

Población y polución atmosférica intraurbana por dióxido de nitrógeno en Madrid: análisis desde la justicia ambiental basado en Sistemas de Información Geográfica¹

ANTONIO MORENO JIMÉNEZ² ✉

Recibido: 30/07/2012 | Aceptado: 24/04/2013

Resumen

Desde hace unos años la problemática de la justicia ambiental está cobrando un notable protagonismo. La evaluación de situaciones o actuaciones desde ese principio demanda métodos depurados que determinen qué grupos sociales, cómo, dónde, cuándo, cuánto, etc. reciben beneficios o perjuicios de carácter ambiental sin contrapartida alguna (externalidades espaciales). Ante ese reto, en esta contribución se aplica una metodología, probada en estudios previos, que combina sistemas de información geográfica y técnicas estadísticas y gráficas para ello. Se presenta aquí el caso de la ciudad de Madrid, escenario sobre el que se mide en qué grado varios grupos sociodemográficos sufren una exposición potencial a la polución atmosférica por dióxido de nitrógeno igual o diferente que el conjunto de la población (norma de referencia). El análisis se basa en un test de bondad de ajuste (χ^2) y un diagrama o balanza de la justicia ambiental, que posibilitan verificar la hipótesis de equidad / inequidad. Los resultados confirman que en Madrid ciertos grupos sociodemográficos están, en proporción, más penalizados ambientalmente que otros según su lugar de residencia.

Palabras clave: justicia ambiental, contaminación urbana, sistemas de información geográfica, Madrid.

Abstract

Population and Nitrogen Dioxide Urban Air Pollution in Madrid: A GIS Based Environmental Analysis

The environmental justice issues are increasing its relevance in recent years. The assessment of spatial situations or actions from the environmental justice principle entails accurate methods to determine what social groups, how, where, when and how much receive benefits or charges without any compensation, as spatial externalities. Facing this challenge, in this contribution a previously experimented method combining GIS, and statistical and graphical techniques, is

1. Esta investigación se ha desarrollado dentro de un proyecto de cooperación (2011-12) entre España y América Latina, promovido por la Universidad Autónoma de Madrid y el Banco de Santander. Por su inestimable colaboración se desea agradecer la labor de las Dras. Rosa Cañada y María Jesús Vidal, elaborando datos en fases previas del proyecto. Al Ldo. Pedro Martínez Suárez se reconoce el valioso trabajo de tratamiento de datos con programas informáticos. Finalmente, se agradecen las sugerencias de los evaluadores anónimos que han permitido mejorar el original

2. Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid. España. antonio.moreno@uam.es

applied to determine this end. The city of Madrid case study is presented, looking to ascertain to what extent several population groups suffer an environmental exposure to nitrogen dioxide equal or different than the observed for total population (taken as reference). The analysis is based on a goodness of fit test (χ^2) and the graph of environmental justice allowing verifying the equity / inequity hypothesis. The results confirm that some sociodemographic groups in Madrid are more environmentally punished than others, according to their place of residence.

Keywords: environmental justice, urban pollution, geographical information systems, Madrid

Resumé

Population et pollution urbain par dioxyde de nitrogène à Madrid: une analyse de la justice environnementale avec systèmes d'information géographique

Les dernières années la question de la justice environnementale est devenue plus en plus relevant. L'évaluation de situations ou actions du point de vue de la justice environnementale demande de méthodes raffinées permettant d'établir quels groupes sociaux, comment, quand, combien, etc. reçoivent bénéfiques ou damages sans compensation, comme externalités spatiales. Visant ce challenge, dans cet article on applique une méthode, préalablement essayé par l'auteur, intégrant systèmes d'information géographique et techniques statistiques et graphiques pour ce but. L'étude de cas de la ville de Madrid est présenté, envisageant d'éclaircir en quel mesure quelques groupes de population ont une exposition environnementale au dioxyde de nitrogène égale ou différente au niveau observé pour la population totale (pris comme référence). L'analyse utilise un test d'ajustement (χ^2) et el graphique de la justice environnementale qui permettent vérifier l'hypothèse d'équité / in-équité. Les résultats confirment que quelques groupes de population à Madrid sont plus pénalisés que d'autres, selon leur lieu de résidence.

Mots-clés: justice environnemental, pollution urbaine, systèmes d'information géographique, Madrid

1. Introducción

La interacción entre población y medio ambiente constituye uno de los frentes de indagación permanentes por las implicaciones que tal relación ocasiona. Las perspectivas y objetivos de los estudios han sido muy diversos, si bien el principio de sostenibilidad / sustentabilidad aparece como el dominante, tanto en las indagaciones científicas, como en las preocupaciones políticas. Junto a dicho principio, otro más reciente y muy prometedor, es el que pone el acento en la justicia ambiental, el cual está impulsando la evaluación de situaciones o procesos que pueden generar inequidades (*vid.* Bowen, 2002), las cuales, por involucrar a esos dos componentes, deberían calificarse de socio-ambientales, aunque en la bibliografía se ha popularizado la expresión más escueta de (in)justicia ambiental.

Dicho concepto, emergido hace ya algunos años a raíz de situaciones claramente lesivas para algunos grupos sociales (especialmente de ciertas razas), que dieron lugar a una conflictividad creciente, alcanzó notoriedad y protagonismo merced a los movimientos ciudadanos que buscaban eliminar los perjuicios ambientales (externalidades negativas) sufridos por los residentes en ciertos lugares, sin mediar contraprestación alguna. En esencia, se trataba de afecciones de intensidad más o menos severa que repercutían directamente en la calidad de vida, bienestar o

salud humanos. Como se ha descrito en otro lugar (Moreno, 2010) este principio ha ido ganando presencia en el ámbito político-administrativo, debido a que algún país desarrollado (*e. g.* los EEUU) exige evaluar sus políticas federales desde este punto de vista y en otros, como en la UE, se está priorizando cada vez más su toma en consideración. Parece evidente que la meta última de la aplicación de este concepto en los procesos de toma de decisiones espaciales avistaría a la eliminación de tal tipo de injusticias a través de cauces varios, bien de carácter político-administrativo, *i.e.* regulando la evaluación *ex - ante* de los proyectos de actuación para no ocasionar discriminaciones de esa índole (*vid.* Hervé, 2010), bien a través de la acción colectiva (*vid.* Schlosberg y Carruthers, 2010; Nweke y Lee, 2011).

Así mismo, un notable impulso se está apreciando en el ámbito académico donde en los últimos años cada vez más investigadores están desarrollando debates y propuestas teóricas (*e.g.* Schlosberg, 2004; Brulle y Pellow, 2006; Walker y Bulkeley, 2006; Boone, 2008; Elvers *et al.* 2008; Blanchon *et al.*, 2009; Gotlieb, 2009; Wilson, 2009; Wakefield y Baxter, 2010; Arriaga y Pardo, 2011; London *et al.*, 2011; Abara *et al.* 2012), junto con un creciente número de trabajos metodológicos y empíricos sobre este tipo de problemas.

Ello no obstante, la evaluación rigurosa de tales inequidades está en sus comienzos, como críticamente ha señalado Mitchell (2011), debido a problemas diversos: carencia y limitación de datos, métodos imperfectos, etc. En esta contribución, enmarcada dentro de una línea de indagación desarrollada en equipo desde hace varios años, se pretende exponer un procedimiento para aproximarse a la estimación de las inequidades ambientales que en el espacio intraurbano emergen, como resultado de, por un lado, la desigual distribución espacial de los grupos de población (derivada de procesos variados de segregación socio-demográfica) y, por otro, de las diferencias que en la calidad del ambiente atmosférico dentro de la ciudad se generan a partir de los numerosos procesos de producción y consumo allí desplegados y que impactan sobre las condiciones del aire. No entra en los objetivos de este trabajo ni siquiera enumerar tales procesos, que han sido objeto de amplios análisis, sino solamente abordar cómo las situaciones o estados en ambos componentes pueden provocar inequidades, en el sentido de que ciertos grupos se vean expuestos a condiciones atmosférico-ambientales adversas o propicias. Más concretamente, se persigue analizar el grado en que afloran asociaciones espaciales claras entre superiores niveles de polución atmosférica y presencia de ciertos grupos demográficos, en el interior de la ciudad. A tal fin, se aborda el examen conjunto de la distribución espacial de un indicador de polución (el dióxido de nitrógeno) y del patrón intraurbano de algunos grupos de población especialmente vulnerables. La intención del estudio es doble, pues aparte de diagnosticar un caso de estudio concreto, la ciudad de Madrid, se busca formalizar y difundir una metodología que ha sido expuesta y aplicada en trabajos anteriores (*vid.* Moreno, 2007 y 2010) para evaluar el grado de inequidad ambiental intraurbana, partiendo de fuentes de información comunes en muchos países.

2. Antecedentes y estado de la cuestión

Las investigaciones sobre inequidades ambientales han considerado una diversidad de amenazas, peligros, polución, etc. a la hora de determinar su desigual reparto o “carga” entre grupos sociales. Respecto al primero de los componentes del problema se han considerado a menudo externalidades provenientes de actividades humanas, tales como peligros o emisiones (*e. g.* Chakraborty y Armstrong, 1997; Bosque *et al.*, 2001-02) y ocasionalmente amenazas o rasgos físico-naturales (*e. g.* Moreno y Fernández, 2003; Vásquez y Salgado, 2009; Wilson *et al.* 2010). El problema con-

creto de establecer la magnitud de la polución atmosférica en un lugar está siendo abordado desde enfoques bastantes diferentes en los que se consideran aspectos tales como las emisiones y su dispersión, las inmisiones solamente, el carácter fijo o móvil de los focos de emisión, la escala espacial (desde la calle hasta la global), las dimensiones del espacio (2D / 3D), etc. Ello está generando un abanico variado de modelos de estimación o interpolación espacial (*vid.* especialmente Daly y Zannetti, 2007; de Mesnard, 2012; Wang *et al.* 2008, o el portal del Danish Centre for Environment and Energy, www.dmu.dk/en/air/models/).

