MEDICIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIO-AMBIENTAL INTRAURBANA: UN ENSAYO EXPLORATORIO BASADO EN SIG

Antonio Moreno -Jiménez[1], Antonio J. Palacios-García[1], Pedro Martínez-Suárez[1]

[1] Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Geografía, Ciudad Universitaria de Cantoblanco, 28049 Madrid, España antonio.moreno@uam.es, antonio.palacios@uam.es, pedromarts@hotmail.com

RESUMEN

Los estudios sobre justicia ambiental buscan determinar la existencia de discriminaciones, particularmente hacia grupos desfavorecidos, en cuanto a beneficios y perjuicios de naturaleza ambiental. La delimitación social y espacial de colectivos vulnerables al medio ambiente resulta en ellos una prioridad y en esta aportación se aborda la construcción de un indicador de vulnerabilidad socio-ambiental (IVuSA) centrado en grupos concretos de población. A tal fin se enuncia la lógica del mismo y se formula un procedimiento estadístico que integra la presencia de dichos grupos ponderada por el estatus socioeconómico. La aplicación experimental de varias versiones del IVuSA a la ciudad de Barcelona ha producido unos patrones de vulnerabilidad intraurbana (por secciones censales) que son caracterizados y comparados mediante técnicas estadísticas y cartográficas. Con ello se busca valorar las implicaciones de distintas formulaciones y avanzar hacia un instrumento idóneo para el diagnóstico de posibles situaciones de injusticia ambiental.

Palabras clave: vulnerabilidad socio-ambiental; indicador socio-espacial; ciudad; sistemas de información geográfica; análisis estadístico

ABSTRACT

Environmental justice studies seek to determine the existence of discrimination particularly to disadvantaged groups, in terms of benefits and harms of environmental nature. Social and spatial delimitation of environmentally vulnerable groups is then a priority. This work deals with the design of a socio-environmental vulnerability indicator (IVuSA) focused on specific population groups. It is described its development and a statistical procedure that integrates the presence of these groups weighted by the socioeconomic status. The experimental application of several versions of IVuSA to the city of Barcelona has produced intra-urban patterns of vulnerability (by census tracts) that are characterized and compared through statistical and mapping techniques. The objective has been to assess the implications of different formulations and to move towards an appropriate tool for the diagnosis of possible environmental injustice situations.

Keywords: socio-environmental vulnerability; socio-spatial indicator; city; geographical information systems; statistical analysis

1. INTRODUCCIÓN

Es notorio el interés por la vulnerabilidad humana, por un lado, como concepto que integra un variado conjunto de debilidades poseídas por las personas en su vida ordinaria y, por otro, como instrumento operativo para determinar prioridades de acción por parte de las políticas sectoriales y territoriales, avistando posibles mejoras en empoderamiento, resiliencia o protección. La vulnerabilidad se puede presumir diferenciada según tipos de amenazas, eventos, situaciones, etc., esto es, atañe a factores ambientales (físicos y humanos) que inciden en los individuos, según sus rasgos personales. Por ello, la vulnerabilidad interesa singularmente cuando se trata de grupos de población más sensibles o frágiles.

Los objetivos específicos de esta aportación son, por un lado, ensayar el diseño de un indicador cuantitativo de vulnerabilidad socio-ambiental que tenga en cuenta rasgos relevantes de la población involucrados en ese

concepto; y por otro, explorar y valorar su empleo para desvelar y caracterizar patrones intraurbanos de grupos vulnerables, es decir, zonas destacadas, bien por la abundancia, bien por la escasez de dichos grupos.

Tras unos breves antecedentes, se describen los datos y métodos, algunos resultados selectos y unas breves conclusiones.

2. BREVE ESTADO DE LA CUESTIÓN

Aunque el interés por conocer las desigualdades urbanas, en sentido estricto, cuenta con una larga tradición sociológica, urbanística, económica y geográfica, en los últimos años parece cobrar importancia un enfoque diferente en los estudios de diferenciación socio-espacial urbana. Así, en la actualidad priman las visiones que plantean las diferencias en la composición social de la población a través de su desigual distribución espacial y, por ende, su desigual comportamiento ante los problemas medioambientales. Precisamente es esta incapacidad o dificultad que presentan determinadas personas o grupos de personas para enfrentar un fenómeno amenazante (por tanto un riesgo, Alguacil *et al.*, 2014) y/o reponerse del mismo con posterioridad (Egea *et al.*, 2009), lo que entendemos por vulnerabilidad social. Así, la perspectiva social de la vulnerabilidad sería aquella que pone el acento entonces en la fragilidad de las personas (Bertoux y González, 2015), lo que resulta más acusado aún si cabe, en los grupos más sensibles o vulnerables, como niños y ancianos, en los que basaremos los análisis posteriores.

