulación estadística entre las capas de renta y las de dióxido de azufre, para determinar la magnitud de la afección potencial sobre cada grupo de renta. El examen en dos momentos permite evidenciar el resultado, en términos de equidad ambiental, de la política vigente de sustitución de calderas de calefacción y la consiguiente reducción de emisiones de dióxido de azufre.

---

Fecha de recepción: enero 2007.

Fecha de aceptación: septiembre 2007.

El método aplicado ilustra cómo los SIG pueden ser utilizados para elaborar diagnósticos efectivos de situaciones geográficas y, por tanto, para analizar políticas públicas y tomar decisiones congruentes con el ya bien reconocido principio de justicia ambiental.

**Palabras clave:** justicia ambiental, contaminación atmosférica, ambiente urbano, sistemas de información geográfica, Madrid.

## ABSTRACT

Environmental justice and sulphur dioxide atmospheric pollution in Madrid: a spatio-temporal analysis and assessment with GIS

Last years there is a growing awareness about the fact that pollutant emissions produced by human activities, when spreading across space, do not fairly affect to different social categories. It has been often observed that most disadvantaged groups suffer more severely these negative externalities, so generating environmental injustice.

This paper tackles the diagnosis of the extent the negative externalities, derived from sulphur dioxide atmospheric pollution, unequally affect to the zones populated by the distinct income groups in Madrid, in order to check the environmental equity / inequity they could cause in two years, 1995 and 2005. To this end two data sources are used: income per capita by small spatial units and the pollution registered in the ground surveillance observatories. The later data, associated to point locations, have served as input to produce, by spatial interpolation, raster layers estimating the atmospheric concentration of the pollutant, and then a cross-tabulation between the income and the sulphur dioxide raster layers has been obtained to determine the relative level of affection suffered by each income group. Analysing the facts in two years allows to assess the output, in terms of environmental equity, of the policy promoting heaters modernization and the derived reduction in sulphur dioxide emissions.

The method illustrates how GIS analysis can be effectively applied to diagnose geographical situations, and so to analyse public policies and to make spatial decisions taking into account the nowadays well established principle of environmental justice.

**Key words:** environmental justice, atmospheric pollution, urban environment, geographical information systems, Madrid.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde hace unos años, la desigual calidad ambiental que sufren o disfrutan los distintos grupos sociales ha ido elevando a un lugar preeminente el principio de justicia ambiental. Si inicialmente emergió como movimiento ciudadano de base protestando contra la desproporcionada «carga» y penalización que ciertos grupos étnico-raciales —desfavorecidos además socialmente— soportaban por el degradado medio ambiente donde vivían, paulatinamente ha ido adquiriendo un significado científico y jurídico más aquilatado, e impregnando a las decisiones políticas. Parece fuera de toda duda que ese principio está llamado a ocupar un puesto destacado entre los que habrá que aplicar sistemáticamente en la evaluación de toda

suerte de políticas públicas con dimensión espacial, entre ellas las concernientes a ordenación urbana y territorial, por cuanto la no discriminación de los ciudadanos por los poderes públicos o la protección de los más necesitados constituyen pilares de las democracias.

El concepto de justicia ambiental ha sido bastante escrutado y discutido ya (vid. Wenz, 1988; Gelobter, 1994; Cutter, 1995; Dobson, 1998; y Gleeson y Low, 2003), si bien generalmente en la bibliografía, como refiere Lake (1996, 163), el énfasis de esa expresión recae en la dimensión distributiva de las amenidades y desventajas entre individuos y grupos. Es decir, en qué medida los beneficios y perjuicios ocasionados por otros agentes son soportados de manera desequilibrada, i.e. injusta, por unas u otras clases socio-espaciales. La medición de la eventual discriminación en ese reparto tiene mucho que ver con la localización de los agentes emisores y receptores, por lo que la aproximación al problema desde la Geografía ha enfatizado la búsqueda de evidencias de la asociación espacial entre categorías sociales por un lado y grados de calidad ambiental por otro.

Se cuenta ya con una cierta experiencia de estudios abordando la evaluación de la justicia ambiental en lugares concretos, sobre todo urbanos (vid., por ejemplo, Handy, 1977; Jerret et al., 2001; Bosque Sendra et al., 2001-2; Brainard et al., 2002; Moreno y Fernández, 2003; Moreno Jiménez, 2004 y 2007). En ellos se ha empezado a poner a prueba métodos, técnicas y tecnologías para aprehender operativamente ese elusivo concepto (vid. especialmente Mohai, 1995 y Forkenbrock y Sheeley, 2004), lo que ha puesto de manifiesto las dificultades del empeño y la necesidad de ahondar en el mismo como forma de, por un lado, poner en evidencia los grados de justicia-injusticia ambiental inherentes a ciertos estados, escenarios, propuestas o esquemas de organización territorial y, por otro, de refinar instrumentos de medida, a modo de «justiciómetros», capaces de dar contestación rigurosa a las preguntas: ¿es tal situación justa o injusta socio-ambientalmente? ¿en qué medida? ¿qué grupo socio-espacial está más perjudicado o beneficiado? Parece evidente que respuestas a ellas bien sustentadas habrían de informar eventuales tomas de decisiones correctoras o compensadoras.

En esta misma línea, nuestro estudio aborda el examen de la relación espacial entre dos fenómenos urbanos en la metrópoli madrileña: el nivel de contaminación por dióxido de azufre en la atmósfera y el nivel de renta de los residentes. El objetivo empírico estriba en mostrar, de manera cuantitativa, qué grado de polución soporta cada estrato de renta —como indicador sumario de estatus social—, para así dilucidar si hay o no desigualdades o discriminación y para qué grupos. Como objetivo metodológico-técnico se ha de mencionar, así mismo, el ensayo, fuertemente apoyado en SIG, de medir la eventual asociación espacial entre un atributo ambiental y otro social, en línea con los intentos realizados en varias de las investigaciones antes mencionadas. Conviene añadir que, en este caso además, el análisis posee una dimensión diacrónica singular, por cuanto se pretende evaluar la situación en dos períodos anuales separados por diez años, 1995 y 2005, en los que se sucedieron cambios tanto en la concentración de ese contaminante, como en los niveles de rentas y la distribución intraurbana de los residentes. El hecho de que la actuación del gobierno local, el Ayuntamiento de Madrid, haya sido protagonista destacado en la conducción de tales cambios le confiere una responsabilidad especial en los procesos acaecidos y en sus consecuencias.

En el apartado siguiente se presentan las fuentes de información y los procedimientos de análisis. A continuación se describen los niveles de polución por SO<sub>2</sub> en los dos momentos señalados y los patrones espaciales definidos por el estatus de renta de los madrileños en

1997 y 2000. En los dos apartados siguientes se confrontan espacialmente para 1995 y 2005 los dos indicadores —polución atmosférica y renta— y se discuten los hallazgos alcanzados. Finalmente se realiza un balance y conclusiones.

## II. LA INFORMACIÓN Y LOS MÉTODOS

### 2.1. Las fuentes de datos y su tratamiento

Para el estudio de la **contaminación atmosférica** se ha utilizado la información suministrada por las estaciones de la Red Automática de Vigilancia de la Calidad Atmosférica del Ayuntamiento de Madrid, que cuenta con 27 puntos, los cuales se despliegan por diversas zonas de la ciudad, tanto centrales, como periféricas, aunque lamentablemente de forma desigual. Para paliar los defectos de representatividad de tal muestra de estaciones, espacialmente sesgada, se ha recurrido a incorporar también la información de estaciones limítrofes (exteriores al municipio de Madrid), pertenecientes a la Red de Contaminación de la Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid, con vistas a lograr unos resultados más rigurosos. En concreto se han utilizado datos registrados en observatorios ubicados en los municipios adyacentes de Colmenar Viejo y Alcobendas por el norte, Coslada y Torrejón por el este, Rivas-Vaciamadrid por el sureste, Getafe, Leganés, Fuenlabrada, Móstoles y Alcorcón por el sur-suroeste y Majadahonda por el oeste. De esta manera se ha dispuesto de una red lo más amplia posible de puntos muestrales con los que interpolar y modelar el patrón espacial del contaminante elegido.

En nuestro caso éste ha sido el dióxido de azufre atmosférico,  $\text{SO}_2$ , tomando como datos los valores medios anuales para cada estación, que vienen expresados en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Con dicha información para los dos momentos temporales, 1995 y 2005, se ha procedido a la aplicación de técnicas de modelado espacial, con el fin de generar sendos mapas de distribución de contaminantes en todo el municipio de Madrid, adoptando cuadrículas de 200 m. de lado como unidades espaciales estándar.