Así mismo, y desde el lado de la población afectable, la compleja medición de la exposición que soporta está concitando notables esfuerzos metodológicos, dadas las repercusiones que sobre la salud y el bienestar humano puede causar (*vid.* Isakov *et al.* 2009; Jerret *et al.* 2005; Mckone *et al.* 2009; Ozkaynak *et al.* 2008; Wheeler *et al.* 2008; Zou *et al.* 2009; y Zou, 2010). En relación con el componente humano se han contemplado categorías de población distintas para determinar su desigual exposición potencial a emisiones o agentes ambientales o la afección que pueden ocasionar bajo la forma de malestar sentido, problemas de salud (*vid.* Bolte *et al.* 2011), etc. En el ámbito norteamericano, la sensibilidad y consecuente prioridad político-social a la discriminación asociada a la raza y etnia ha fomentado una primacía de este tipo de criterios de clasificación de la población a la hora de analizar posibles injusticias socio-ambientales. Véanse, entre otros muchos ejemplos, los trabajos de Bullard (1983) y Buzzelli y Jerrett (2004). Allí, y también en otros países donde esa problemática étnico-racial es menos importante, el nivel de renta, el estatus socioeconómico, la vulnerabilidad o algún índice de privación social se han constituido en criterios preferentes para dilucidar la eventual existencia de tales inequidades. La cuestión más indagada en tal caso suele ser examinar si los grupos más desfavorecidos o vulnerables socialmente, también lo son ambientalmente, lo que, de corroborarse, agravaría su penosa situación generando un síndrome de discriminación doble (social y ambiental). Como ejemplos recientes de estos estudios pueden citarse los de Evans y Kantrowitz (2002), Maranville *et al.* (2009). En otros casos se ha abordado la problemática considerando clasificaciones de la población basadas en distintos criterios. Los trabajos de Brainard *et al.* (2002 y 2003) son ejemplos de esos exámenes pormenorizados de la exposición a gases atmosféricos y al ruido en Birmingham por parte de la población categorizada por raza / etnia, edad, estatus socioeconómico y nivel de privación.

Para el caso específico de la ciudad de Madrid, Moreno (2007) abordó el diagnóstico de la inequidad acústico ambiental respecto al nivel de renta per cápita de la población. Moreno y Cañada (2007) y Cañada *et al.* (2011) estudiaron el problema, considerando la exposición de distintos grupos de renta per cápita al dióxido de azufre y a las partículas en suspensión en la atmósfera respectivamente. En estos casos, la variable medida para evaluar la posible inequidad fue el área urbana ocupada por cada nivel de renta y de polución, por lo que no se computaron datos de población afectable.

Dada la variedad de patrones espaciales ocasionados por los procesos de diferenciación socio-demográfica, según lugares y escalas del territorio, no debe sorprender que la confirmación de la hipótesis de inequidad ambiental sea también desigual. Los análisis empíricos han constatado ámbitos donde aparece y otros donde no, por lo que parece necesario asumir la conveniencia de un escrutinio sistemático de esta problemática en diversas escalas y supuestos, de suerte que se conozca su alcance y características, como paso previo a las actuaciones.

En el contexto de un plan de investigación plurianual aquí se pretende exponer un caso de estudio para el que se ha seleccionado una serie de grupos sociodemográficos en la ciudad de Madrid

(España), especialmente proclives a sufrir privaciones y sensibles a las adversidades ambientales, avistando determinar su grado de exposición potencial a los niveles de polución atmosférica por NO₂. Con ello se pretende: a) ilustrar las potencialidades de la aplicación de este tipo de análisis, que requiere una integración de datos, técnicas estadísticas y sistemas de información geográfica para su resolución eficaz, b) difundir herramientas eficaces, ya probadas en anteriores trabajos del autor, y c) evaluar la situación de tales grupos en la mencionada ciudad y en un año concreto.

3. Métodos y datos

3.1. Área de estudio y fuentes de datos

El ámbito de análisis se corresponde con la ciudad de Madrid, que en el año 2010 poseía una población de 3.273.049 habitantes (según el Padrón Municipal de Habitantes, PMH). Ahora bien, dado el objetivo de medir, de la forma más exacta posible, la exposición potencial de la población al ambiente atmosférico, surge un problema conceptual y metodológico de cierta envergadura, puesto que la movilidad habitual de la población hace imposible disponer de un registro microgeográfico de su exposición al ambiente. La alternativa más frecuente, pese a las evidentes limitaciones y críticas, es referir la población a su domicilio habitual y considerar de manera bastante simple que las condiciones ambientales de tal entorno le son de aplicación. No puede obviarse que esta aproximación dista de dar una representación satisfactoria de la exposición ambiental, pues la vida humana, como es sabido, discurre por lugares (de trabajo, estudio, ocio, etc.) cuyo ambiente atmosférico es muy diferente del que posee su vivienda. A falta de otras opciones mejores se adoptó operativamente dicho criterio, a sabiendas de que este será uno de los frentes de mejora que en el futuro habrá de acometerse en este tipo de diagnósticos a escala urbana.

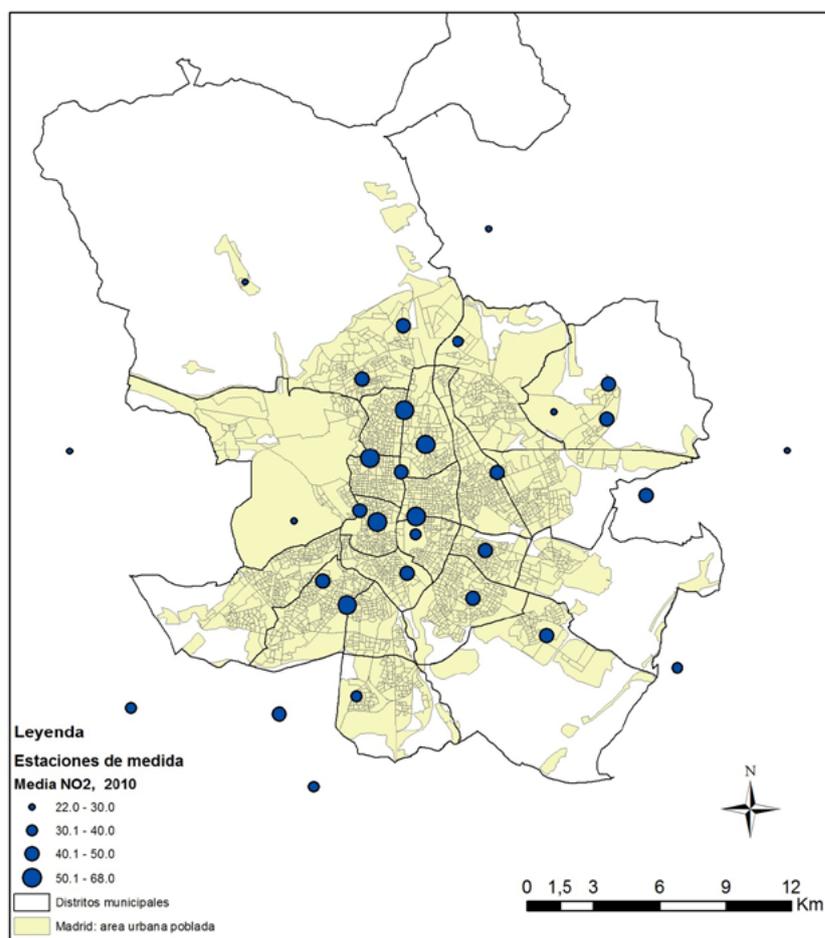
Asumido tal criterio de referencia espacial para los residentes, persiste aún el problema de situar las viviendas y la población dentro de la ciudad, cuestión que, según la disponibilidad de datos, puede ser abordada de formas variadas. En el presente caso se adoptaron fuentes bastante comunes en la actualidad y un procedimiento que combina efectividad y eficiencia razonables. La mezcla de múltiples usos del suelo en el espacio urbano y la desagregación de los datos demográficos por unidades espaciales pequeñas condicionan la exactitud. Respecto al primero de los problemas, a partir de diversas fuentes (Corine Landcover 2006 e imágenes aéreas más recientes del propio Ayuntamiento de Madrid) se realizó una identificación de zonas no urbanas y claramente no residenciales, que en consecuencia fueron excluidas del área estricta de estudio. Respecto al segundo, se adoptó la unidad espacial más desagregada que en los Censos de Población de España se dispone: las secciones censales³. Estas son pequeñas divisiones espaciales para gestión de la información estadística que contienen habitualmente entre 1000-2000 habitantes, por lo que facilitan un detalle bastante notable de todas las variables demográficas. Estas operaciones de tratamiento de geodatos (capas vectoriales) de usos del suelo (el mencionado Corine Landcover) y de las secciones censales se apoyaron en la tecnología SIG (ArcGIS). El Mapa 1 muestra el ámbito estricto de estudio, calificable como área urbana poblada (AUP), y la geometría de las secciones censales en el municipio de Madrid.

3. Consta que en ciertas regiones del país hay disponibilidad de información por edificio, o incluso por vivienda, y que ha sido utilizada en algunos estudios, si bien parece predominar todavía la sección censal como unidad de desagregación espacial más detallada, razón por la cual aquí se ha elegido esta partición.

La determinación de qué *grupos sociodemográficos* procede examinar desde la óptica de las posibles inequidades ambientales constituye otro punto conceptualmente importante. Idealmente es posible contemplar una amplia variedad de criterios para segmentar grupos poblacionales y establecer luego su patrón o impronta espacial. En este estudio, priorizando criterios de privación y vulnerabilidad se seleccionaron algunos grupos concretos:

- Según la edad, los niños (hasta 4 años) y los ancianos (80 años y más) resultan, por sus rasgos biológicos, más sensibles a las agresiones ambientales.
- En cuanto a nivel de instrucción, cabe presumir que las capas con menor nivel posean una menor conciencia, aptitud y competencia para la autoprotección frente al ambiente, a la par que suelen asociarse a menores rentas. Los indicadores para representar este rasgo se construyeron a base de dos grupos: por un lado la población con bajo nivel de instrucción (no sabe leer ni escribir, sin estudios y enseñanza primaria incompleta) y por otro la de alto nivel (diplomados universitarios, licenciados, ingenieros, arquitectos, doctorado o estudios de post-grad), elegida para contraste; en todo caso estos dos grupos se circunscribieron al intervalo de adultos entre 30 a 59 años, por limitaciones en la fuente.

Mapa 1. Municipio y zona de estudio (área urbana poblada) de Madrid, con las secciones censales y las estaciones de vigilancia de la calidad del aire usadas*



* El tamaño de los puntos de las estaciones está graduado según el valor medio registrado de NO₂ atmosférico en 2010.

Fuente: Elaboración propia.