Sin embargo, aunque los conceptos básicos sobre los que se asienta esta aportación, la justicia ambiental y la vulnerabilidad social, están bien justificados teórica y prácticamente en diversos estudios, no lo están tanto los indicadores cuantitativos empleados para la medición, cuantificación y/o representación (Mateos, 2013).

En este sentido, se dispone ya de un cierto número de intentos de crear indicadores y medidas aplicadas a la vulnerabilidad social. La mayor parte de ellos analizan las desigualdades a través de variables y dimensiones de las condiciones sociales de carácter demográfico (edad, raza, sexo, país de nacimiento, educación, ocupación, etc.), económico (estatus social, ingresos, ahorro, etc.) o de otro tipo (vivienda, dotaciones, redes sociales, seguridad, etc.), referenciados casi siempre a nivel individual o de hogar. En este sentido, en la literatura internacional uno de los principales referentes sería el Índice de Vulnerabilidad Social al peligro ambiental (SoVI) de Cutter *et al.* (2003). En esta misma línea estaría el mapa de riesgos integrado de Collins *et al.* (2009) aplicado a la ciudad mexicana de Ciudad Juárez y a la estadounidense de El Paso. Otras aportaciones que toman como grupos desfavorecidos a los niños y a los ancianos son la de Andrey y Jones (2008), que realizan mediante un análisis de componentes principales un estudio sobre el Gran Vancouver (Canadá) y la de Sadd *et al.* (2011) que, adaptando la herramienta de medición de justicia ambiental de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, evalúan el ranking de impactos acumulativos y vulnerabilidad social en la costa californiana.

En España, por su parte, el principal referente lo constituye el Catálogo de Barrios Vulnerables incluido en el Observatorio de la Vulnerabilidad Urbana del Ministerio de Fomento, cuya metodología diacrónica ha sido planteada en la obra de Alguacil *et al.* (2014). Otros ejemplos significativos serían los de Egea *et al.* (2009), que en la ciudad de Granada realizan un estudio a partir de la obtención de un indicador final de síntesis, el nivel de situación desfavorable. Por último, en la misma ciudad, Sánchez (2009) verifica a través de un índice de vulnerabilidad socio-espacial del envejecimiento que dicha situación se debe fundamentalmente a los factores de exclusión, dependencia y discapacidad.

3. DATOS Y MÉTODOS

3.1 Fuentes de datos estadísticos y cartográficos

El ámbito de estudio corresponde a la ciudad de Barcelona, donde residen 1.609.550 habitantes (Ayto. de Barcelona, 2016a). Las variables poblacionales elegidas atañen, por un lado, a los grupos de edad más vulnerables (*vid. supra*), es decir, los niños (0-4 años) y ancianos (80 y más años), y por otro, al nivel de instrucción clasificado como bajo (sin estudios) y alto (estudios universitarios / ciclos formativos de grado superior). Los datos por secciones censales (1.068) fueron obtenidos del Departamento de Estadística del Ayuntamiento de Barcelona (Padrón Municipal de Habitantes, 30/06/2015). Luego se calcularon los porcentajes respecto a la población total (edad) y a la población de 16 y más años (nivel de instrucción).

Como zona estricta de estudio se delimitó el "área urbana poblada (AUP)", por su presencia habitual de residentes, incluyendo en ella las zonas de vivienda y entorno cercano, comercial, de ocio, etc. y excluyendo las áreas extensas de uso industrial, transporte, agrícola, ganadero, forestal, etc., donde la densidad de población es baja o nula. Su delimitación operativa con SIG se realizó tras un minucioso examen de diferentes fuentes de geoinformación del Instituto Geográfico Nacional y del Ayuntamiento de Barcelona (fechadas entre 2012 y 2016). De esta última institución (2016b) se obtuvo también la cartografía de divisiones administrativas (fecha 01/2015). Las unidades espaciales de análisis (UE) serán las secciones censales (ámbito dentro del AUP).

3.2 Métodos y técnicas estadísticas

La obtención de indicadores cuantitativos orientados a aprehender conceptos complejos ha atraído la atención en las ciencias sociales desde hace tiempo (*vid.* Horn, 1993, y en Geografía cuenta con una amplia trayectoria (Olivera, 1997). Típicamente el proceso metodológico recorre unas etapas, que están bien definidas en la bibliografía (*e. g.* Coombes y Wong, 1994). En la descripción de Smith (1977) básicamente serían: concepto abstracto → propiedades involucradas → medidas cuantitativas.