Tras ensayar con diversos métodos de interpolación espacial (incluido el Kriging) y valorar crítica y comparativamente su idoneidad y resultados<sup>1</sup>, la técnica seleccionada ha sido la media ponderada por el inverso de la distancia, (IDW), un interpolador local, es decir, que estima los valores utilizando solamente los puntos muestrales que se encuentran en la vecindad de cada punto no muestral. Como es sabido, la fórmula general del mismo es:

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i * Z(s_i),$$
 donde  $Z(s_0)$  es el valor que se intenta predecir para el lugar  $s_0$ ,  $N$  es el número de puntos muestrales alrededor del lugar que se va a predecir y que serán tenidos en cuenta en el cálculo,  $\lambda_i$  es el peso asignado a cada punto muestral y  $Z(s_i)$  es el valor observado del lugar  $s_i$ . Para definir los pesos se utiliza la fórmula:  $\lambda_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}$ , donde  $d_{i0}$  es la distancia entre el lugar a predecir  $s_0$  y cada lugar muestral  $s_i$ . A medida que la distancia

<sup>1</sup> El método de Kriging se desechó tras comprobar la inexistencia de autocorrelación espacial de la variable a interpolar.

se hace más grande, el peso se ve reducido por el efecto del exponente  $p$  ( $>1$ ). Es decir que, según se incrementa la distancia entre los puntos observados y el punto calculado, el peso que tendrá un punto muestral sobre el predicho decrecerá exponencialmente (Cañada Torrecilla, 2006, p. 783). Aquí se ha utilizado un valor para  $p=2$ , que es el que hace mínimo el error de la predicción. Dicho valor óptimo para  $p$  se ha determinado previamente mediante el procedimiento disponible en la extensión Geostatistical Analyst de ArcGIS. El número de vecinos,  $N$ , considerados para interpolar ha sido reducido (5), teniendo así en cuenta la gran influencia de factores locales en los niveles de dióxido de azufre registrados y la desigual distribución espacial de las estaciones. La aplicación del método se ha realizado con la extensión Spatial Analyst de ArcGIS.

En lo relativo a datos sobre los **ingresos personales** de los residentes en Madrid la fuente ha sido el «*Indicador de Renta Familiar Disponible Territorializada*», que elabora el Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid (IECM), por traducir adecuadamente los flujos de rentas percibidos por los individuos a lo largo del año. Se trata de un indicador disponible no por personas, sino por unidades espaciales agregadas. Conviene recordar que el indicador es obtenido mediante un procedimiento que combina datos estadísticos fehacientes (declaraciones de renta), junto con estimaciones de otros componentes para intentar aproximarse de la manera más exacta a las rentas familiares per capita disponibles<sup>2</sup>. La desagregación espacial máxima, y por tanto más adecuada para nuestros fines, era la de secciones censales<sup>3</sup>.

Los datos sobre renta han presentado un problema insalvable concerniente a las fechas de referencia: como años más próximos a los contemplados para la polución por  $SO_2$  solo ha sido posible disponer de 1997 y 2000. Ello supone, lógicamente, un hándicap que, pese a todo, creemos que no impide la viabilidad de la investigación ni invalida radicalmente las conclusiones, ya que existe constancia de una persistencia del patrón de rentas en un plazo tan corto como los diez años considerados para la variable de contaminación.

Un segundo problema a solucionar, para confrontar las dos variables anteriores radicaba en la incompatibilidad de las unidades espaciales. Mientras la polución se ha generado para cuadrículas raster de 200 m., las rentas se imputan a polígonos irregulares. Un primer paso en pos de la compatibilidad fue la conversión a raster de tales polígonos, de una forma ya compatible con la malla raster de contaminación.

Una tercera cuestión se planteó a la hora de confrontar espacialmente las dos variables: dentro del término municipal de Madrid ¿qué ámbito es el apropiado para cotejar el nivel de renta y el de contaminación? La respuesta parece lógico buscarla considerando dónde se localiza la población, que es la receptora de inmisiones y la detentadora del atributo de renta. Las zonas despobladas —y por ende, sin atributo de renta—, obviamente deberían ser excluidas. Al efecto de determinar esas zonas pobladas se partió de la información demográfica referenciada por edificio para ambas fechas procedente del Padrón Municipal de

---

2 Véanse, para más detalle, las Notas Metodológicas de la mencionada publicación en el portal [www.madrid.org/iestadis](http://www.madrid.org/iestadis) y el estudio sobre la renta familiar en la Comunidad de Madrid de Moreno (2003, Dir.).

3 Las secciones censales son unas divisiones para gestión electoral y estadística en España con un tamaño entre 1000 y 2000 habitantes, para las que se dispone de abundante información censal y padronal, siendo por ello las unidades espaciales adoptadas en muchos estudios, por la elevada desagregación que ofrecen. Su geometría y carácter son, sin embargo, poco justificables a menudo para el examen de otros procesos espaciales.

Habitantes (Ayuntamiento de Madrid, Dirección General de Estadística). Considerando que la población es móvil y que, por tanto, el edificio de residencia como referencia espacial puntual y única resulta pobre se realizó un modelado de la densidad de población mediante un estimador focal (Kernel con ventana de 500 m.)<sup>4</sup>. Ello significa, sencillamente, que la población se considera repartida sobre un círculo de 500 m. de radio en torno a la vivienda y de manera desigual, i. e. con más densidad cuanto más cerca de la misma. Lo cual resulta bastante coherente con el concepto de «espacio de acción individual», acuñado en la Geografía del comportamiento. De esta forma se generaron sendos mapas (como capas raster con resolución de 200 m.), que representaban la zona con densidad de población no nula (área densificada) en 1995 y 2005.

Tales capas raster fueron usadas, pues, para delimitar el ámbito relevante para considerar la interacción hombre-medio, en nuestro caso, nivel de renta-polución por SO<sub>2</sub>. Técnica-mente se procedió a «recortar» las capas de rentas y polución por la capa de zona densificada poblacionalmente en cada uno de los años, mediante una operación local (superposición raster). Ello aseguraba una total consistencia del ámbito considerado para cada año en ambas variables. Naturalmente, dada la variación demográfica en el decenio (sobre todo por la expansión residencial periférica) los ámbitos en 1995 y 2005 no son idénticos, pero sí bastante coextensivos.

## 2.2. El «justiciómetro»: una aproximación metodológica a la medida de la equidad ambiental

La última cuestión metodológica que precisa clarificación aquí estriba en cómo dilucidar operativamente la existencia de equidad-inequidad ambiental con respecto a las rentas; dicho de otra manera ¿cómo cuantificar los niveles de polución por SO<sub>2</sub> soportados por cada grupo de renta? La respuesta debería esclarecer la hipótesis de la eventual injusticia ambiental y valorar por tanto la situación.

El método aquí adoptado (vid. Moreno Jiménez, 2007) simple pero efectivo, conlleva estas etapas, ejecutadas con ArcGIS (Spatial Analyst) y NCSS:

- Clasificación de las capas de renta y SO<sub>2</sub> en intervalos idóneos para simplificar y, a la vez, evidenciar las variaciones intraurbanas.
- Tabulación cruzada, para cada año, de las variables/capas de renta y contaminación por dióxido de azufre. Las celdas de la tabla recogen la cifra de píxeles para cada intervalo de renta y de contaminante.
- Para cada nivel de renta, obtención de los porcentajes de píxeles en cada intervalo de contaminación; es decir, se derivó la distribución relativa del espacio densificado por cada intervalo de renta según su grado de polución.
- Comparación de los porcentajes entre estratos de renta y con el conjunto de la ciudad, para valorar la afección potencial relativa que cada uno de tales estratos soporta.
- Obtención de índices de asociación, V de Cramer y Gamma ( $\gamma$ ) de Goodman y Kruskal, para variables nominales y ordinales respectivamente.

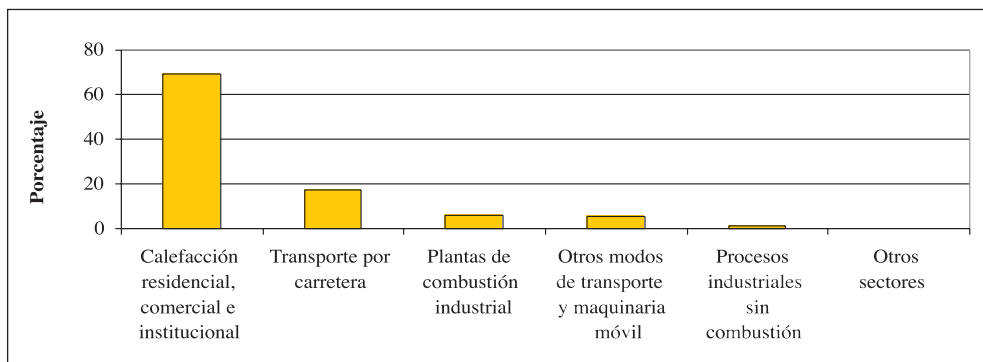
4 Sobre el particular véase Moreno Jiménez (1991).