- Los inmigrantes extranjeros por razones económicas, provenientes de países menos desarrollados que la UE y que se insertan en la base de la pirámide laboral, conforman otro colectivo que, aunque dispar según la procedencia, cabe hipotetizar que sufran privaciones y sean menos conscientes de los problemas de calidad ambiental. Para detectar las posibles variaciones dentro de este heterogéneo conjunto se conformaron varios subgrupos según procedencia, dada la notoria tendencia a la coalescencia y segregación que varios de ellos exhiben en el interior de las ciudades. Así se han distinguido cuatro grupos: los procedentes de América Central y del Sur, los africanos (sobre todo del Magreb y África subsahariana), los asiáticos (principalmente de China) y los europeos no pertenecientes a la Unión Europea (países de Europa del Este).

Como fuente, y puesto que el Censo de Población disponible databa de 2001, y por tanto resultaba anacrónico, se recurrió al Padrón Municipal de Habitantes (España) del Ayuntamiento de Madrid⁴, un registro que ofrece muchas menos variables, aunque actualizadas de forma continua y publicadas anualmente. La fecha de referencia de los datos es el 1 de enero de 2011, excepto los de migrantes, que debió ser el 1 de enero de 2010, por inexistencia de otros más recientes.

Metodológicamente los datos demográficos se han tratado en una primera fase con sistemas de información geográfica y una variada gama de técnicas estadísticas (índices de desigualdad, segregación, concentración, centralidad y autocorrelación espacial), de cara a obtener una caracterización de las formas como se reparten tales grupos dentro del espacio intraurbano madrileño. Es decir, se trató de desvelar sus patrones espaciales⁵.

Entre la amplia gama de aspectos que intervienen y definen la *calidad atmosférica ambiental* de una ciudad se ha elegido el dióxido de nitrógeno (NO₂) por ser un contaminante que concierne y altera de manera importante el aire urbano. Este gas proviene en su mayor parte de la oxidación del NO, cuya fuente principal son las emisiones provocadas por los automóviles. El NO₂ es así un buen indicador de la contaminación debida al tráfico rodado. El dióxido de nitrógeno interviene en diversas reacciones químicas atmosféricas, dando lugar a la formación de ozono troposférico o de partículas en suspensión inferiores a 2,5 micras (PM_{2,5}), las más dañinas para la salud. El dióxido de nitrógeno, al inhalarse, afecta al tracto respiratorio, inhibiendo algunas funciones de los pulmones y produciendo merma en la resistencia a las infecciones. Los niños y los asmáticos son los más afectados por exposición a concentraciones agudas de NO₂. Igualmente la exposición continuada a bajas concentraciones se ha asociado con un incremento en las enfermedades respiratorias crónicas, con el envejecimiento prematuro del pulmón y con la disminución de la capacidad pulmonar.

Los datos usados corresponden al valor promedio observado de NO₂ durante el año 2010, calculado a partir de la información ambiental de la Red Automática de Vigilancia de la Calidad Atmosférica del Ayuntamiento de Madrid, de la que se han utilizado 24 estaciones desplegadas por diversas zonas de la ciudad y otras 8 estaciones de la red de la Comunidad de Madrid (gobierno regional), sitas en municipios del entorno próximo, para completar la información de partida (*vid.* Mapa 1). Conviene recordar aquí que el nivel medio admisible por la Organización Mundial de la Salud (s.f.) se sitúa en 40 µgr/m³.

4. Se agradece a la Dirección General de Estadística del Ayuntamiento de Madrid, su colaboración para facilitar los datos utilizados en este estudio.

5. Para un análisis más completo de esta parte véase el documento de Vidal y Palacios (2012), a quienes se agradece los resultados aportados para este artículo.

3.2. Integración y pre-proceso de datos

La información recién descrita es susceptible de integrar en la base de datos de un SIG estándar mediante un modelo de datos vectorial, adoptando los objetos poligonales para las secciones censales (acotadas al AUP) y los puntos para las estaciones de registro de contaminantes. Ahora bien, dado que los valores de NO₂ recogidos en las 32 estaciones conforman una muestra espacial, ha sido preciso realizar un proceso de estimación para arribar a una caracterización completa del ámbito estricto de estudio (la AUP). Para ello se ensayó el empleo de dos tipos de interpoladores: el Kriging ordinario y la media ponderada por el inverso de la distancia (IDW, *Inverse distance weighting*) con ArcGIS Spatial Analyst. Tras diversos ensayos, y valorando los errores (RMS) y las amplitudes de los valores interpolados, pareció más aceptable el resultado con el segundo método y con él se generó una capa raster (grid) con las medias estimadas de NO₂ para todo el municipio a una resolución de 50 m. Dicha capa, fue luego “recortada”, para ajustarla al área urbana poblada (AUP)⁶.

A partir de esta fase se cuenta con dos capas co-extensivas, una vectorial, la de secciones censales con los datos demográficos, y otra raster, la interpolada con los datos de polución. Dilucidar ahora a qué nivel de contaminación está potencialmente expuesta la población puede resolverse por varias vías, las cuales poseen grados desiguales de eficiencia y exactitud. En el presente caso, y con el objetivo de maximizar la exactitud en los tratamientos subsiguientes, se optó por convertir a raster la información demográfica, para hacerla totalmente consistente con la capa interpolada. La lógica del procedimiento fue repartir la población (y los grupos demográficos seleccionados) de cada sección de forma homogénea entre los píxeles que ella contiene. Aunque ello conlleva unos pequeños errores de imprecisión, dado el tamaño del píxel y otras inexactitudes del método general, se consideraron aceptables.

3.3. Técnicas para evaluar la equidad ambiental

Establecida así la compatibilidad entre los datos espaciales de población y de polución, se planteó cómo examinar qué cantidad (absoluta y relativa) de población (total y de los grupos demográficos) estaba expuesta a qué niveles de polución por NO₂ y si de ello se podían inferir inequidades ambientales. Las técnicas utilizadas para responder a esas cuestiones han sido eminentemente dos: la prueba χ^2 de una muestra, perteneciente al tipo de la bondad de ajuste (*vid.* Siegel, 1970: 64-69; Ruiz-Maya *et al.*: 75-77), y el diagrama o balanza de justicia ambiental descrito en Moreno (2010). La primera de ellas es un conocido test de independencia mediante el cual se trata de comprobar la hipótesis nula, H₀, de que la exposición de un grupo de población a los distintos niveles de NO₂ atmosférico es idéntica a la que tiene el conjunto de la población residente, o lo que es lo mismo que las dos distribuciones de frecuencias (la del grupo y la del total) por niveles de NO₂ son similares. La hipótesis alternativa, H₁, supone lo contrario, es decir, que son diferentes, lo que implicaría que dicho grupo posee una exposición, bien menor, bien mayor que la de la población total. En tal caso, la interpretación de los resultados (diferencias entre las frecuencias y proporciones observadas y esperadas, bajo el supuesto de independencia) permitiría dictaminar acerca de la existencia de inequidad.

El diagrama o balanza de la justicia ambiental se construye precisamente a partir de las diferencias proporcionales entre la distribución observada y la teórica, es decir, exhibe visualmente en qué grado (porcentaje) la frecuencia observada del grupo de población en cada uno de los dos

6. Estos tratamientos fueron realizados con la colaboración de R. Cañada (2012), a quien manifiesto mi agradecimiento.

niveles de NO₂ coincide o se aleja de la norma de referencia (la población total), permitiendo así una apreciación clara y directa de las posibles desigualdades para cada grupo. La analogía de este gráfico con el reconocido icono de la justicia facilita su comprensión.

En resumen, en ambos casos el enfoque de evaluación adoptado consideró como referencia a la población total residente, de manera que si la exposición potencial de un grupo de población concreto a niveles altos de NO₂ fuese proporcionalmente mayor que la de la población total de la ciudad, entonces cabría hablar de discriminación negativa e inequidad. No la habría, en caso de similar nivel de exposición. En el supuesto, también verosímil, de que dicho grupo tuviese una exposición proporcionalmente menor que el conjunto de la población a la alta polución, entonces cabría calificar su situación de ambientalmente privilegiada o favorable para tal grupo. Nótese que de lo que se trata es de medir una hipotética asociación espacial entre fenómenos sociales y ambientales (no una relación de tipo causal o explicativo).

A estos efectos se hubo de computar y confrontar las cifras de población (total y de los distintos grupos) para los dos intervalos de polución significativos (por encima y por debajo del nivel crítico de 40 µgr/m³), y obtener las correspondientes tablas de distribución de frecuencias (con la población total y de cada grupo). A estos efectos los programas usados han sido un SIG (ArcGIS), un sistema estadístico (NCSS) y Excel.

Para obtener esas distribuciones de frecuencias se desarrolló un protocolo procedimental con ArcGIS que puede resumirse en estos pasos:

- Reclasificación de los valores de la capa interpolada de NO₂ para el área urbana poblada (AUP) en dos intervalos separados por el valor medio anual máximo recomendado por la OMS (40 µgr/m³). La capa resultante será una de las necesarias para realizar en el paso 3 la tabulación cruzada entre pares de capas.
- Obtención de capas raster conteniendo en cada pixel la población total y de los grupos seleccionados. Éstas se usarán también en las tabulaciones cruzadas del paso 3. La generación de estas capas raster de población requirió estas operaciones:
 - a) Elaborar una capa raster con el número de píxeles de cada sección censal (AUP), a partir de dos capas previas, una con los códigos de las secciones y otra con datos binarios (0/1) delimitando la AUP.
 - b) Conversión a raster de la capa vectorial de secciones censales (AUP), asignando a los píxeles las cifras de población (total y de cada uno de los grupos estudiados) contenidas en su tabla de atributos. Se generaron tantas capas raster como grupos de población examinados, tal como se ha justificado previamente.
 - c) Creación finalmente de capas raster con la cifra de habitantes por píxel, mediante cociente (calculadora raster) entre las capas generadas en las etapas previas (a y b). Con ello se obtiene una capa para la población total y otras tantas para cada uno de los grupos socio-demográficos. Con ellas es posible realizar ya estadísticas de datos de población por niveles de polución.
- Obtención de tablas de frecuencias, conteniendo el recuento de la población (total y de cada uno de los distintos grupos) en los dos intervalos de polución (mediante la operación *Zonal statistics* de ArcGIS).