Como punto de partida conceptual asumimos que hay grupos demográficos (segmentos de población) que, por sus rasgos, por ejemplo biológicos o de situación social, son objetivamente más "débiles" a las amenazas ambientales. Por tal motivo, su presencia en una zona, bien en términos absolutos, bien relativos, supone un componente fundamental para cuantificar la vulnerabilidad allí. El indicador se sustentará en tales cifras.

Por otro lado, resulta lógico asumir también que un cierto número de otros factores afectan el grado de debilidad / fragilidad. Cabría citar al respecto atributos como educación, renta, situación familiar, ocupación, etc. En conjunto, puede postularse que la dimensión conocida como estatus socioeconómico (ESE) y los componentes que lo integran aportan una capacidad al individuo de "modular" aquella vulnerabilidad a través de, por ejemplo, el conocimiento y potencialidades propias, la ayuda y asesoramiento de terceros, la autoprotección, etc. Por tal razón, aquí se incorporará este indicador bajo la forma de una ponderación.

Sobre tales bases, nuestro indicador se concibe como una función de esta guisa: $IVuSA_j = f\ (GP_j, ESE_j)$, siendo, GP_j = efectivos del grupo de población vulnerable j; ESE_j = estatus socioeconómico del grupo de población j. El indicador implicaría entonces dos tipos de variables: A) unas relativas a los efectivos de los grupos de población biológicamente vulnerable (GPBV) y B) otras al estatus socioeconómico de ellos.

A) La medición de los efectivos de los GPBV requeriría primero una justificación de las propiedades que determinan su vulnerabilidad y luego su delimitación operativa. En este trabajo preliminar se ha adoptado un criterio algo simple, pero que cuenta con sobradas pruebas de su idoneidad, la edad. Es bien conocido a través de los estudios demográficos y de salud que algunos grupos de edad resultan singularmente vulnerables como seres vivos, destacando al respecto los niños y los ancianos.

Desde la perspectiva espacial, la presencia en un lugar (unidad espacial) de más o menos efectivos de un grupo considerado como vulnerable constituiría una base contable obvia. Su expresión operativa puede recurrir a obtener la cantidad, bien absoluta, bien relativa, de cada grupo vulnerable en cada unidad espacial. El uso de la primera transcribiría una magnitud de "vulnerabilidad" espacialmente georreferenciada directamente

proporcional a lo que se quiere medir. La cuestión a solventar en tal caso radicaría en la comparabilidad de esas frecuencias entre unidades espaciales. Dado que estas suelen tener áreas (y formas) diferentes (por ejemplo, secciones censales, barrios, distritos, etc.), se requeriría calcular la densidad espacial de cada grupo (para deflactar el desigual tamaño) en cada unidad espacial, o mejor aún, estimar la cuantía absoluta por unidades estándar en tamaño y forma, por ejemplo cuadrados (píxeles en la jerga de los SIG), mediante alguno de los conocidos instrumentos cuantitativos. La ventaja de tales datos radica en que se aproximarían "en bruto" a la magnitud de los colectivos vulnerables allí existentes. Un asunto importante a considerar estriba en que, como es sabido, la delimitación de grupos vulnerables precisa recurrir a criterios para "segmentar" a la población, con la particularidad de que algunos de tales criterios conducen inexorablemente a subconjuntos no disjuntos, sino intersecados. Cómo tratar la "contabilidad repetida" que se generaría a la hora de derivar mediciones sintéticas de la "vulnerabilidad global" de la población de un lugar, integrando varios criterios de segmentación, es un problema importante que habría de ser teórica y operativamente resuelto de forma satisfactoria. Si no hubiese intersección de subconjuntos, como será nuestro caso aquí, el asunto se obvia, facilitando bastante el proceso.

En la segunda opción, enfocada hacia las cantidades relativas, el recurso a los porcentajes de cada grupo sobre la población en cada UE resulta la vía habitual, pues ello facilita la comparación entre zonas. La integración de tales valores relativos (para avanzar hacia una síntesis de ellos), derivados de otros tantos criterios de vulnerabilidad, requiere adoptar una función conveniente. Tres alternativas se han avistado al respecto, siempre recurriendo al mismo tipo de estadístico, la media, en cada UE:

1) El promedio aritmético simple, que notaremos MA; es bien conocido que la representatividad de la media estadística puede resultar mermada cuando se aplica a porcentajes muy dispares, como los que pueden hallarse en casos como el nuestro. Los valores y su rango de variación pueden diferir bastante entre las variables a integrar, incluso estando todas ellas en la misma escala (por ejemplo porcentajes).