### III. LA POLUCIÓN ATMOSFÉRICA POR DIÓXIDO DE AZUFRE EN MADRID

De acuerdo con los datos del Ayuntamiento de Madrid (2004, p. 4), la emisión de dióxido de azufre procede, mayoritariamente, de la combustión para calefacción residencial, comercial e institucional (69,37%) y, en segundo lugar, del transporte por carretera (17,46%). El resto de emisiones (13,17%) las provocan otros medios de transporte y maquinaria móvil, las plantas de combustión industrial, los procesos industriales sin combustión y otros sectores (figura 1).

Este contaminante ha experimentado una espectacular mejoría como consecuencia de diferentes actuaciones llevadas a cabo por el Ayuntamiento de Madrid, que recordaremos brevemente. Destacamos el *Plan de Saneamiento Atmosférico de 1982*, que dio sus frutos a finales de los años ochenta. Este Plan tuvo una primera etapa de 1981-1982, en la que se realizó un primer inventario de emisiones que permitió conocer la participación de los diferentes tipos de fuentes. Se planteó la revisión periódica del parque de automóviles diésel, la calidad de los combustibles sólidos y se amplió la red automática de control de la contaminación. En la segunda etapa, desarrollada entre 1983-1985, se actualizaron las Ordenanzas Municipales relacionadas con el medio ambiente, quedando englobadas en una sola, la *Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano* y se aprobó el *Plan de Mejora de Instalaciones de Calefacción*, que estableció un régimen de subvenciones para las comunidades de vecinos y los propietarios que se acogieran a él. En 1985 se firmó un Acuerdo Marco entre el Ayuntamiento y el CIEMAT<sup>5</sup>, en el que se incluía el *Plan de Vigilancia Radiológica Ambiental en Madrid* (Ayuntamiento de Madrid, 2006, p. 14).

**Figura 1**  
ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR SO<sub>2</sub> EN MADRID.



Fte. Elaboración propia sobre datos del Ayuntamiento de Madrid (2004).

5 Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas de España.

En 1990 entra en vigor el *Plan de subvenciones para la transformación de generadores de calor de carbón*. Esta iniciativa tuvo muy buena acogida por parte de ciudadanos y empresas, consiguiendo sustituir 6.528 instalaciones anticuadas de calefacción entre 1990 y 2004, gracias a lo cual se han reducido de modo sustancial las emisiones de dióxido de azufre a la atmósfera.

Desde entonces se continúa con el inventario de emisiones en la ciudad de Madrid, se ha establecido un sistema integral de vigilancia, predicción e información de la contaminación atmosférica (adaptándolo a la normativa europea) y realizado campañas de censado y comprobación de calderas colectivas de calefacción, con independencia del combustible que utilizaran.

En 2002 se firmó un convenio entre el Ayuntamiento y la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de Madrid para el desarrollo de iniciativas en materia energética medioambiental. En 2003 se ha aprobado la Ordenanza Municipal sobre la captación de energía solar para usos térmicos, lo que significa la obligación de instalar sistemas de captación de energía solar para producir agua caliente sanitaria y calentamiento del agua en piscinas en todas las nuevas construcciones y rehabilitaciones.

Actualmente se están desarrollando otras actuaciones, recogidas en la *Estrategia Local de Calidad del Aire de la Ciudad de Madrid 2006-2010*, como son la limitación del tráfico rodado, ampliando zonas con tráfico restringido, el fomento del transporte público o la reducción de emisiones domésticas mediante la construcción de edificios que incorporen medidas medioambientales.

Todas estas iniciativas avistan, como objetivo, mejorar la calidad del aire en la ciudad y cumplir los valores límites establecidos por la legislación para algunos contaminantes que son peligrosos para la salud y los ecosistemas, tales como el dióxido de nitrógeno, el ozono y las partículas en suspensión.

En 1995, y para el caso concreto del SO<sub>2</sub>, ya se había iniciado la bajada de los altos índices de contaminación que sufría Madrid en los años 80, como consecuencia de la paulatina sustitución de las calderas de carbón; este descenso ha continuado durante la última década estudiada aquí, 1995-2005, a escala municipal (tabla 1). Así lo atestiguan la media, el valor máximo y el mínimo; igualmente se ha logrado una homogeneización de los valores, como lo prueba la menor desviación típica.

**Tabla 1**  
ESTADÍSTICOS DEL DIÓXIDO DE AZUFRE EN MADRID A PARTIR DE LOS VALORES DE LAS ESTACIONES DE CONTAMINACIÓN ( $\mu\text{G}/\text{M}^3$ )

Año	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
1995	8	44	23	8.55
2005	6	20	12	3.18

Fte. Elaboración propia a partir de datos de la Red Automática de Estaciones de Vigilancia de la Calidad Atmosférica del Ayuntamiento de Madrid.



El actual marco normativo sobre dióxido de azufre es mucho más restrictivo que antes, con el objetivo de proteger la salud y preservar los ecosistemas. Desde el 1 de enero de 2005, el valor límite horario de protección a la salud es de  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor que no podrá superarse en 24 ocasiones por año; el valor límite diario es de  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y no podrá superarse en más de tres ocasiones al año. En cuanto al valor límite para la protección de la vegetación, no se podrán superar los  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de promedio anual.

Como anteriormente se expuso, a partir de los datos promedio anuales para cada una de las estaciones de la red de vigilancia, se realizó una interpolación espacial con objeto de generar un mapa de polución estimada en el espacio urbano madrileño en las dos fechas, 1995 y 2005.

El examen de la distribución espacial de dicho contaminante en Madrid para el año 1995 (figura 2) pone de manifiesto varios hechos:

- las concentraciones más altas de dióxido de azufre, con valores superiores a  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , se localizan en una mancha interior, que tradicionalmente ha tenido alta densidad de tráfico, afectando a los distritos de Chamberí, Tetuán, Chamartín, y Salamanca; la deriva de la misma hacia el NW la extendía hasta Fuencarral-El Pardo; alta polución aparece además en una pequeña zona limítrofe entre Arganzuela y Carabanchel, topográficamente baja y centrada sobre el río Manzanares (el puente de Toledo), donde existe un nudo de intenso tráfico.
- las concentraciones más bajas, por debajo de 20 y hasta  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , se ubican en las periferias este y sur-suroeste de Madrid;
- el nivel intermedio entre las dos zonas anteriores fluctúa entre 21 y  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y cubre una extensión muy grande del ámbito poblado.