Una vez generadas dichas tablas para todos los grupos de población considerados (véanse en el Anexo), se ejecutaron sobre ellas los siguientes tratamientos estadístico-gráficos que permiten evaluar la situación de equidad ambiental:

- Aplicación del test de la χ^2 para comprobar la similitud entre la distribución de frecuencias del grupo X y la de la población total (asumida como de referencia) con un programa estadístico (NCSS). Obtenidos el valor del estadístico de contraste y el p-valor (probabilidad de ocurrencia del valor del estadístico, suponiendo independencia), se concluiría acerca de la aceptación de H_0 o de su alternativa, H_1 .
- Obtención de la desviación en puntos porcentuales de la distribución de frecuencias del grupo X respecto a la de la población total (norma de referencia) para apreciar el grado en que dicho grupo se aleja de la equidad ambiental.
- Construcción, con tales diferencias, del diagrama de la balanza de la justicia ambiental (con Excel), mostrando si un grupo dado está penalizado o beneficiado (*i.e.* expuesto potencialmente) en términos proporcionales por el nivel de polución ambiental de su lugar de residencia.

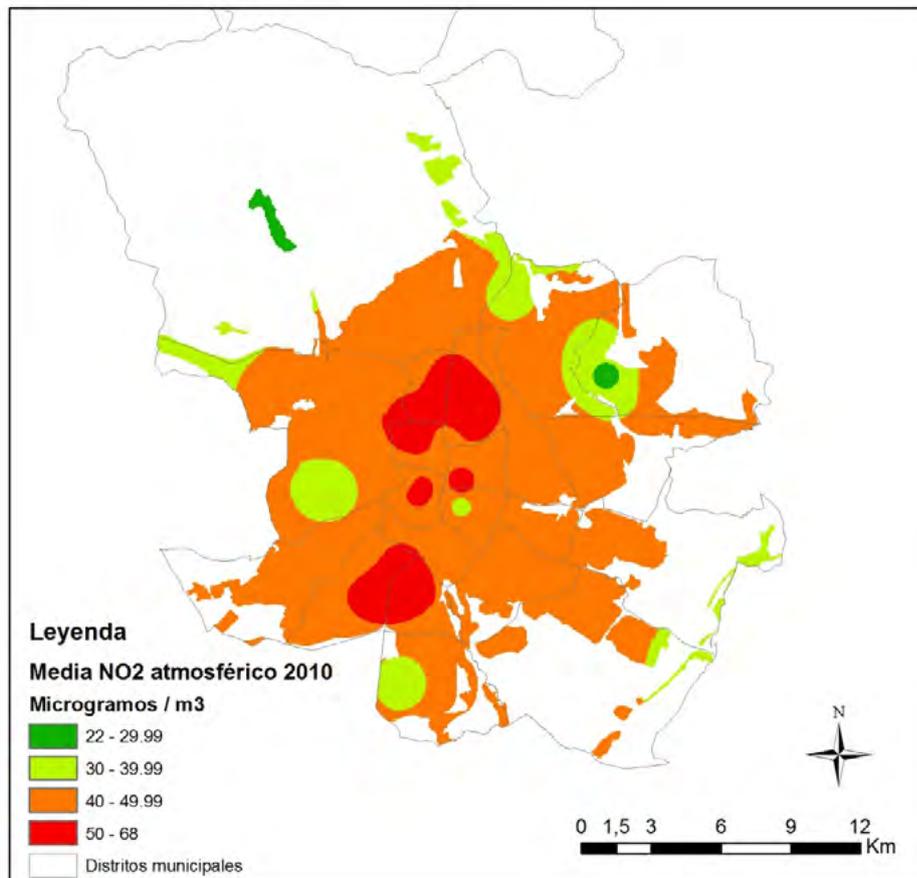
4. Análisis de resultados

De los resultados obtenidos, se presentarán aquí en primer lugar y brevemente los patrones espaciales de las variables socio-demográficas y ambientales consideradas y, en segundo, la evaluación de las relaciones estadísticas entre ellas, susceptible de ser interpretada en términos de (in)justicias ambientales. La valoración de dichas relaciones posibilitaría considerar eventuales acciones o políticas encaminadas a corregir las inequidades observadas.

4.1. El patrón espacial de polución atmosférica por NO_2 en Madrid

Los valores estimados para 2010 de concentración de NO_2 en la atmósfera de la zona urbana poblada arrojan un promedio de 44,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La vista del mapa interpolado (Mapa 2) denota que la mayor parte del espacio está por encima del valor crítico de 40. Cifras superiores a 50 aparecen en la parte central y meridional, formando áreas de notable extensión. Por su parte, los niveles admisibles se caracterizan por una localización eminentemente periférica, configurando áreas más o menos amplias. En el interior de la ciudad las manchas de calidad aceptable se vinculan a espacios verdes (Parque del Retiro en el centro o el Parque de la Casa de Campo, al W). De este sucinto panorama se desprende que, en general, Madrid soportó en ese año una calidad atmosférica inadecuada por lo que a este contaminante se refiere, y que ello ha de afectar a una amplia mayoría de residentes y visitantes. A la luz de lo expuesto cabe anticipar que las desigualdades entre grupos sociodemográficos en su exposición al ambiente de baja calidad no podrán ser muy grandes, pues los ámbitos satisfactorios son espacialmente reducidos.

Mapa 2. Concentración media de dióxido de nitrógeno en la atmósfera de Madrid, 2010 (en $\mu\text{gr}/\text{m}^3$)
estimada mediante interpolación con el método IDW



Fuente: Elaboración propia.

4.2. Los patrones espaciales de los grupos sociodemográficos en Madrid

El segundo de los componentes que condiciona las divergencias comparativas respecto al total de la población es la forma como se distribuyen los efectivos de cada grupo en el interior de la ciudad. La larga tradición de análisis sobre ello ha desvelado patrones distintos y bien definidos según los atributos considerados. Para el caso que nos ocupa ello sucede también, tal como se ha puesto de manifiesto en un estudio sobre el tema en Madrid (*vid.* Vidal y Palacios, 2012), en el que se han aplicado diversos índices de segregación caracterizando ese reparto espacial (Cuadro 1). En concreto, el criterio de grupos de edad arroja que los mayores de 80 años divergen más que los de 0-4 años en su distribución espacial, respecto a la del total de población, y poseen mayor centralidad, lo que permite anticipar una exposición a la contaminación “distinta” también. Los grupos de adultos (30-59 años) de bajo y alto nivel de instrucción aparecen con una segregación algo más acusada (según el índice IS de Duncan y Duncan) y con cierta concentración espacial (índices de Gini y delta de Duncan); además, los segundos se hallan algo más centrales. En el caso de los inmigrantes, los asiáticos, seguidos de los africanos son los más segregados, concentrados y centralizados; tras ellos, y en este orden, se sitúan los europeos y los de América Central y Sur. De nuevo, y por estas razones, cabe esperar diferencias en la exposición, y por tanto en la equidad ambiental, sobre todos para los primeros. En el Mapa 3 se muestran para Madrid las densidades de población total y de los grupos examinados. Son patentes las discordancias espaciales entre los

grupos de niños y mayores, entre los adultos de alto y bajo nivel de instrucción, así como entre los colectivos de inmigrantes.

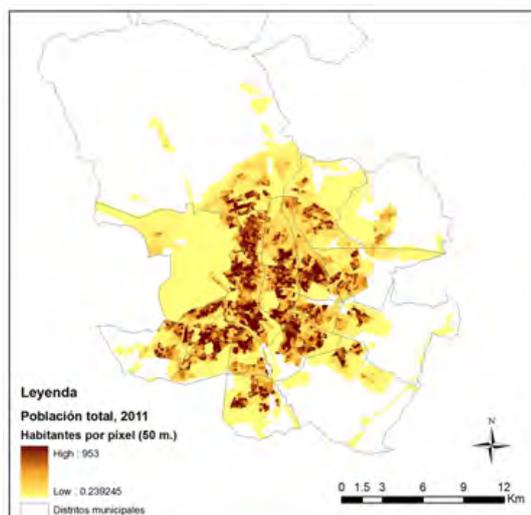
Cuadro 1. Índices de segregación y concentración de los grupos de población estudiados en Madrid

Indicador	Índice de segregación (IS)	Índice de concentración de Gini (G)	Índice de concentración Delta (DEL)	Índice de centralidad (PCC)*
Población de 0-4 años	0,169	0,242	0,477	0,031
Población de 80 años y más	0,221	0,318	0,607	0,043
Pob. 30-59 años con nivel instr. bajo	0,329	0,445	0,602	0,052
Pob. 30-59 años con nivel instr. alto	0,361	0,477	0,501	0,066
Inm. de Europa (no UE)	0,338	0,436	0,619	0,031
Inm. de África	0,430	0,587	0,647	0,085
Inm. de América Central y Sur	0,302	0,407	0,630	0,046
Inm. de Asia	0,435	0,597	0,680	0,165

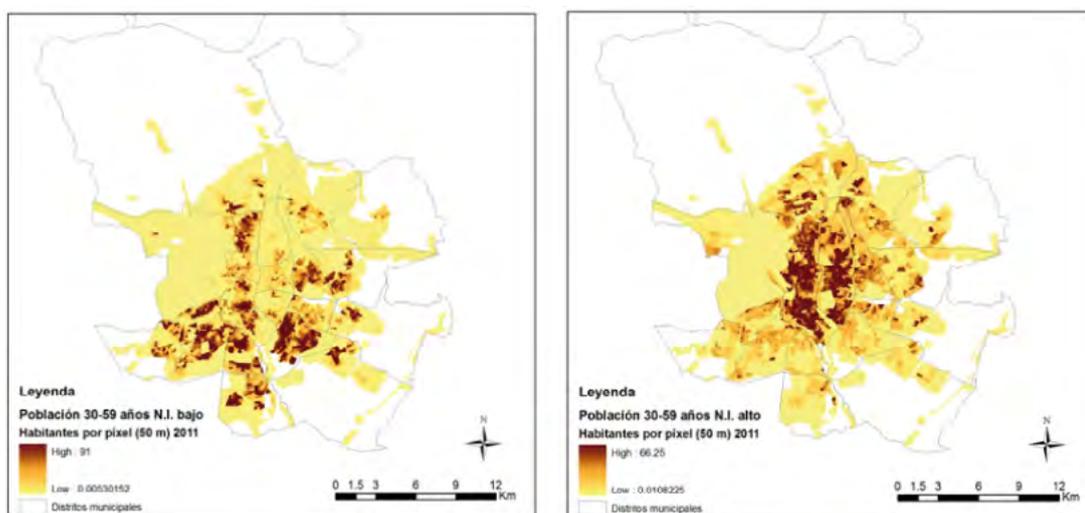
(*) Para su cálculo se consideró como centro urbano el distrito Centro de Madrid.