2) La media geométrica, que notaremos MG (Ec. 1); suele estar recomendada precisamente para tipos de variables como los porcentajes, índices, tasas, etc. (*vid*. Martín Guzmán y Martín Pliego, 1985, pp. 31-33), cuando el fenómeno medido posee rasgos acumulativos (*v. gr.* tasas de crecimiento o variación); como particularidad importante de ella merece reseñarse que es menos sensible que la media a los valores extremos, esto es, la fórmula atenúa en mayor medida los valores más altos.

3) La familia de medias de orden m (M_m), según la formula general de Foster (Ec. 2).

$$MG = \sqrt[N]{\prod_{j=1}^{N} x_j}$$

Ec. 1. X_j = porcentaje del grupo j

$$M_m = \sqrt[m]{\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} x_j^m}$$

Ec. 2

La media aritmética es el caso particular cuando m = 1. Un ejemplo también común de este tipo es la media cúbica (con m = 3), utilizada en los conocidos índices de pobreza humana, IPH-1 e IPH-2 (*vid.* Anand y Sen, 1997). El uso de exponentes > 1 otorga más importancia a los valores más altos, es decir, exagera las diferencias; esto implicaría, pues, una sobre-valoración para los lugares donde ello sucede. En este estudio se ha elegido tentativamente la media cuadrática (que notaremos MC), con un valor para m = 2, que implicaría una exageración moderada.

B) La aprehensión y medición del ESE ha de recurrir a la larga tradición de estudios sobre patrones sociales intraurbanos, en la que se ha establecido el conjunto de facetas y variables que se ven involucradas en él (*e. g.* Johnston, 1971; Moreno, 1987; Fuenzalida y Moreno, 2010). En este trabajo preliminar, por severas limitaciones en la disponibilidad de datos, el abanico se ha reducido exclusivamente a la dimensión educativa, adoptando para ello dos variables bien conocidas: los porcentajes de personas > 16 años con nivel educativo bajo y alto, según se han descrito antes, si bien en situaciones de mayor riqueza de información se habría de adoptar una gama más extensa y representativa de variables.

Para obtener la síntesis de tales variables en un indicador compuesto de ESE el recurso a la familia de técnicas del análisis de componentes principales (ACP) o análisis factorial (*vid*. Moreno, 1994) resulta adecuado. Dado que lo que se busca es retener la mayor parte de la variabilidad de ese tipo de variables, seleccionadas para capturar facetas del ESE, la atención se centra en el primero de los componentes, por lo que solo se ha analizado el primero de ellos (excluyendo las conocidas rotaciones). Como resultado se ha aprovechado la matriz de cargas de las variables en dicho componente (*factor loadings*) y las puntuaciones factoriales (z_i, *factor scores*) de las secciones en el mismo.

El objetivo expuesto antes de adoptar una ecuación en la que el ESE actuase como peso de los efectivos identificados como vulnerables demandaba una transformación de las puntuaciones factoriales obtenidas en el ACP. A tal fin se han desarrollado dos pasos:

1) Transformar linealmente las puntuaciones factoriales z_i, que, por estar tipificadas, poseen signos, unas negativo y otras positivo, para convertirlas todas en positivas y eventualmente cambiar su signo. Se ha recurrido a la expresión (que se suele denominar normalización): $T_i = a \,.\, z_i + b$. Siendo a = una constante unitaria (±1) destinada cambiar el signo de las puntuaciones, en caso de ser necesario y según fuese el sentido que el factor asocia a los valores positivos y negativos. En el supuesto de que las z_i positivas expresen alto ESE, entonces a = -1; si por el contrario las z_i positivas expresasen bajo ESE, entonces a = 1. En nuestro estudio el ACP asignó valores positivos a las zonas con bajo ESE, por lo que se adoptó a = 1 y b = 10. Así se consigue que todas las puntuaciones factoriales, habitualmente en un rango entre ±3, sean positivas.

Tras esa transformación cabe recordar que las nuevas puntuaciones tendrían como media = 10 (recuérdese que las z_i originales poseen media 0) y como desviación típica 1 (no cambia respecto a la de las z_i originales).

2) Obtener pesos adecuados para integrarlos en la fórmula del IVuSA que operen de la forma deseada, es decir, ponderar más a los lugares con bajo ESE y menos a los que poseen alto ESE. A tal fin se adoptó una reducción por la nueva media de este tenor: $W_i = T_i / 10$. Su fin será aumentar o reducir proporcionalmente las medias que expresan los grupos vulnerables en cada UE, tomando como referencia la nueva media de las puntuaciones factoriales en el ESE (10).