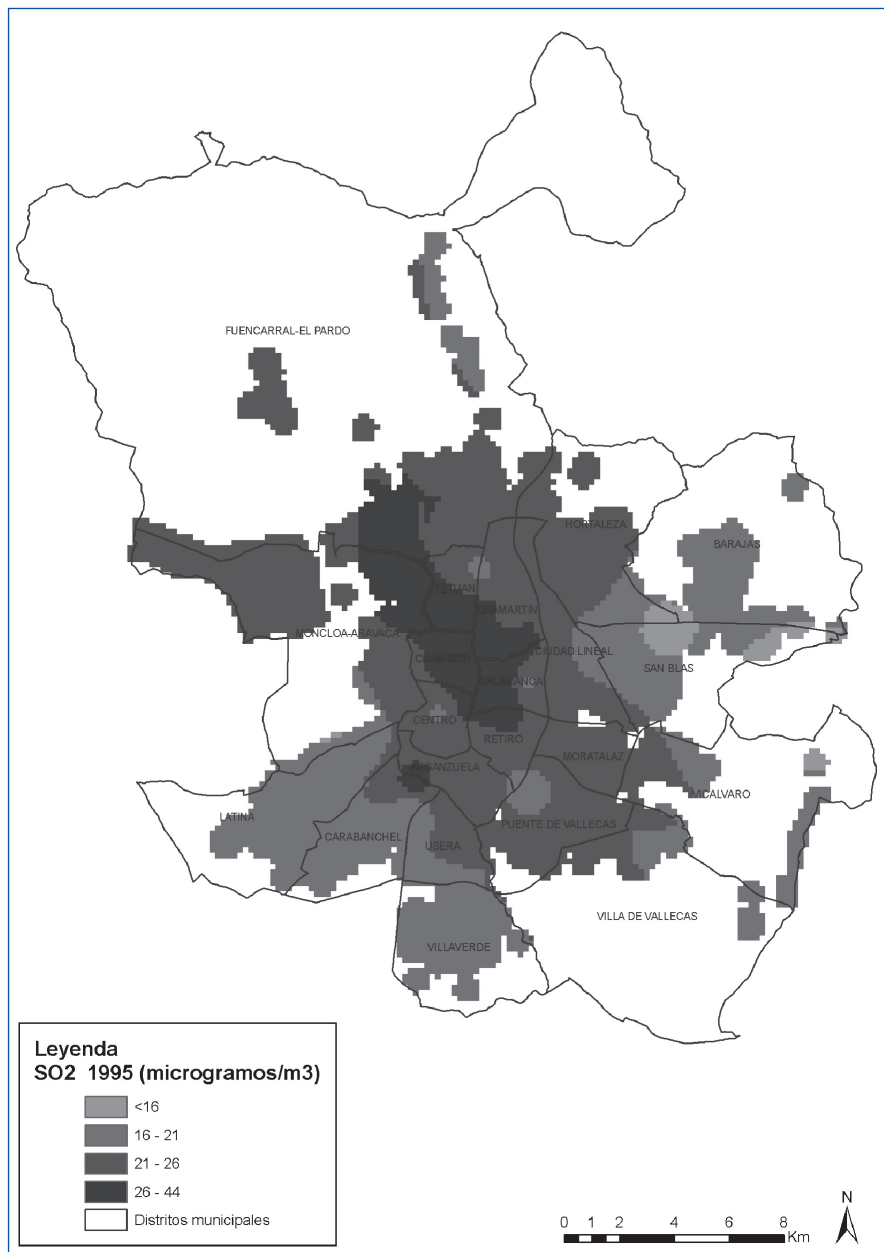
La observación del mapa interpolado para el año 2005 (figura 3), en el que se han mantenido los intervalos y colores de manera consistente con el de 1995, revela un patrón espacial bastante similar al de una década antes, aunque con cifras bastante inferiores:

- los valores más altos (por encima de 16 y hasta  $19,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) aparecen en algunas zonas del interior alineadas con el eje N-S Castellana-Delicias;
- el intervalo entre  $11-16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ocupa ahora una amplia extensión que coincide con el interior de la ciudad, muchos de los barrios intermedios y parte de la periferia;
- las áreas menos contaminadas se sitúan de nuevo en la periferia, en lugares análogos a los de 1995 (sobre todo E y S-SW), y en alguna zona del interior.

Los cambios operados entre 1995 y 2005 en el término municipal de Madrid, cuando se restan los valores de 1995 a los de 2005 ponen de manifiesto un descenso generalizado de este contaminante. No obstante se pueden establecer algunos matices relevantes:

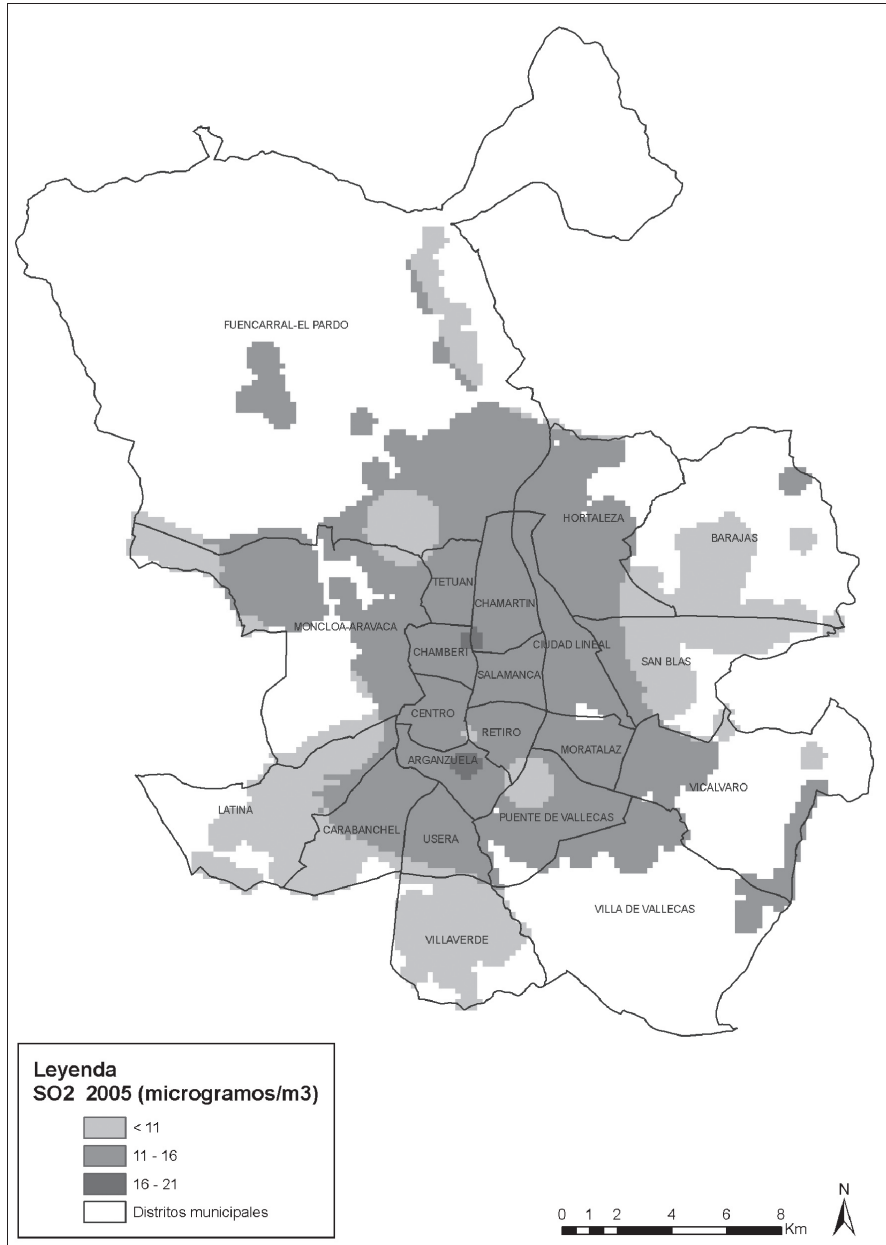
- las caídas más notables de dióxido de azufre, inferiores a  $-14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , se han producido en algunos barrios de distritos centrales como Chamberí, Salamanca, Chamartín, Tetuán, o periféricos como Moncloa-Aravaca y Fuencarral-El Pardo;
- la mayor parte de la ciudad tiene un descenso entre  $-6$  y  $-14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;

**Figura 2**  
CONCENTRACIÓN MEDIA ANUAL PARA 1995 DE DIÓXIDO DE AZUFRE EN LA ATMÓSFERA  
SOBRE LAS ZONAS CON DENSIDAD DE POBLACIÓN EN MADRID



Elaboración propia.

**Figura 3**  
CONCENTRACIÓN MEDIA ANUAL PARA 2005 DE DIÓXIDO DE AZUFRE EN LA ATMÓSFERA  
SOBRE LAS ZONAS CON DENSIDAD DE POBLACIÓN EN MADRID



Elaboración propia.

- existen algunas zonas exteriores en el oeste (Moncloa-Aravaca) y este (San Blas, Vicálvaro y Barajas), amén de alguna otra menor, donde el descenso es pequeño, no llegando a  $-6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Como balance de lo expuesto deben quedar asentadas tres ideas. En primer lugar, que si comparamos los valores medios a partir de datos interpolados para el conjunto del municipio en 1995 y 2005, se hace bien patente el fuerte descenso de este contaminante en Madrid desde 22,32 a 11,58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En segundo lugar, que las disparidades intraurbanas también han disminuido, como lo evidencia la reducción de la desviación típica de los valores por cuadrículas, que pasa de 3,60 a 1,60. Y en tercero, y pese a todo, que la contaminación en general sigue siendo algo más alta en el centro e interior de la ciudad que en la periferia. En resumen, todo apunta hacia una mejora y un reequilibrio intraurbano de signo positivo, aunque persistan ciertas diferencias, cuya confrontación con las del atributo de rentas personales se realizará después.