Fuente: Elaboración propia.

Mapa 3. Densidad de la población total y de ciertos grupos en la ciudad de Madrid (habitantes por cada 0,25 ha), por secciones censales del área urbana poblada. 2010-2011







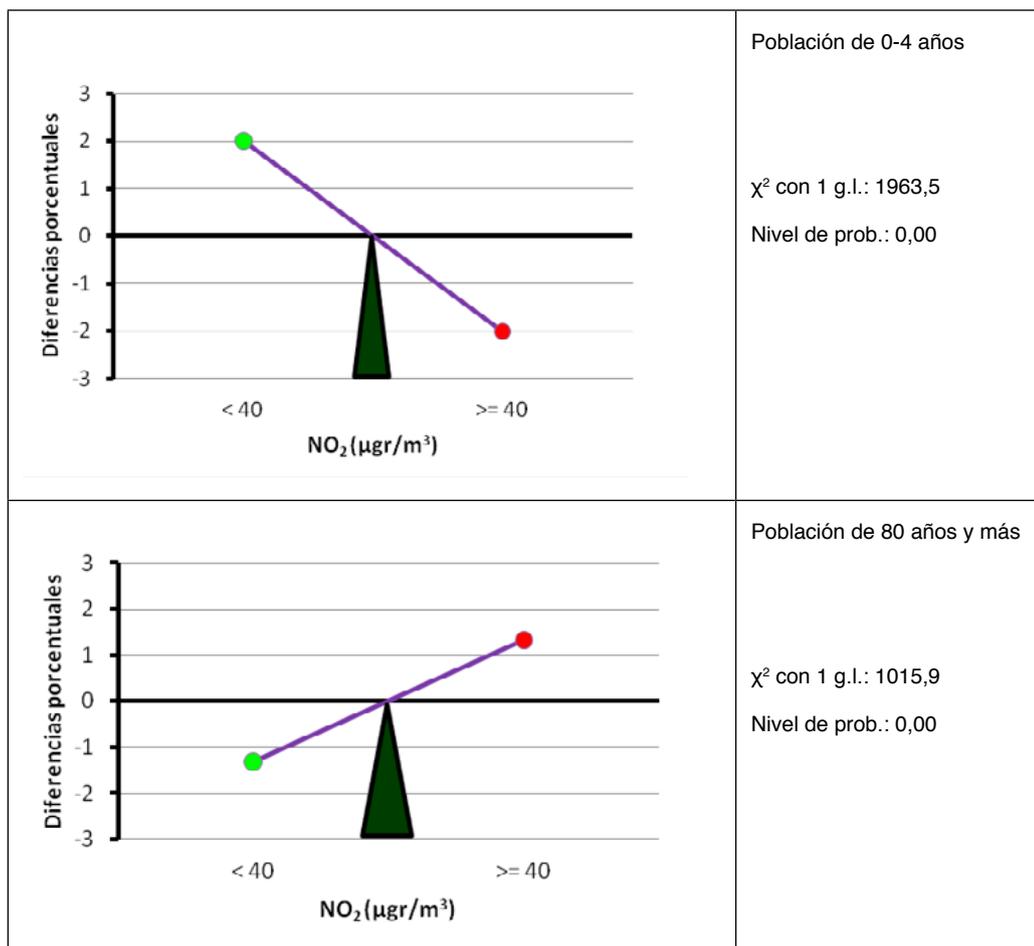
Fuente: Elaboración propia.

4.3. La evaluación de la justicia ambiental

La aplicación de las técnicas reseñadas en el apartado de métodos ha arrojado los resultados mostrados en las tablas del Anexo. En ellas se exhiben los efectivos de población (absolutos y relativos) y la superficie del AUP según dos intervalos de polución media anual por NO₂ estimada en cada lugar (píxel). Se puede apreciar así la cuantía de habitantes expuestos a dichos niveles, así como sus porcentajes respectivos. Recuérdese que los reflejados en las columnas de población total son los adoptados como referencia (norma de equidad) para los subgrupos, por lo que la comparación entre ellos permite ya una primera apreciación de las desigualdades en exposición potencial. Por economía, el análisis se centrará en los gráficos siguientes, que contienen los diagramas de equidad y el resultado de la prueba estadística de la hipótesis.

En cuanto a los dos *grupos de edad* contemplados, 0-4 años y 80 y más (Gráfico 1), el test de la χ^2 conduce al rechazo de H₀, por lo que se concluye que hay un desequilibrio en la exposición potencial al NO₂ entre estos grupos y la de la población total. Concretamente, y dada la distribución intraurbana de dichos grupos y la de polución, los niños aparecen como beneficiados (superávit de 2.01 puntos porcentuales en zonas bajo el umbral crítico de polución), en tanto que los mayores de 80 años, por su propensión a la centralidad, se ven más expuestos en términos relativos, exhibiendo un exceso en zonas más contaminadas de 1,32 puntos porcentuales. En resumen, para estos emerge una cierta inequidad ambiental. Sea como fuere las desviaciones respecto al patrón modelo (la población total) no son grandes en ambos casos.

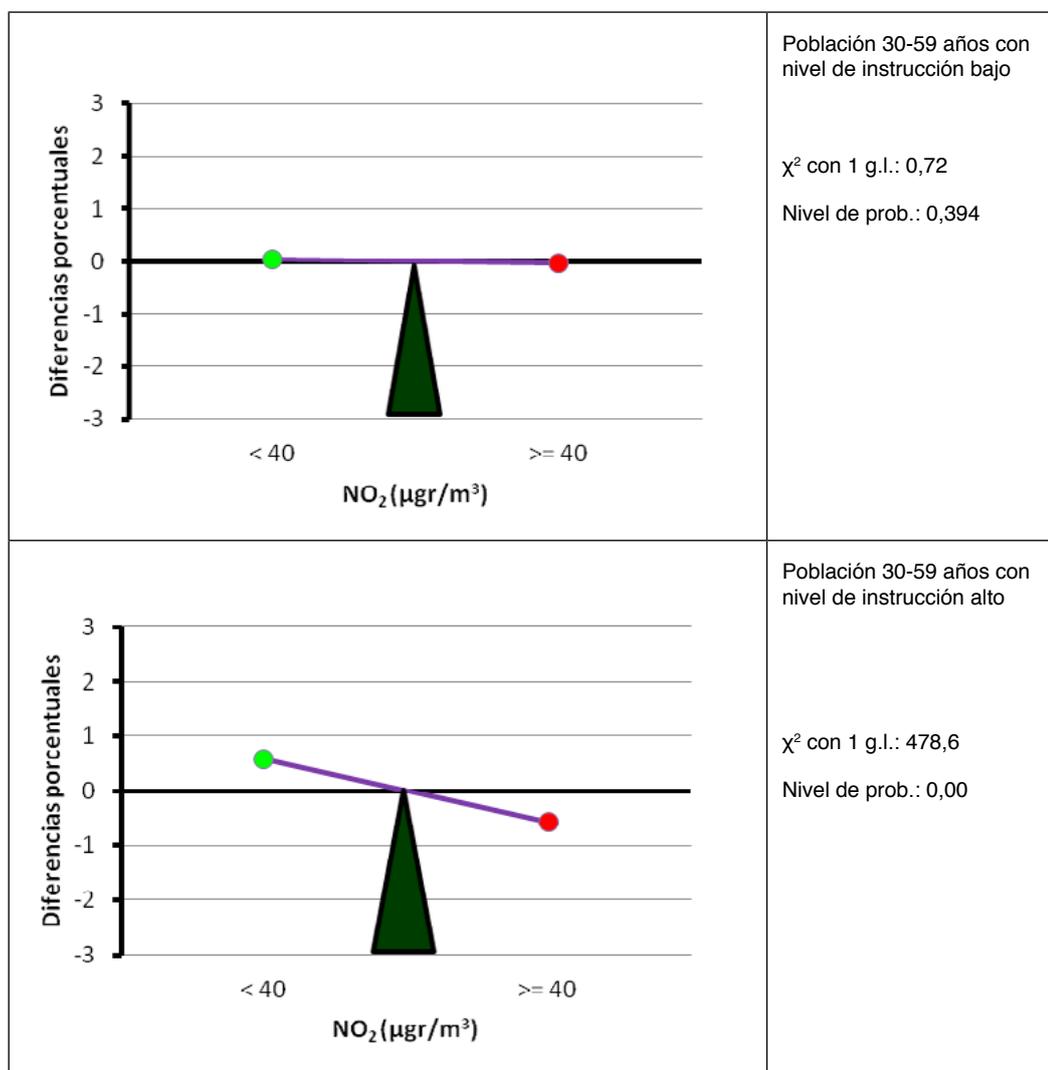
Gráfico 1. Balanzas de la justicia ambiental para dos grupos de edad en Madrid 2010



Fuente: Elaboración propia.

El *nivel educativo de los adultos* (30-59 años), como indicador asociado habitualmente al estatus socioeconómico, no muestra en Madrid una situación consistente en cuanto a discriminación ambiental. Por un lado, la exposición de las personas de nivel bajo parece ser congruente con la de la población total (Gráfico 5) y así el test aplicado no permite rechazar la hipótesis nula. El valor del estadístico de contraste es muy bajo como para permitir una conclusión distinta. En el diagrama, sus “platinos” están casi en equilibrio coincidiendo con la horizontal. Por el contrario, y a modo de comparación, el grupo de adultos con nivel de estudios alto sí que resulta discordante respecto al conjunto de la ciudad (H_0 se rechaza), y se ve algo sobrerrepresentado en las zonas con nivel de polución bajo. Ello le granjea una situación de beneficio ambiental, en términos comparativos, pero no excesivo, pues tanto el diagrama como el valor del estadístico de contraste (Gráfico 2), muestran niveles medio-bajos en esa divergencia. Aunque bastante presente en áreas interiores de la ciudad, la ubicación periférica de una parte de esa población de alto estatus, donde este contaminante tiende a disminuir, explica tal hecho.