La integración operativa de ambos componentes parciales, GP y ESE, ha recurrido a un simple producto. En resumen, se han ensayado 3 versiones para el índice de vulnerabilidad socio-ambiental (IVuSA). Para cada unidad espacial i se computarían como sigue:

- $IVuSA^a$ basado en la media aritmética de los porcentajes, para la UE_j sería: $IVuSA_i^a = MA_i \cdot W_i$
- $IVuSA^g$ basado en la media geométrica de los porcentajes: $IVuSA_i^g = MG_i \cdot W_i$
- $IVuSA^c$ basado en la media cuadrática de los porcentajes: $IVuSA_i^c = MC_i \cdot W_i$

Los tratamientos se han realizado con ArcGIS y con el sistema estadístico Number Cruncher Statistical System (NCSS). Los mapas de coropletas se han diseñado de manera consistente y comparable.

4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 El componente educativo del ESE

La aplicación del ACP a las dos variables de nivel educativo parte de una aceptable base, pues la correlación lineal entre ambas asciende a -0,781. La prueba de significación estadística de la t de Student para un coeficiente tal con 1.068 datos, y si fuesen distribuciones normales (los test lo han rechazado), arrojaría un valor de 40,78, que avalaría ser estadísticamente distinto de 0, con un p-valor = 0,000. El primer componente extraído posee un *eigenvalue* de 1,78, que supone el 89,03 % de la varianza de dichas variables. La matriz factorial (Tabla 1) desvela unos coeficientes en dicho componente muy altos (próximos a |1|). La dimensión educativa queda bien recogida por dicho componente bipolar, siendo de notar que el polo positivo apunta a los niveles de instrucción bajos y el negativo a los niveles superiores.

VARIABLES	*Componente 1*	*Componente 2*	*Comunidad*
Nivel de instrucción bajo (%)	0,9436	0,3312	1
Nivel de instrucción alto (%)	-0,9436	0,3312	1
Valor propio / *eigenvalue*	1,7806	0,2194	2
%	89,03	10,97	100

Tabla 1. Matriz de coeficientes factoriales en los dos componentes. Fuente: elaboración propia.

4.2 Análisis estadístico comparado de las versiones ensayadas del IVuSA

El cotejo de los estadísticos univariados sobre los resultados arrojados por las tres fórmulas (Tabla 2) permite una primera caracterización de los efectos derivados de cada una. Tomando como referencia el IVuSA basado en la media aritmética se constata que el sustentado en la media geométrica provoca una reducción de todos los estadísticos, incluyendo una contracción de la dispersión de cierta importancia. Claramente, pues, la media geométrica homogeneiza y atenúa las diferencias intraurbanas del indicador de vulnerabilidad socioespacial. Por su parte, el empleo de la media cuadrática provoca el efecto contrario: aumenta todos los estadísticos y amplifica las diferencias intraurbanas del indicador de vulnerabilidad. Estos rasgos son observables en los histogramas (omitidos aquí).

FÓRMULA	*Media*	*Desv. típica*	*Coef. var.*	*Mínimo*	*Máximo*	*Amplitud*	*C. asimetría*
Media aritmética	6,06	1,59	0,26	2,50	18,02	15,52	1,81
Media geométrica	5,63	1,23	0,22	2,16	11,20	9,04	0,90
Media cuadrática	6,45	1,96	0,30	2,80	23,60	20,46	2,30

Tabla 2. Estadísticos univariados de las tres versiones del IVuSA. Fuente: elaboración propia.

La confrontación mediante técnicas bivariadas profundiza un poco más en los resultados con las distintas medias. Las correlaciones se muestran siempre altas (Tabla 3), si bien el valor más bajo emerge entre los IVuSA usando la media geométrica y la cuadrática, debido a los efectos contrarios que provocan. Según estos resultados las distintas variantes no alteran sustancialmente los resultados.

FÓRMULA	*Media aritmética*	*Media geométrica*	*Media cuadrática*
Media aritmética	1		
Media geométrica	0,951	1	
Media cuadrática	0,989	0,896	1

Tabla 3. Correlaciones lineales entre los índices de vulnerabilidad basados en tres tipos de medias. Fuente: elaboración propia.