#### IV. EL PATRÓN ESPACIAL DE LA RENTA PER CÁPITA EN LA CIUDAD DE MADRID

El mapa de la distribución de la renta familiar disponible en el año 1997 por secciones censales (figura 4) no muestra un patrón simple y evidencia que algunos de los distritos municipales no son nada homogéneos. Las zonas más ricas se ubicaban así:

- en una franja central N-S a lo largo del eje Prado-Recoletos-Castellana, aunque no simétrica, pues se extiende algo más hacia el lado oriental de tales paseos;
- en los barrios septentrionales del distrito de Ciudad Lineal;
- en ciertas zonas de distritos periféricos de la mitad norte del municipio: Barajas, Hortaleza, Fuencarral - El Pardo y Moncloa - Aravaca.

Por su lado, las áreas de rentas más bajas afloraban en:

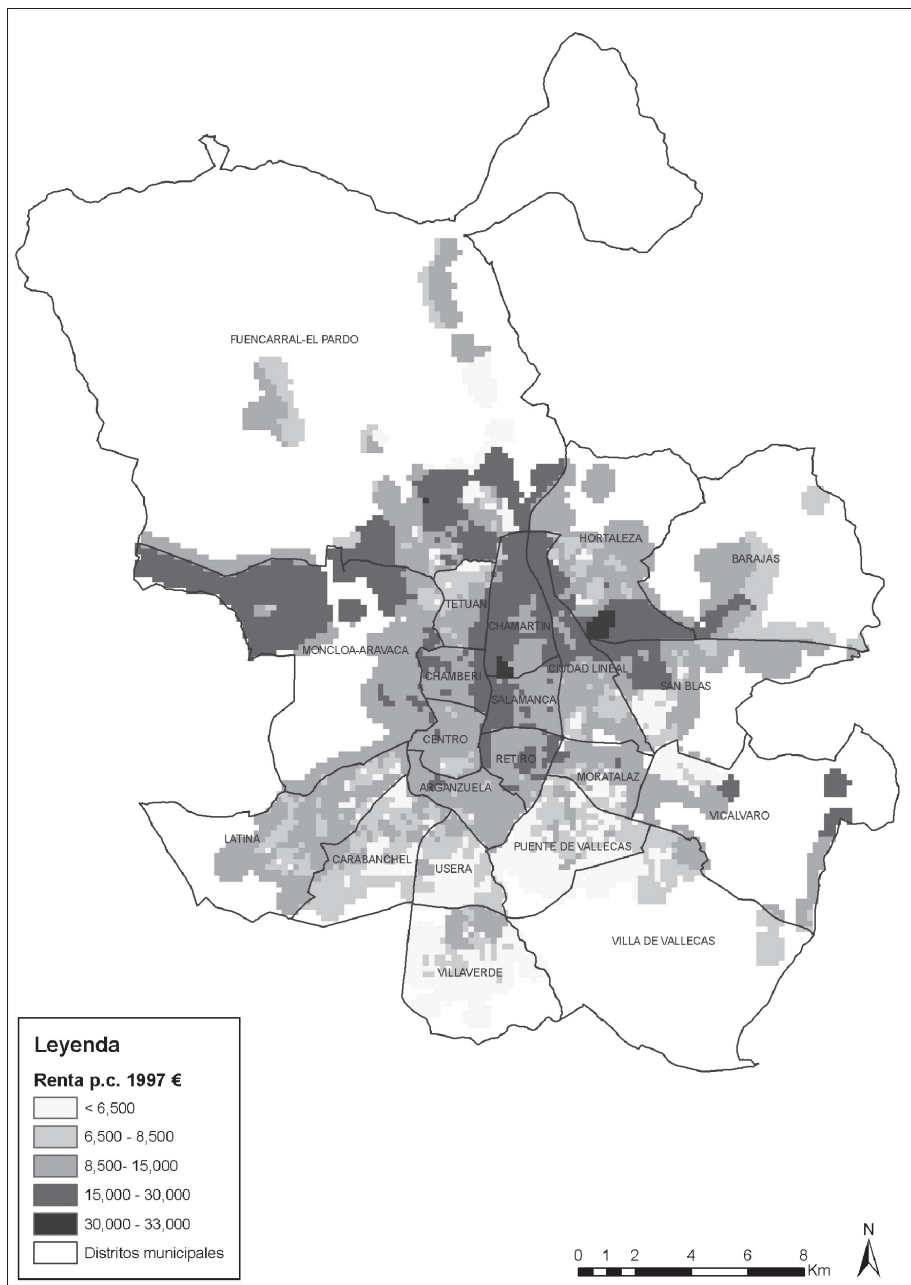
- la parte meridional de la ciudad, formando un arco periférico SW-S-E;
- algunas zonas bien definidas de un buen número de distritos: Centro (S), Tetuán (N), Fuencarral-El Pardo (en el SE), Hortaleza, Barajas, mitad sur de Ciudad Lineal y San Blas, etc.

*Grosso modo*, la vieja y conocida contraposición social norte-sur en Madrid emerge en este indicador con notorio realismo. Ella hunde sus raíces en la historia urbana de la segunda mitad de la pasada centuria cuando, al socaire del fuerte crecimiento de la capital, cristalizaron zonas residenciales habitadas por capas populares (inmigrantes) o acomodadas, muy desiguales socioeconómicamente hablando y que muestran una inercia evidente.

En el año 2000 (figura 5), y dada la proximidad con la fecha anterior, el patrón espacial de las rentas apenas difiere a primera vista. Como rasgos destacables merecen señalarse:

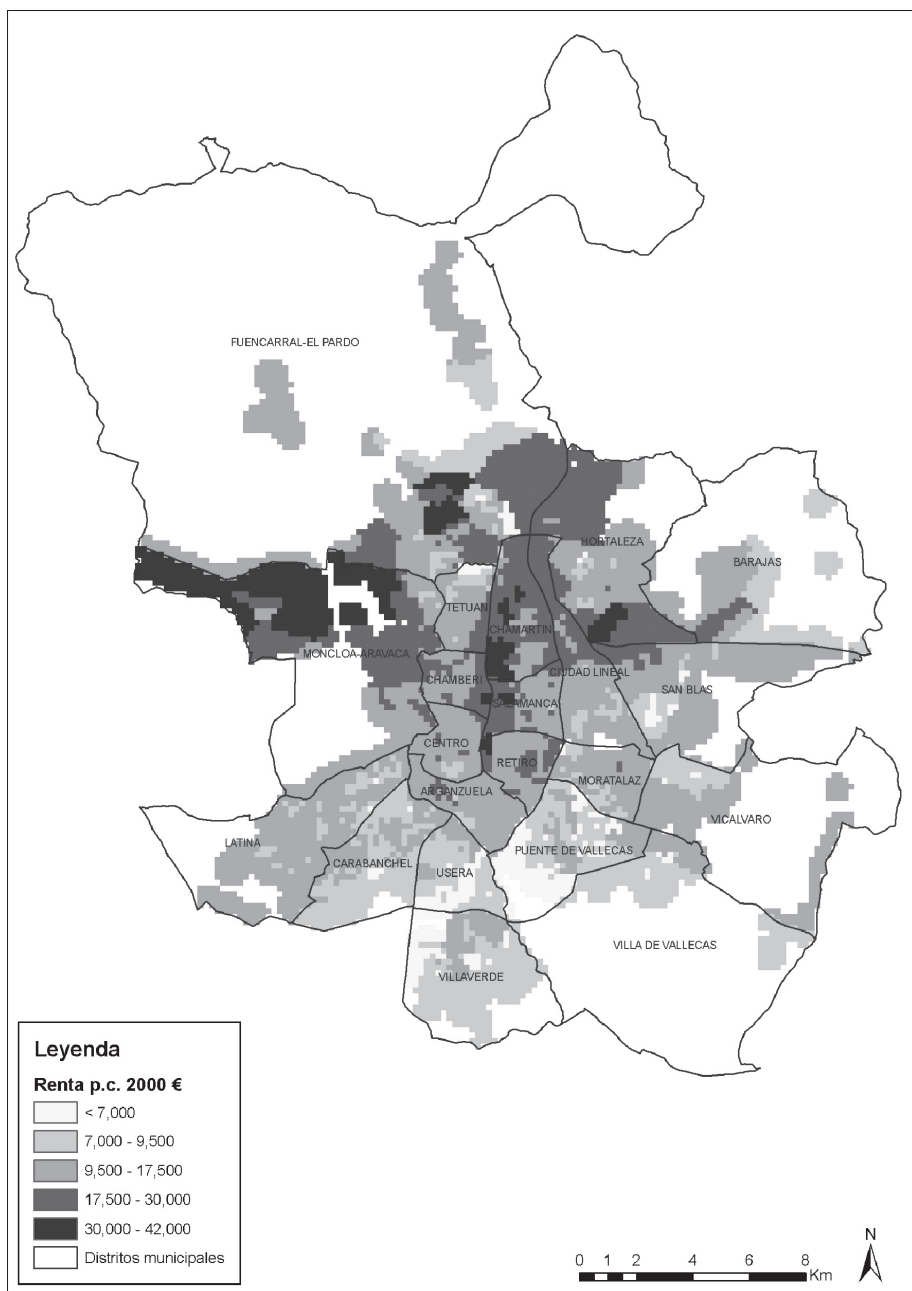
- la ampliación del ámbito ocupado por grupos de rentas altas en la parte septentrional de la ciudad;
- una tenue elevación de las rentas en una serie de zonas de la parte meridional.