Gráfico 2. Balanzas de justicia ambiental, para los dos grupos de edad adultos según niveles extremos de instrucción, Madrid, 2010

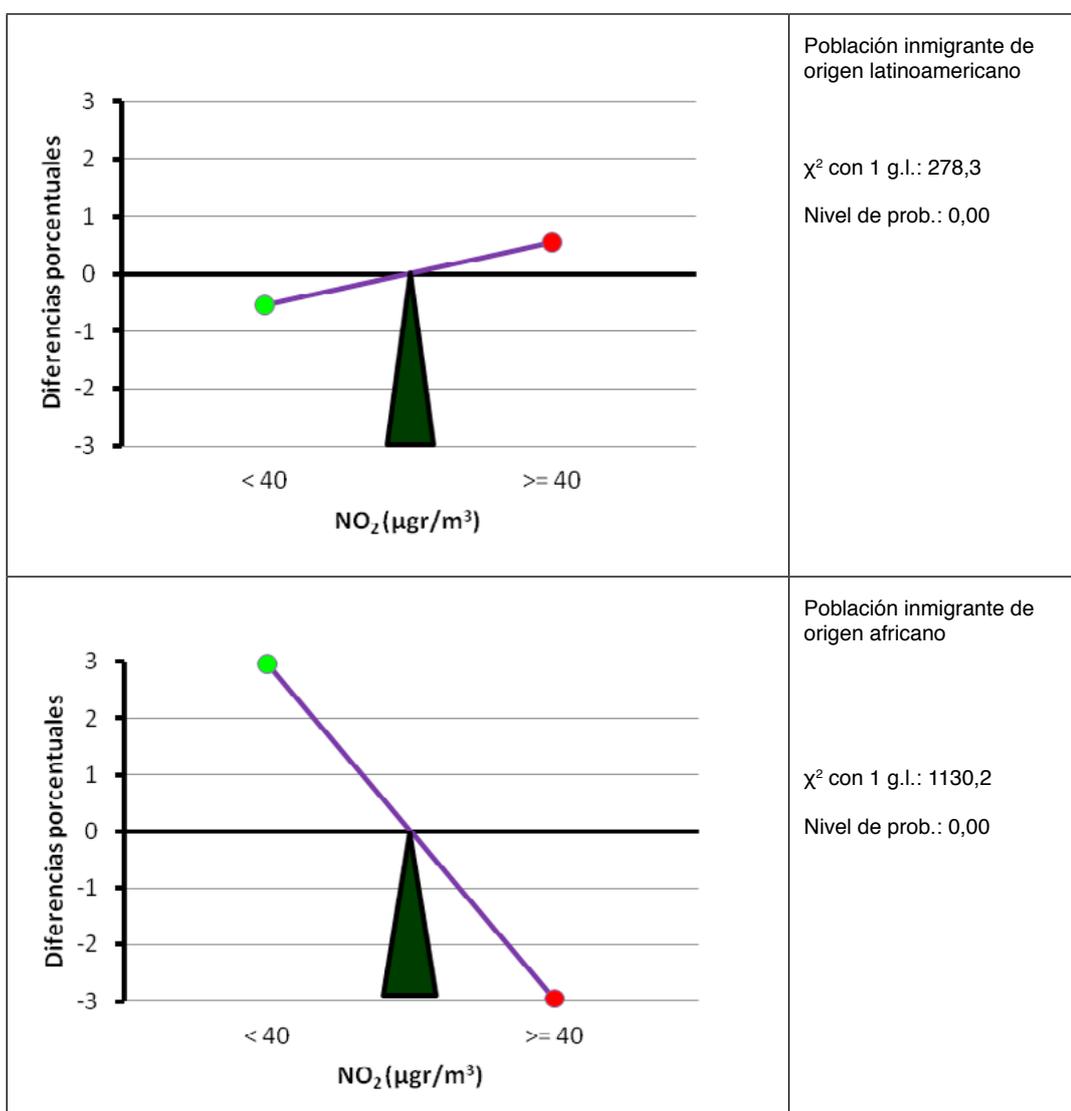


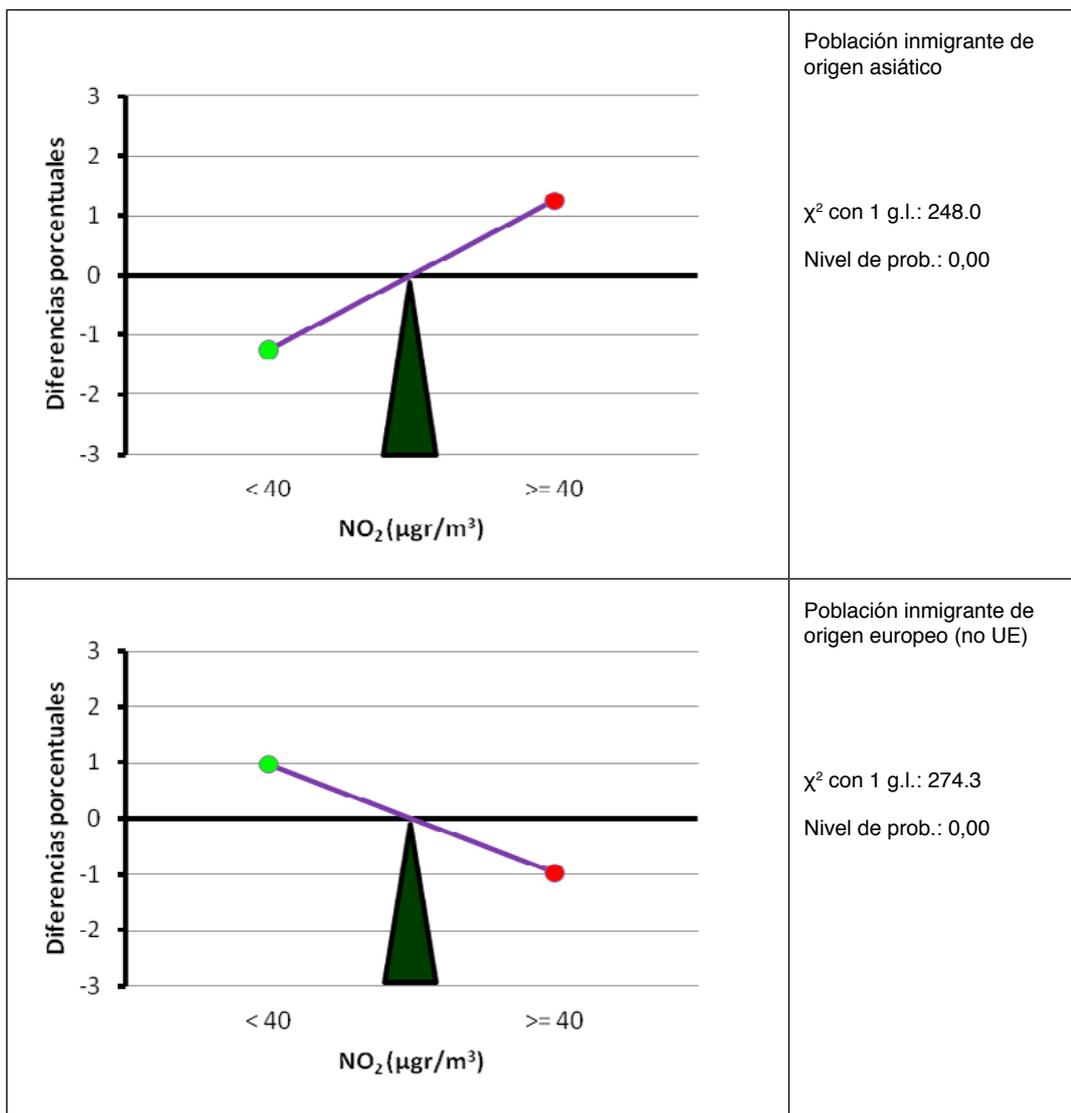
Fuente: Elaboración propia.

Los *inmigrantes* por causas económicas que recientemente llegaron a Madrid se han repartido dentro del tejido urbano según patrones diferentes, pero en cualquier caso mostrando desigualdades espaciales notorias. Tal hecho incide en su exposición a calidades ambientales diversas, cuya apreciación es posible con los resultados alcanzados. El examen de los valores del estadístico de contraste y de los niveles de probabilidad asociados (Gráfico 6) evidencia que, para los cuatro grupos de inmigrantes, H_0 debe ser rechazada, lo que equivale a decir que su grado de exposición a la polución por NO_2 difiere significativamente respecto al conjunto de la población. Ahora bien, la situación entre ellos es dispar. Los de origen africano y europeo (no UE) son los que se hallan en una condición mejor, puesto que están sobre-representados en alguna zona de menor polución (e.g. al Sur en el distrito de Villaverde). Particularmente los primeros son los que exhiben una divergencia más aguda en comparación con el total de la población: casi 3 puntos porcentuales (véase su balanza de la justicia ambiental en el Gráfico 3). Los inmigrantes europeos también soportan una menor exposición a la alta polución, pero no tanto como los anteriores ($\pm 0,97$). Su mayor presencia periférica sería el determinante de ello.

Por su parte, los inmigrantes provenientes de América Latina y Asia exhiben la situación contraria, al residir proporcionalmente más en zonas de alta contaminación. Ahora son los asiáticos quienes aparecen en peor lugar ($\pm 1,25$ puntos porcentuales), tal como muestra su balanza de la justicia ambiental, por su notable centralidad, en tanto que los latinoamericanos se desvían bastante menos de la norma general de la ciudad ($\pm 0,55$), por estar repartidos por casi todo el espacio urbano.

Gráfico 3. Balanzas de justicia ambiental, para los grupos de inmigrantes internacionales según ámbito de procedencia. Madrid, 2010





Fuente: Elaboración propia.