El examen de la Figura 1 resulta muy clarificador a nuestros fines experimentales: en el diagrama A queda de manifiesto cómo la media geométrica contrae los valores altos llegando a ocasionar una ligera distorsión no lineal, detectada por la línea Loess, y una cierta heterocedasticidad (en la parte derecha del eje X). La fórmula con la media cuadrática (diagrama B) no altera tanto la forma de la nube de puntos, si bien de nuevo el ajuste Loess desvela una pequeña desviación del caso anómalo, respecto a la casi linealidad en el resto del diagrama. Finalmente, el diagrama C, donde se confrontan los resultados de las medias geométrica y cuadrática, tiene un parecido general con el A, si bien los puntos ahora están menos concentrados, habiéndose expandido horizontalmente por efecto de la media cuadrática. Ello acarrea un aumento de la heterocedasticidad y de la no linealidad, como refleja la línea Loess. En resumen, los análisis realizados han permitido aflorar unas variaciones estadísticas en los resultados de distinto signo, pero de un alcance moderado.

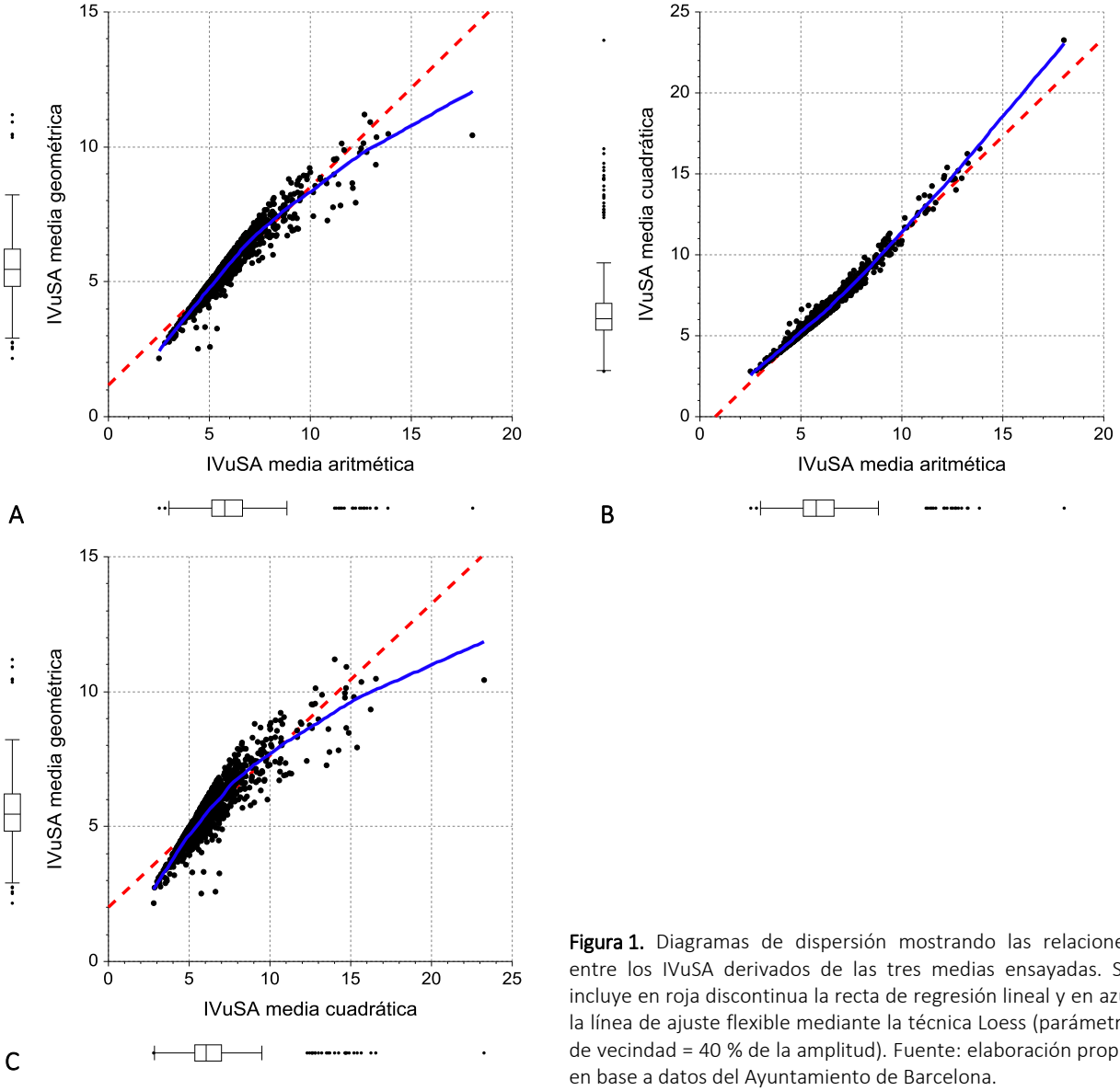

Figura 1. Diagramas de dispersión mostrando las relaciones entre los IVuSA derivados de las tres medias ensayadas. Se incluye en roja discontinua la recta de regresión lineal y en azul la línea de ajuste flexible mediante la técnica Loess (parámetro de vecindad = 40 % de la amplitud). Fuente: elaboración propia en base a datos del Ayuntamiento de Barcelona.