**Figura 4**  
NIVEL DE RENTA PER CÁPITA EN LAS ZONAS DENSIFICADAS DE MADRID, 1997



Elaboración propia.

**Figura 5**  
NIVEL DE RENTA PER CÁPITA EN LAS ZONAS DENSIFICADAS DE MADRID, 2000



Elaboración propia.

El índice de convergencia sigma<sup>6</sup> obtenido para 2000 por secciones arroja un valor de 0.372, en tanto que para 1997 ascendía a 0.384, lo que denota una incipiente disminución del desequilibrio intraurbano en este aspecto.

Otro indicador muy geográfico, la superficie que, de acuerdo con el modelo de densidades focales (Kernel con ventana de 500 m.) de la población, estaría adscrita a cada nivel de renta, permite una apreciación cuantitativa novedosa de la realidad madrileña: la proporción de espacio «connotada» por cada uno de esos grupos de renta (tablas 2 y 3). Pese a que los intervalos no son totalmente comparables<sup>7</sup>, se percibe cómo la cantidad de espacio afín a cada grupo de renta se desplaza hacia arriba (mucho más allá de lo que la inflación justificaría) y, en particular, el adelgazamiento del ámbito vinculable a las rentas menores. La elevación general de las rentas tiene con este indicador una trascripción espacial más exacta (puesto que elimina buena parte de los espacios sin uso residencial incluidos por defecto en las secciones) y ello parece apoyar la constatación de una ligera disminución en la desigualdad mencionada antes.

**Tabla 2**  
SUPERFICIE URBANA DE MADRID DENSIFICADA POR CADA ESTRATO DE RENTA, 1997

Renta p. c. € 1997	Porcentaje de superficie
2792 - 6500	15.38
6500 - 8500	18.16
8500 - 15000	43.49
15000 - 30000	22.48
30000 - 33000	0.48
	100.00

Fte. Elaboración propia.

6 La fórmula de este indicador de variabilidad es como sigue:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln RPC_i - \ln RPC_r)^2}{n}}$$

siendo n = Número de secciones censales, RPC<sub>i</sub> = Renta per cápita de la sección i, RPC<sub>r</sub> = Renta per cápita en la ciudad.

7 Como se ve, los límites de los intervalos, salvo el del último, se han incrementado un poco; ello se hizo así para tomar indirectamente en consideración el efecto de la inflación sobre las rentas.

**Tabla 3**  
SUPERFICIE URBANA DE MADRID DENSIFICADA POR CADA ESTRATO DE RENTA, 2000

Renta p. c. € 2000	Porcentaje de superficie
5341 - 7000	4.50
7000 - 9500	22.40
9500 - 17500	47.23
17500 - 30000	18.80
30000 - 42000	7.07
	100.00

Fte. Elaboración propia.

## V. LA JUSTICIA AMBIENTAL DEL DIÓXIDO DE AZUFRE EN 1995

El examen de los estadísticos sintéticos de SO<sub>2</sub> según los estratos de renta establecidos para 1995 (tabla 4) permite algunas constataciones claras:

- Existía una relación clara y positiva entre los valores medios de contaminación y el nivel de renta, de suerte que a medida que aumentaba la opulencia, los niveles de dióxido de azufre tendían a subir también. Las zonas con capas de renta baja y medio-baja, aparecían en una situación más favorable.
- Los valores máximos estimados en la ciudad (por píxeles) y la variabilidad de la contaminación también mostraban una tendencia bastante acorde con la anterior, si bien las zonas de rentas máximas no ostentaban el record de niveles de contaminación, sino algo más moderados.

**Tabla 4**  
ESTADÍSTICOS DE NIVEL DE SO<sub>2</sub> EN 1995 POR ÁREAS DEFINIDAS SEGÚN ESTRATOS DE RENTA PER CÁPITA 1997, MADRID

Renta p. c. € 1997	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 1995			
	Mínimo	Máximo	Amplitud	Media
2792 - 6500	15.72	27.76	12.05	21.02
6500 - 8500	14.29	34.72	20.44	21.09
8500 - 15000	14.01	37.91	23.89	22.32
15000 - 30000	14.33	43.77	29.44	24.20
30000 - 33000	19.91	37.85	17.94	25.72

Fte. Elaboración propia



- Los valores mínimos no exhiben una variación clara entre grupos de renta, salvo el hecho de que los más ricos y los más pobres alcanzan los mayores guarismos entre los mínimos.
- En conjunto, pues, y sobre la base de los anteriores indicadores, no se apreciaba una discriminación ambientalmente injusta contra las clases menos pudientes.

Una apreciación más detallada de la relación entre polución por SO<sub>2</sub> y nivel de renta la ofrece la tabla 5 y figura 6, donde se describe la distribución del espacio ocupado por cada estrato de renta según niveles de contaminación. Queda claro en él que:

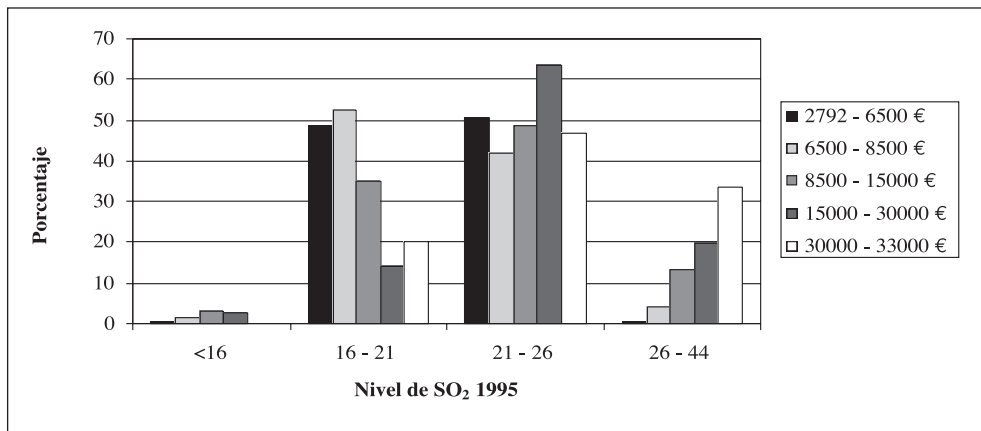
- En el intervalo de contaminación más intensa (26-44 µg/m<sup>3</sup>) la presencia proporcionalmente mayor concierne a las rentas más elevadas. De nuevo se reproduce la asociación altas rentas – alta contaminación por SO<sub>2</sub>.
- En el intervalo de contaminación medio-baja (16-21 µg/m<sup>3</sup>) la tendencia es casi diametralmente opuesta a la anterior; aunque el estrato más opulento no es el que alcanza allí la presencia mínima.
- En el intervalo de contaminación mas baja (<16 µg/m<sup>3</sup>) y medio-alto (21-26) hay tendencias algo dispares.
- El coeficiente de asociación V denota una relación positiva y algo baja (0,19); la  $\gamma$  asciende a 0,37, señalando de nuevo el vínculo espacial, con fuerza media baja pero indiscutible, entre altas rentas y polución en Madrid y viceversa.
- Los resultados, pues, no permiten sostener una discriminación contra los grupos de menor renta; más bien, a apuntan a que eran los más ricos quienes sufrían entornos más contaminados en 1995.

**Tabla 5**  
PORCENTAJES DE SUPERFICIE OCUPADA POR CADA ESTRATO DE RENTA PER CÁPITA 1997  
SEGÚN NIVEL DE SO<sub>2</sub> EN 1995, MADRID

Renta p. c. € 1997	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 1995				
	<16	16 - 21	21 - 26	26 - 44	Total
2792 - 6500	0,21	48,65	50,63	0,52	100
6500 - 8500	1,59	52,52	41,84	4,06	100
8500 - 15000	3,10	34,93	48,67	13,30	100
15000 - 30000	2,71	13,90	63,58	19,81	100
30000 - 33000	0,00	20,00	46,67	33,33	100
Total Madrid	2,28	35,43	51,07	11,22	100
	V de Cramer = 0,19		$\gamma$ de Goodman-Kruskal = 0,37		

Nota: en gris las celdas de cada columna excediendo en +2 puntos el valor porcentual de referencia para el conjunto de la ciudad (fila Total Madrid). Fte. Elaboración propia

**Figura 6**  
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR CADA ESTRATO DE RENTA PER CÁPITA 1997 SEGÚN NIVEL DE SO<sub>2</sub> EN 1995, MADRID



Elaboración propia.