5. Discusión y conclusiones

De los *hallazgos empíricos* obtenidos en este estudio se pueden colegir varios hechos:

- Por un lado, los niveles de polución exceden, en la mayor parte del espacio urbano madrileño, los límites de referencia aceptables y usados aquí para valorar las posibles inequidades. Por otro, algunos de los grupos socio-demográficos vulnerables muestran en Madrid una cierta propensión a la segregación espacial, como en otros estudios se ha desvelado (*vid.* Moreno y Vinuesa, 2006 y 2012; Vidal y Palacios, 2012). Tal es el caso de los asiáticos (chinos), algunos africanos (marroquíes) y europeos (rumanos). Adicionalmente presentan tendencias diversas en cuanto a localización (central, interior o periférica).
- En Madrid los patrones espaciales de todos los grupos sociodemográficos analíticamente considerados dan lugar a divergencias significativas respecto al de la población total, en cuanto a su exposición al ambiente contaminado por NO_2 , con la excepción de los adultos de baja instrucción. Así pues, la complejidad de las formas de distribución intraurbana de los grupos

de población origina situaciones diferentes en su relación con el ambiente. Al compararlos con los hallazgos de otros autores, como los descritos en Moreno (2010), se aprecian diferencias, pues en bastantes de ellos la relación con la raza / etnia y con los indicadores de renta / estatus socioeconómico era clara y negativa (es decir, injusta). La síntesis de hallazgos en doce estudios reportada por Mitchell y Dorling (2003) arroja un balance más dispar (a veces había relaciones directas, en otras inversas, y en otras no había relación). Por poner un ejemplo concreto, Brainard *et al.* (2002) constataron coincidencia espacial entre los mayores niveles de ciertos contaminantes atmosféricos (uno de ellos el NO₂) y la pobreza y las minorías étnicas, pero no así con la edad. Parece plausible pensar que esas asociaciones espaciales estén precondicionadas por las dinámicas de localización residencial de cada grupo en cada contexto urbano-nacional.

- En cualquier caso, esa diversidad se manifiesta en sobre-exposiciones y sub-exposiciones a la atmósfera contaminada por NO₂ en los domicilios entre los distintos grupos. El examen de esa categorización, junto con el del valor del estadístico de contraste, permite catalogar los resultados sintéticamente como muestra la tabla 2. En ella se aprecia que cuatro de los grupos analizados aparecen como favorecidos, por cuanto, en términos relativos se hallan expuestos en menor grado que la población total de referencia. Por el lado opuesto, los mayores de 80 años y los inmigrantes latinoamericanos y asiáticos se ven penalizados proporcionalmente. Así mismo se constata que la distribución intraurbana de las dos categorías de edad consideradas es la que arroja más desequilibrios en el sentido de inequidades socio-ambientales. La tipología por origen de los migrantes es, por el contrario, la que parece ser menos discriminante en este sentido, con la excepción del grupo de los africanos.

En resumen, se constata una desigual exposición potencial a los altos niveles del contaminante estudiado, lo que implicaría una carga negativa superior para ciertos grupos de población (sufriendo, pues, injusticia ambiental), en tanto que otros se hallan en una situación algo más favorable. En todo caso, las magnitudes de tales desigualdades, a tenor de las desviaciones respecto a la equidad mostradas en los diagramas (Gráficos 1, 2, y 3), que no exceden los tres puntos porcentuales, y de la escala adoptada en la Cuadro 2, no deberían calificarse de severas.

Cuadro 2. Clasificación de los grupos sociodemográficos según el tipo de discriminación que les afecta y la intensidad de la exposición potencial a la polución de NO₂

Tipo de discriminación	Intensidad estadística de la exposición potencial al NO ₂ (según valor del estadístico de contraste χ^2)		
	Media (> 1000)	Media baja (400-1000)	Baja (< 300)
Sub-exposición (favorecidos)	Población de 0-4 años Inmigrantes africanos	Población 30-59 años con nivel de instrucción alto	Inmigrantes europeos
Sobre-exposición (perjudicados)	Población de 80 años y más		Inmigrantes de América Central y Sur Inmigrantes asiáticos

Fuente: Elaboración propia.

Desde el *punto de vista metodológico* cabe reafirmar que la conjunción de SIG y técnicas estadísticas, ofrece un poderoso instrumental para abordar la medición de las inequidades ambientales, por cuanto, más allá de las potencialidades de la visualización cartográfica, un gráfico de lectura fácil, como el diagrama de la justicia ambiental, y un test estadístico como el aquí usado, permiten dilucidar con notable claridad la hipótesis de existencia o no de discriminación. Merece reseñarse además que, frente a otros análisis previos, en éste se ha realizado una operación algo laboriosa para estimar las cifras de población potencialmente expuesta, a partir de pequeñas unidades espaciales (como las secciones censales), buscando obtener resultados más exactos y así fundamentar más sólidamente las valoraciones realizadas. Con ello se espera facilitar la ejecución de este tipo de análisis, dado que la disponibilidad de estadísticas demográficas por unidades espaciales pequeñas (imperativas en estos estudios) constituye una práctica habitual en la mayoría de los países.

Considerando las *perspectivas y derivaciones* a partir de los hallazgos alcanzados, podrían señalarse varias. En primer lugar, la formulación de propuestas para disminuir inequidades ambientales en Madrid no resulta fácil, sobre todo porque al ser tan general el exceso de polución por NO₂ parece que la acción política primera habría de atender a la reducción general de la misma. No es inmediato predecir los efectos sobre la equidad ambiental de esa hipotética disminución, pues ésta sería seguramente desigual en el espacio, como evidenció el ejemplo del dióxido de azufre anteriormente estudiado por Moreno y Cañada (2007). Descartando simulaciones *ex - ante* de escenarios con menos NO₂, la alternativa sería evaluaciones *ex - post* de políticas en pro de esa deseable reducción.

Estas consideraciones concretas dan pie para insistir en la necesidad de plantear la evaluación de posibles inequidades ambientales en dos supuestos:

- En primer lugar, ante decisiones de actuación estratégicas, tácticas u operativas de las organizaciones públicas y privadas (planes, proyectos, medidas de gestión, etc.) que puedan modificar (*i.e.* empeorar) las condiciones de calidad ambiental de una zona.
- Adicionalmente, cabe reivindicar también que, dado que los patrones de localización de la población y de calidad ambiental cambian en el tiempo mediante dinámicas graduales y microgeográficas, el diagnóstico periódico de esta problemática debería ser asumida por los poderes públicos, al igual que se realizan otros sobre las desigualdades y problemas sociales o la sostenibilidad (*e. g.* mediante observatorios especializados).

En el plano metodológico, y de cara a futuros desarrollos, cabe proponer la ampliación de este tipo de estudios a otras externalidades (*e. g.* contaminantes) o peligros, dirección ésta en la que el grupo de investigación se propone continuar, así como la consideración de otras formas de geo-referenciar a la población, aparte del domicilio, ya que otros lugares sobre los que discurre la vida cotidiana de los ciudadanos resultan también muy relevantes a la hora proporcionar calidad o afección ambiental.

6. Referencias bibliográficas

- Abara, W. Wilson, S. M., Burwell, K. (2012). "Environmental justice and infectious disease: gaps, issues, and research needs". *Environmental Justice*, 5(1), 8-20.
- Arriaga, A. y Pardo, M. (2011). "Justicia ambiental. El estado de la cuestión". *Revista Internacional de Sociología (RIS)*, 69 (3), 627-648.
- Blanchon, D. Moreau, S. y Veyret, Y. (2009). "Comprendre et construire la justice environnementale". *Annales de Géographie*, 665-666, 35-60.
- Bolte, G., Pauli, A. y Hornberg, C. (2011). "Environmental justice: social disparities in environmental exposures and health: overview", en J. Nriagu (Ed.): *Encyclopedia of Environmental Health*, Elsevier, 459-470.
- Boone, C. G. (2008). Environmental justice as process and new avenues for research. *Environmental Justice*. 1 (3), 149-154.
- Bosque, J., Díaz, C. y Díaz, M. A. (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*, CXXXVII-CXXXVIII, 90-113.
- Bowen, W. (2002). "An analytical review of environmental justice research: what do we really know?", *Environmental Management*, 29, 3-15.
- Brainard, J., Jones, A. P., Bateman, I. J., Lovett, A. A. y Fallon, P. J. (2002). "Modelling environmental equity: access to air quality in Birmingham, England", *Environment and Planning A*. 34 (4), 695-716.
- Brainard, J., Jones, A., Bateman, I. y Lovett, A. (2003). *Modelling environmental equity: exposure to environmental urban noise pollution in Birmingham, UK*. Norwich, Norfolk, UK: Environmental Decision Making Working Papers, EDM 03-04, Centre for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE), University of East Anglia. http://www.uea.ac.uk/env/cserge/pub/wp/edm/edm_2003_04.pdf.
- Brulle, R. J. y Pellow, D. N. (2006). "Environmental justice: human health and environmental inequalities". *Annual Review of Public Health*, 27, 103-124.
- Bullard, R. D. (1983). "Solid-waste sites and the black Houston community". *Sociological Inquiry*, 53, 273-288.
- Buzzelli, M. y Jerrett, M. (2004). "Racial gradients of ambient air pollution exposure in Hamilton, Canada". *Environment and Planning A*, 36, 1855-1876.
- Cañada, R. (2012). "Estimación y diagnóstico espacio-temporal de la contaminación por dióxido de nitrógeno en el municipio de Madrid (2001-2011)", en Martínez, J. y Martín, P. (eds.): *Tecnologías de la información geográfica en el contexto de cambio global*. Madrid, Instituto de Economía, Geografía y Demografía (CSIC), 265-277. http://age-tig.es/2012_Madrid/ponencia2/Canada,R_final_imp.pdf
- Cañada Torrecilla, R., Vidal, M. J. y Moreno, A. (2011). "Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la justicia ambiental: ensayo metodológico sobre la contaminación por partículas atmosféricas en Madrid", *GeoFocus (Artículos)*, 11, 118-154. http://geofocus.rediris.es/2011/Articulo6_2011.pdf
- 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.
- Daly, A. y P. Zannetti. (2007). "Air pollution modeling – An overview", en P. Zannetti, D. Al-Ajmi y S. Al-Rashied, (Ed.). *Ambient air pollution*. The Arab School for Science and Technology (ASST) and The EnviroComp Institute. <http://www.envirocomp.org/books/chapters/2aap.pdf>
- De Mesnard, L. (2013). "Pollution models and inverse distance weighting: Some critical remarks", *Computers & Geosciences*, 52, 459-469. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009830041200372X>
- Elvers, H. D., Gross, M. y Heinrichs, H. (2008). "The diversity of environmental justice". Towards a European approach. *European Societies*, 10 (5), 835 – 856.
- Evans, G. W. y Kantrowitz, E. (2002). "Socioeconomic status and health: The potential role of environmental risk exposure". *Annual Review of Public Health*, 23, 303-331.
- Gottlieb, R. (2009). "Where we live, work, play . . . and eat: Expanding the environmental justice agenda". *Environmental Justice*, 2 (1), 7-8.
- Hervé, D. (2010). "Noción y elementos de la justicia ambiental: directrices para su aplicación en la planificación territorial y en la evaluación ambiental estratégica". *Revista de Derecho*, XXIII (1), 9-36.
- Isakov, V., Touma, J.S., Burke, J., Lobdell, D.T., Palma, T., Rosenbaum, A. y Ozkaynak, H. (2009). "Combining regional- and local-scale air quality models with exposure models for use in environmental health studies", *J. Air Waste Manag. Assoc.* 59(4), 461-472.