4.3 Comparación de los mapas de distribución intraurbana de las tres versiones del IVuSA

El último elemento útil para la valoración comparada que estamos realizando estriba en los mapas de los indicadores de vulnerabilidad generados por los tres tipos de medias, en los cuales se ha mantenido consistentemente la técnica de división en intervalos y la paleta de color.

La adopción de la media aritmética desvela un patrón en el que prevalecen con mucho las secciones censales del intervalo central (Figura 2A). La mayor vulnerabilidad (tonos rojos) surge en ciertas zonas de los distritos del norte como Horta-Guinardo, Nou Barris y Sant Martí, con clara proclividad periférica. Fuera de tales lugares, brota en algunas secciones aisladas del tejido urbano: parte interior, e incluso en el sur. Por su lado, la menor vulnerabilidad (en azul) aflora, de manera algo más dispar, con particular presencia en Ciutat Vella y secciones próximas de Sant Martí, pero también en diversos ámbitos de todos los distritos.

El mapa del IVuSA basado en la media geométrica da lugar a siete intervalos (Figura 2B), uno más que en el anterior, lo que altera un poco la comparación. En el tramo superior del IVuSA (tonos rojos) los valores elevados se han acentuado y exhiben ahora una extensión algo superior; ello es patente en los tres distritos del norte y nordeste (sobre todo en Sant Martí), donde se conforman manchas continuas, y se corrobora también en el sur de la ciudad. Por el lado de los valores bajos (en azul) las diferencias más reseñables respecto

al anterior mapa conciernen a dos aspectos: por un lado en diversas secciones se constata un corrimiento hacia intervalos superiores (*i. e.* azules más claros); por otro, en ciertas secciones el deslizamiento les ha llevado al intervalo central (±0,5 desv. típicas), denotando un aumento. Ello les situaría en una posición de vulnerabilidad media y no medio-baja como antes.

La comparación del IVuSA basado en la media cuadrática (Figura 2C) con el de la media aritmética, aunque los valores, como se vio antes, se modifican, denota un patrón espacial con muy alto grado de semejanza –salvo en unas pocas secciones censales de Sant Andreu, Sant Martí y Sants-Montjuich–, tanto en los intervalos que superan claramente la media (> 0,5 desv. típicas, en tonos rojizos), como en los inferiores (< -0,5 desv. típicas, en verde), por lo que ambas técnicas transmitirían un mensaje gráfico semejante.