## VI. LA JUSTICIA AMBIENTAL DEL DIÓXIDO DE AZUFRE EN 2005

La situación en Madrid, diez años después de la recién descrita, había variado notablemente. La tabla 6 muestra que:

- Los valores medios para los diferentes estratos de renta eran, por un lado ostensiblemente más bajos que en 1995 y, por otro, bastante homogéneos. No obstante, dichas medias seguían insinuando unos valores ligeramente más altos en los ámbitos de altas rentas.
- Los valores máximos de contaminación tienden a ser más altos entre las capas ricas (> 17500 €) que entre las más modestas (< 9500), si bien el record aparece en el estrato de rentas medias (9500-17500 €). Los valores mínimos no muestran una tendencia clara de variación respecto a las rentas.
- La variabilidad de contaminación para cada estrato de renta tendía a ser más baja entre los más ricos y los más pobres, elevándose entre las capas de rentas medias. Este hecho, que también aparecía en 1995 podría obedecer a la mayor segregación espacial de aquéllos dos grupos de renta, es decir, su propensión a ocupar y conformar ámbitos más homogéneos, no solo social, sino también ambientalmente.
- De lo expuesto se colige que tampoco en este año la situación aparece como especialmente desfavorable a los ámbitos ocupados por capas de rentas menos pudientes. En su lugar se atisba la persistencia de un ligero perjuicio para las zonas de rentas mayores, pero el fenómeno más destacado estriba en que los niveles de contaminación soportados por los distintos grupos de renta se sitúa en cifras bastante similares o igualitarias.

**Tabla 6**  
**ESTADÍSTICOS DE NIVEL DE SO<sub>2</sub> 2005 POR ÁREAS DEFINIDAS SEGÚN ESTRATOS DE RENTA PER CÁPITA 2000, MADRID**

Renta p. c. € 2000	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 2005			
	Mínimo	Máximo	Amplitud	Media
5341 - 7000	7,51	14,93	7,42	11,23
7000 - 9500	6,28	15,97	9,69	11,00
9500 - 17500	6,01	19,83	13,82	11,46
17500 - 30000	6,29	16,86	10,57	12,63
30000 - 42000	9,26	16,95	7,69	11,88

Fte. Elaboración propia.

La distribución del espacio ocupado por cada estrato de renta (tabla 7 y figura 7), según el nivel de SO<sub>2</sub>, arroja matices adicionales sobre lo ya expuesto.

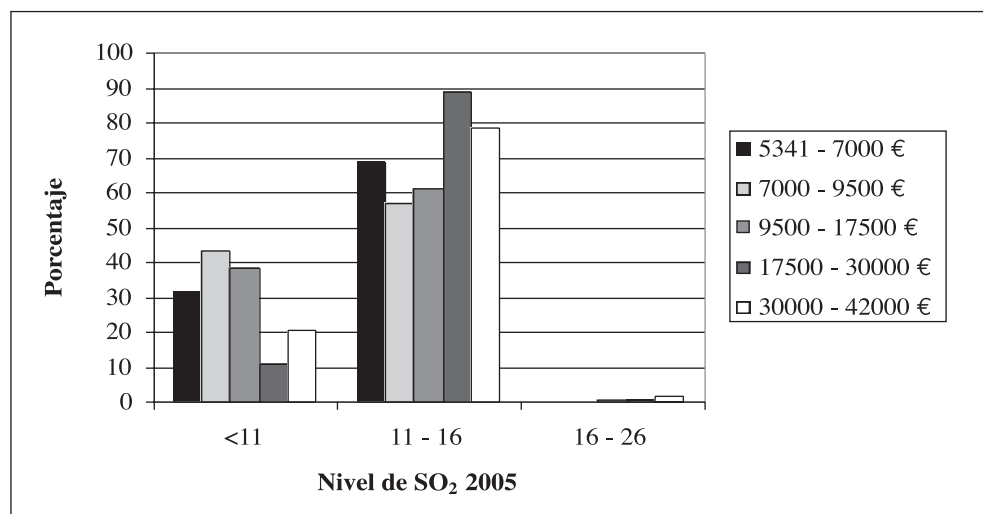
- En primer lugar se aprecia que los niveles más altos de contaminación (intervalo 16-26 µg/m<sup>3</sup>) no afectan a los grupos de renta inferiores y sí, aunque con escasa cuantía, a los de rentas mayores. Por tanto, la relación atisbada antes se manifiesta de nuevo, aunque con menor grado de polución y con porcentajes mucho más bajos que en 1995.
- En el intervalo de contaminación menor (< 11 µg/m<sup>3</sup>) los grupos más favorecidos son los de rentas bajas a medias, en tanto que los de rentas superiores tienen allí una menor presencia porcentual.
- En el intervalo de polución media merece destacar que son los dos grupos de rentas superiores quienes otra vez ostentan mayor presencia.
- Los coeficientes de asociación  $V$  (0,18) y  $\gamma$  (0,34) apenas varían respecto a 1995, manifestando la persistencia, aunque en disminución, de la relación positiva y media baja entre altas rentas y polución en Madrid.
- En resumen, parece confirmarse en Madrid la persistencia de una ligera mayor polución sobre las zonas habitadas por población de status económico más alto, en tanto que las de rentas más bajas disfrutaban levemente de una atmósfera con menos dióxido de azufre en 2005. Estos datos permiten desechar la hipótesis de una discriminación o injusticia ambiental contra los menos favorecidos.

**Tabla 7**  
 PORCENTAJES DE SUPERFICIE OCUPADA POR CADA ESTRATO DE RENTA PER CÁPITA 2000  
 SEGÚN NIVEL DE SO<sub>2</sub> 2005 MADRID

Renta p. c. € 2005	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 2005			
	<11	11-16	16 - 21	Total
5341 - 7000	31,39	68,61	0,00	100,00
7000 - 9500	43,07	56,93	0,00	100,00
9500 - 17500	38,11	61,22	0,68	100,00
17500 - 30000	10,85	88,68	0,47	100,00
30000 - 42000	20,41	78,14	1,44	100,00
Total Madrid	32,54	66,95	0,51	100,00
	V de Cramer = 0,18		γ de Goodman-Kruskal = 0,34	

Nota: en gris las celdas de cada columna excediendo en +2 puntos el valor porcentual de referencia para el conjunto de la ciudad (fila Total Madrid). Fte. Elaboración propia

**Figura 7**  
 DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR CADA ESTRATO DE RENTA  
 PER CÁPITA 2000 SEGÚN NIVEL DE SO<sub>2</sub> EN 2005, MADRID



Elaboración propia.

## VII. CONCLUSIONES

Medir de la manera más exacta posible la calidad del ambiente en el que vive la población y valorar la idoneidad del mismo para la especie humana (y otras especies) se ha constituido ya desde hace tiempo en un objetivo ampliamente aceptado social e institucionalmente. El escrutinio cada vez más riguroso de los cambios sobre el entorno, con demasiada frecuencia catalogables como efectos perjudiciales o perturbaciones severas para los equilibrios ecológicos, que la actividad humana ocasiona a corto y largo plazo catalizó, como primer paso, la eclosión de la conciencia sobre las amenazas que provocaban para la humanidad, otros seres vivos y el planeta en su conjunto. Las denuncias y reflexiones ulteriores han ido poniendo de relieve, además, que los impactos y riesgos no se reparten espacialmente de manera homogénea, ni son soportados de manera igualitaria por todos, sino que, a menudo recaen y penalizan sobremanera a ciertos lugares o grupos socio-espaciales. Las iniciales movilizaciones en pro de la justicia ambiental surgieron precisamente por la constancia de tal tipo de discriminación. Cuantificar cómo se reparten en el espacio, en el tiempo, entre especies, entre grupos sociales, etc. las «cargas» de las externalidades que colectivamente generamos en cada momento plantea un formidable y sugestivo frente para la indagación científica, de cara a obtener una «contabilidad» más completa del output derivado de los procesos de transformación y en qué medida los mecanismos de regulación, control e innovación operan: a) de manera efectiva, disminuyendo los niveles globales de tales externalidades, lo que es ya un paso importante; b) pero también, de manera imparcial o justa (espacial o socialmente), por cuanto los beneficios y perjuicios de las externalidades pueden ser discriminatorios.