- Jerrett, M., Arain, A., Kanaroglou, P., Beckerman, B., Potoglou, D., Sahuvaroglu, T., Morrison, J. y Giovis, C. (2005). "A review and evaluation of intraurban air pollution exposure models". *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 15(2), 185-204.
- London, L., Joshi, T.K., Cairncross, E. y Claudio L. (2011). "Environmental justice: an international perspective", en J. Nriagu (Ed.): *Encyclopedia of Environmental Health*, Elsevier, 441-448.
- Maranville, A. R., Ting, T-F. y Zhang, Y. (2009). «An environmental justice analysis: superfund sites and surrounding communities in Illinois». *Environmental justice*. 2 (2), 49 – 56.
- McKone, T.E., Ryan, P.B. y Ozkaynak, H. (2009). "Exposure information in environmental health research: current opportunities and future directions for particulate matter, ozone, and toxic air pollutants". *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 19(1), 30-44.
- Mitchell, G. (2011). "Environmental justice: an overview", en J. Nriagu (Ed.): *Encyclopedia of Environmental Health*, Elsevier, 449-458.
- Mitchell, G. y Dorling, D. (2003). "An environmental justice analysis of British air quality", *Environment and Planning A*. 35, 909-929.
- Moreno, A. (2007). "¿Está equitativamente repartida la contaminación sonora urbana? Una evaluación desde el principio de justicia ambiental en la ciudad de Madrid". *Estudios Geográficos*, 263, 595-626. <http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeograficos/article/view/70/67>
- Moreno, A. (2010). "Justicia ambiental. Del concepto a la aplicación en análisis de políticas y planificación territoriales". *Scripta Nova*, XIV, 316. 1 de marzo de 2010: 33 p. <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-316.html>.
- Moreno, A. y Cañada, 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*, 44: 301-324. <http://www.boletinage.com/44/14-moreno.pdf>
- Moreno, A. y Fernández, 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. <http://www.madrid.org/iestadis/gazeta/publicaciones/iesparentano.htm>
- Moreno, A. y Vinuesa, J. (dir.) (2006). *Análisis de la situación y la evolución del reequilibrio territorial en la ciudad de Madrid*. Madrid, Ayuntamiento de Madrid, Área de Economía y Participación Ciudadana, 563 p (policopiado).
- Moreno, A. y Vinuesa, J. (2012). "Desequilibrios y reequilibrios intraurbanos en Madrid. Diagnóstico con indicadores socio-demográficos", en Varela, B. y Vinuesa, J. (coord.): *Metrópolis. Dinámicas urbanas*. Luján, Universidad Nacional de Luján y Universidad Autónoma de Madrid, 49 – 93. http://www.uam.es/personal_pdi/filoyletras/juvian/documentos/Metropolis%20Dinamicas%20urbanas.pdf
- Nweke, O. C. y Lee, C. (2011). "Achieving environmental justice: perspectives on the path forward through collective action to eliminate health disparities". *American Journal of Public Health*, 101 (Suppl. 1), S6-S8.
- Organización Mundial de la Salud (s.f.). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación de los riesgos*. whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf
- Ozkaynak, H., Palma, T., Touma, J.S. y Thurman, J. (2008). "Modeling population exposures to outdoor sources of hazardous air pollutants". *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 18(1), 45-58.
- Ruiz-Maya, L., Martín Pliego, F. J., Montero, J. M. y Uriz Tomé, P. (1995). *Análisis estadístico de encuestas: datos cualitativos*. Madrid: AC.
- Sicotte, D. (2010). "Don't waste us: environmental justice through community participation in urban planning". *Environmental Justice*. 3(1), 7-11.
- Siegel, S. (1972): *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta*. México: Trillas. 2ª ed.
- Schlosberg, D. (2004). "Reconceiving environmental justice: global movements and political theories". *Environmental Politics*, 13, 517-540.
- Schlosberg, D. y Carruthers, D. (2010). "Indigenous struggles, environmental justice, and community capabilities". *Global Environmental Politics*, 10 (4), 12-35.
- Vásquez, A. y Salgado, M. (2009). "Desigualdades socioeconómicas y distribución inequitativa de los riesgos ambientales en las comunas de Peñalolén y San Pedro de la Paz. Una perspectiva de justicia ambiental". *Revista de Geografía Norte Grande*, 43, 95-110.

- Vidal, M. J. y Palacios, A. (2012). “Apuntes metodológicos para el estudio de las vulnerabilidades sociodemográficas intraurbanas”. En Reques, P. y Cos, O. de (eds.): *La población en clave territorial. Procesos, estructuras y perspectivas*. Santander, Universidad de Cantabria, etc., 457-465. CD-ROM.
- Wakefield, S. E. L. y Baxter, J. (2010). “Linking health inequality and environmental justice: articulating a precautionary framework for research and action”. *Environmental Justice*, 3 (3), 95-102.
- Walker, G. y Bulkeley, H. (2006). “Geographies of environmental justice”. *Geoforum*, 37, 655-659.
- Wang, G., van den Bosch, F. H. M. y Kuffer M. (2008). “Modelling urban traffic air pollution dispersion”. In: *ISPRS 2008: Proceedings of the XXI Congress: Silk road for information from imagery: the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 3-11 July, Beijing, China. Comm. VIII, WG VIII/2. Beijing : ISPRS. pp. 153-158, http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8_pdf/2_WG-VIII-2/01.pdf
- Wheeler, A.J., Smith-Doiron, M., Xu, X., Gilbert, N.L. y Brook, J. R. (2008). “Intra-urban variability of air pollution in Windsor, Ontario - measurement and modeling for human exposure assessment”. *Environ Res.* 106(1), 7-16.
- Wilson, S. M. (2009). “An ecologic framework to study and address environmental justice”. *Environmental Justice*, 2(1), 15-23.
- Wilson, S. M., Richard, R., Joseph, L. y Williams, E. (2010). “Climate change, environmental justice, and vulnerability: an exploratory spatial analysis”. *Environmental Justice*, 3(1), 13-19.
- Zou, B. (2010). “How should environmental exposure risk be assessed? A comparison of four methods for exposure assessment of air pollutions”. *Environ Monit Assess.* 166(1-4), 159-167.
- Zou, B., Wilson, J.G., Zhan, F.B. y Zeng Y. (2009). «Air pollution exposure assessment methods utilized in epidemiological studies”. *J. Environ. Monit.* 11(3), 475-90.

Sobre el autor

ANTONIO MORENO JIMÉNEZ

Licenciado (1975) y Doctor en Geografía (1979) por la Universidad Complutense de Madrid. Profesor del Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid desde 1978, donde actualmente es Catedrático de Geografía Humana. Es autor de numerosos libros y artículos en revistas científicas nacionales e internacionales sobre varios campos: técnicas cuantitativas en Geografía, SIG, Geografía de los servicios, de la población, urbana, didáctica de la Geografía, etc. Ha dirigido o participado en más de veinte proyectos de investigación financiados por entidades públicas y ha ejercido como consultor en proyectos de ordenación territorial, planificación sectorial y diagnósticos urbanos para diversas instituciones. Ha sido conferenciante invitado en más de veinte congresos nacionales e internacionales y ha participado en muchos otros con artículos científicos. Ha sido miembro del comité científico u organizador de más de veinte congresos. Ha dirigido o enseñado en más de cien másteres y cursos de postgrado sobre tecnologías de la información geográfica, ordenación territorial y urbana, planificación de servicios y equipamientos, etc. Ha impartido conferencias en España, Portugal, Bélgica, Reino Unido, Venezuela, Brasil, Puerto Rico, Argentina, Chile y México. Es director de GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica desde 2001.

7. Anexo

Cuadro 1. Distribución de la población total y por grupos de edad (1/1/2011)
según el nivel de concentración medio estimado (2010) en Madrid

Polución	Área urbana poblada		Población		Población por grupos de edad			
	Ha	%	Total	%	Pob. 0-4 años	Pob. 0-4 %	Pob. => 80 años	Pob. => 80 %
NO ₂ atmosférico (μgr / m ³)								
< 40	3839.50	14.18	115244	3.52	9114	5.54	4348	2.20
>= 40	23245.75	85.82	3154614	96.48	155446	94.46	193112	97.80
Total	27085.25	100.00	3269858	100.00	164560	100.00	197460	100.00
Datos oficiales			3269861		164561		197460	

Cuadro 2. Distribución de la población de 30-59 años según grado de instrucción (1/1/2011)
y nivel de concentración medio estimado (2010) en Madrid

Polución	Área urbana poblada		Población		Población de 30 -59 años según grado de instrucción			
	Ha	%	30-59 años	%	P. 30-59 Baja Instrucción	P. 30-59 B. I. %	Pob. 30-59 Alta Instrucción	P. 30-59 A. I. %
NO ₂ atmosférico (μgr / m ³)								
< 40	3839.5	14.18	54236	3.61	6093	3.65	21048	4.19
>= 40	23245.75	85.82	1446810	96.39	160752	96.35	481395	95.81
Total	27085.25	100.00	1501046	100.00	166845	100.00	502443	100.00
Datos oficiales			1501043		166845		502443	

Cuadro 3. Distribución de la población total e inmigrante según zona de procedencia (1/1/2010)
y nivel de concentración medio estimado (2010) en Madrid

Polución	Área urbana poblada		Población		Inmigrantes empadronados según procedencia							
	Ha	%	Total	%	Inmig. América Central y Sur	Inm. Am. C. y Sur %	Inm. África	Inm. Af. %	Inm. Asia	Inm. As. %	Inm. Europa (no UE)	Inm. E. %
NO ₂ atmosférico (μgr / m ³)												
< 40	3839.5	14.18	111444	3.40	8623	2.85	2708	6.36	1118	2.15	4174	4.38
>= 40	23245.75	85.82	3161605	96.60	293475	97.15	39877	93.64	50821	97.85	91173	95.62
Total	27085.25	100.00	3273049	100.00	302098	100.00	42585	100.00	51939	100.00	95347	100.00
Datos oficiales			3273049		302098		42585		51939		95347	

Todos los cuadros del Anexo son de elaboración propia.