En este estudio se ha desarrollado una aproximación a la medición de cómo un componente de la calidad ambiental, la concentración de dióxido de azufre atmosférico, contaminante común en los ámbitos urbanos que enrarece y degrada su aire, se cierne de manera desigual sobre las diversas zonas de Madrid discernibles según su nivel de renta. Esto es, se ha tratado de evidenciar si las zonas más ricas, las más pobres o las de capas medias son la que soportan los mayores o menores niveles de tal contaminante atmosférico, en dos momentos distintos separados diez años.

Los datos de partida mostraron la ya bien conocida e intensa reducción general de la concentración de dióxido de azufre en el aire de Madrid, derivada de unas políticas que avistaron la eliminación de una de las principales fuentes emisoras, la combustión de carbón para calefacción, aunque otras han subsistido. El patrón espacial de dicho contaminante ha mostrado diferencias dentro del espacio urbano, persistentes a lo largo del período decenal, con valores más elevados en el centro e interior y menores en la periferia.

Por su parte, los niveles de renta en Madrid presentan variaciones intraurbanas notables, con la contraposición social imperfecta entre norte y sur de la ciudad. Los cambios temporales en este caso, por la limitación de la fuente de datos a dos años próximos, no han podido ser rigurosamente examinados, lo que constituye un hándicap en nuestro trabajo. No obstante, la conocida inercia de los grupos socioespaciales y el corto período analizado, diez años, estimamos que no perturba seriamente las conclusiones alcanzadas.

Ante la principal cuestión abordada aquí, si aflora discriminación o injusticia ambiental, dados los patrones espaciales de la contaminación atmosférica por SO<sub>2</sub> y de renta poblacional, se ha podido evidenciar aquí los siguientes hechos.

En 1995 la calidad del aire (concentración de  $\text{SO}_2$ ) era particularmente peor en las zonas de nivel de renta superior, lo que entre otras razones cabe relacionar con la centralidad de muchas de estas zonas y con la persistencia en ellas de los focos de emisión de dióxido de azufre. Bajo tal premisa, cabría concluir que donde más se contaminaba, más se sufría los efectos, lo que se alinearía, a primera vista, con el principio de justicia ambiental. No obstante, y dada la habitual difusión de dicho contaminante por la atmósfera cercana, parece obvio sospechar la extensión de esa externalidad sobre zonas menos ricas, cuya contribución probablemente como emisores de  $\text{SO}_2$  sería menor. Tal hecho no se ha medido aquí, pero permite formular la hipótesis de una afección «importada» y soportada injustamente por las clases socio-espaciales menos ricas.

En 2005, el panorama de calidad atmosférica madrileña por  $\text{SO}_2$  había cambiado, con una mejora ostensible. Ello implicaba un beneficio general para todos los ciudadanos, evidente en varios índices estadísticos, por lo que cabe sostener que las consecuencias de las políticas de reducción de emisiones tuvieron un claro efecto «igualador», al nivelar mucho más que en 1995 los niveles de contaminación entre los distintos grupos socio-espaciales de renta. En suma, se propició una mejora en la «igualdad socio-ambiental». Desde la perspectiva más sutil de la justicia ambiental, el dictamen emitido para diez años antes se repetía, pues los niveles más elevados de contaminación por  $\text{SO}_2$  seguían afectando proporcionalmente más a las zonas con rentas más elevadas. Es decir, en este aspecto no se puede hablar de discriminación o injusticia contra los grupos menos pudientes en Madrid.

No obstante, y afinando un poco más en la interpretación de los datos, también cabe sostener que la mejora en la calidad atmosférico-ambiental ha sido algo mayor, i.e. favorable, en las zonas con mayores rentas. En efecto, si se comparan los valores medios de  $\text{SO}_2$  en 1995 y 2005 para los dos intervalos de renta más bajos se constata una reducción de unos  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aproximadamente. Dicho descenso para los dos grupos de renta más altos ascendía a 11,57 y 14,04 respectivamente lo que avalaría nuestro aserto. Ello significa un cambio proporcionalmente más benévolo para tales grupos, si bien para su consecución probablemente debieron asumir una parte importante del coste económico (el derivado del cambio de sistemas de calefacción basados en el carbón por otros más modernos), aunque no todo, puesto que gozaron de subvenciones públicas.

Como última reflexión, y desde una perspectiva más amplia, cabe reclamar una atención superior entre la comunidad científica y los expertos, para evaluar, como aquí se ha ensayado con resultados muy clarificadores, de manera penetrante y rigurosa, los beneficios y perjuicios de naturaleza socio-ambiental, a veces sumamente elusivos, de cara a posibilitar una toma de conciencia más ajustada del reparto de los mismos entre lugares y personas y a formular unas decisiones políticas mejor informadas y sustentadas. Ciertamente ello solo es posible, como en el caso estudiado, merced a la disponibilidad de datos apropiados y de tecnologías como los SIG, que hacen ya perfectamente factible el tratamiento ágil de dichos datos, como en este estudio se ha evidenciado.

## BIBLIOGRAFÍA

- AYUNTAMIENTO DE MADRID (2004): *El aire de Madrid, año 2004*. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Servicios a la Ciudad, 48 p. Disponible en: [http://www.mambiente.munimadrid.es/otros/contamina\\_frame.html](http://www.mambiente.munimadrid.es/otros/contamina_frame.html)
- AYUNTAMIENTO DE MADRID (2006): *Estrategia local del aire de la ciudad de Madrid 2006-2010*. Ayuntamiento de Madrid, 283 p. Disponible en: <http://www.mambiente.munimadrid.es/index1.html>
- BOSQUE SENDRA, J. 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.
- BRAINARD, J. et al. (2002): «Modelling environmental equity: access to air quality in Birmingham, England», *Environment and Planning A*, 34, 4, 95-716.
- CAÑADA TORRECILLA, R. (2006): «Técnicas de interpolación espacial deterministas y exactas: media ponderada por el inverso de la distancia y funciones de base radial», en MORENO JIMÉNEZ, A. (Coord.): *Sistemas y análisis de la información geográfica*. Madrid, Ra-Ma, 781-809.
- CUTTER, S. (1995): «Race, class and environmental justice», *Progress in Human Geography*, 19, 1, 111-122.
- DOBSON, A. (1998): *Justice and the environment*. Oxford, Oxford University Press.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (2005): «Contaminación atmosférica y calidad del aire en Madrid», *Estudios Geográficos*, 259, 507-532.
- FORKENBROCK, D. J. y SHEELEY, J. (2004): *Effective methods for environmental justice research*. Washington, Transportation Research Board.
- 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.
- HANDY, F. (1977): «Income and air pollution in Hamilton, Ontario», *Alternatives*, 6, 18-24.
- 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.
- LAKE, R. (1996): «Volunteers, NIMBYs, and environmental justice: Dilemmas of democratic practice», *Antipode*, 28, 2, 160-174.
- MOHAI, D. (1995): «The demographics of dumping revisited: examining the impact of alternate methodologies in environmental justice research», *Virginia Environmental Law Journal*, 14, 615-653.
- MORENO JIMÉNEZ, A. (1991): «Modelización cartográfica de densidades mediante estimadores Kernel», *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 30, p. 155-170.
- MORENO JIMÉNEZ, A. (1995): «La medición de externalidades ambientales: un enfoque espacio-temporal», *Anales de Geografía de la Universidad Complutense. Homenaje al prof. Joaquín Bosque Maurel*, 15, 485-496.

- MORENO JIMÉNEZ, A. (2003, 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, 185 p. Disponible en: <http://www.madrid.org/iestadis/gazeta/publicaciones/iesparentano.htm>
- MORENO JIMÉNEZ, A. (2004): *El ruido en Madrid. Aproximación geográfica a la evaluación cuantitativa de su impacto sociodemográfico*. Madrid, Dpto. de Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid, 102 p. (inédito).
- MORENO JIMÉNEZ, A. (2007): «¿Está equitativamente repartida la contaminación sonora urbana? Una evaluación desde el principio de justicia ambiental en la ciudad de Madrid», *Estudios Geográficos*, 29 p. (en prensa)
- 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 *La distribución espacial de la renta en la Comunidad de Madrid. Análisis y aplicaciones* (Moreno Jiménez, A., Dir.). Madrid, Instituto de Estadística, Consejería de Economía e Innovación Tecnológica, 153-176. Disponible en: <http://www.madrid.org/iestadis/gazeta/publicaciones/iesparentano.htm>
- WENZ, P. S. (1988): *Environmental justice*. New York, State University of New York Press.