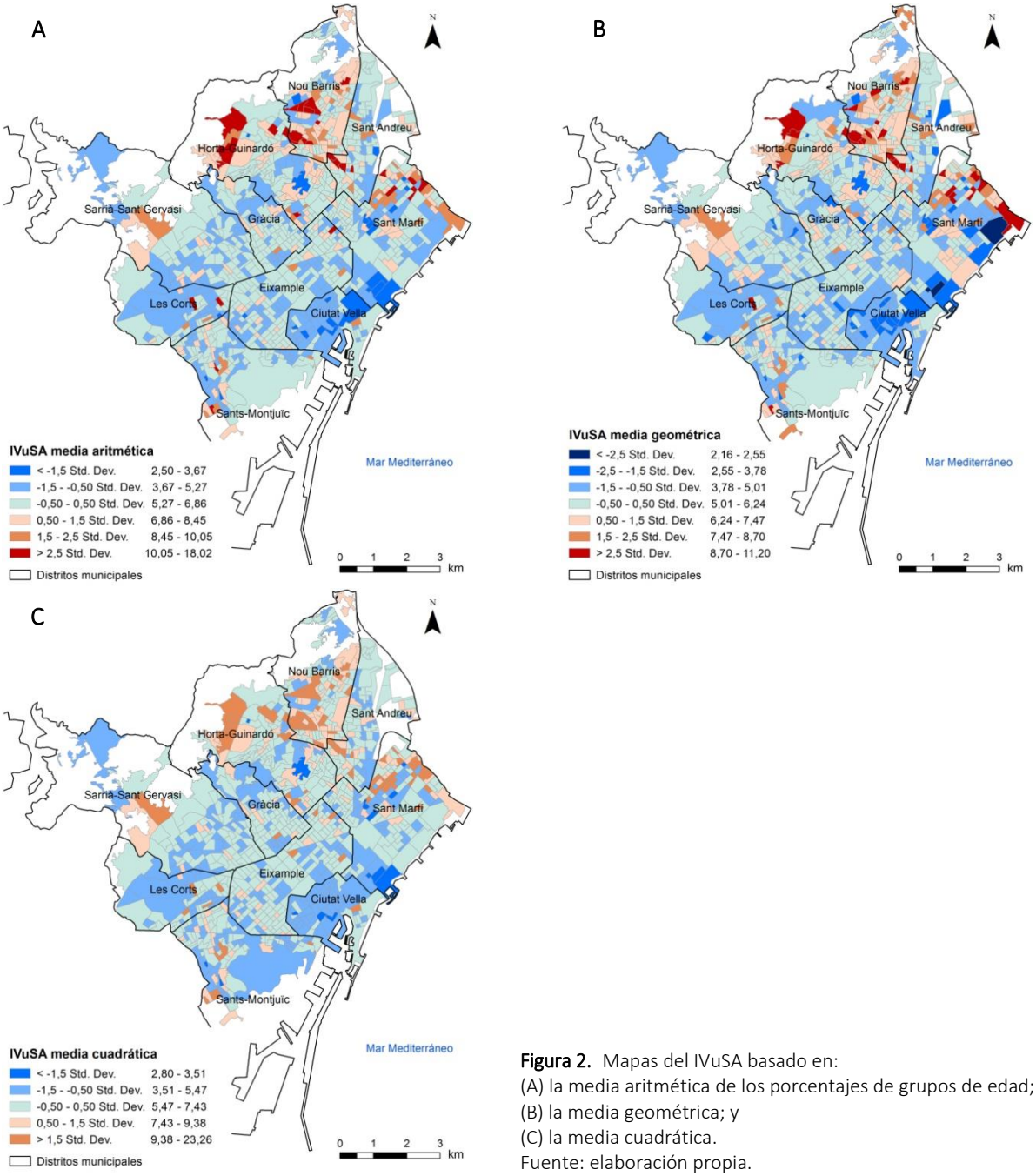

Figura 2. Mapas del IVuSA basado en:
(A) la media aritmética de los porcentajes de grupos de edad;
(B) la media geométrica; y
(C) la media cuadrática.
Fuente: elaboración propia.

Como balance de los tres mapas presentados cabe señalar: la importante coincidencia que entre ellos se aprecia, siendo mayor entre el primero y el tercero; en ambos, los contrastes espaciales del IVuSA aparecen más patentes o exagerados que en el caso de la media geométrica; si se tiene en cuenta que ciertas concentraciones de ancianos podrían estar asociadas a residencias de mayores, la opción de limitar su impacto en el IVuSA con la fórmula de la media geométrica podría ser preferentemente adoptada.

5. CONCLUSIONES

Un cierto número de trabajos han abordado el reto de medir la vulnerabilidad recurriendo a una pluralidad de variables, dada la multiplicidad de facetas involucradas en tal concepto, y a técnicas destinadas a sintetizarlas, tales como el ACP. En el marco de una investigación más amplia sobre justicia ambiental, en este trabajo se ha presentado un ensayo original de medición de la vulnerabilidad de ciertos grupos de población al ambiente, en el interior de grandes ciudades. Respecto a los antecedentes bibliográficos descritos, nuestra aportación ha puesto el acento en la forma de aprehenderlo operativamente. Así, se ha concretado una lógica procedimental que integra dos componentes importantes de la vulnerabilidad: por un lado los efectivos de ciertos grupos demográficos, caracterizados por su notoria debilidad a amenazas ambientales, tal como se ha recogido en los estudios citados sobre el tema; y por otro, el estatus socioeconómico como "modulador" que modifica dicha fragilidad. La estructura del índice propuesto ha conducido, mediante el empleo de diversas técnicas de estadística univariada, bivariada y multivariante, a una fórmula controlable e interpretable fácilmente por expertos y decisores. Los resultados de tres versiones de la misma han sido confrontados para desvelar y apreciar sus particularidades métricas. Se ha obtenido, pues, un primer instrumento, que habrá de ser ensayado en situaciones diversas (*i. e.* otras ciudades) y con datos más abundantes, cuestión esta que ha limitado el alcance de este trabajo preliminar. En todo caso, cabe postular la potencialidad que encierra el indicador propuesto para la evaluación diagnóstica y las comparaciones diacrónicas de esa importante dimensión que es la vulnerabilidad humana.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto de Investigación "Polución del aire, poblaciones vulnerables y salud: análisis de injusticias ambientales basados en geotecnologías" (Ref. CSO2014-55535-R), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alguacil, J., Camacho, J. y Hernández, A. (2014): "La vulnerabilidad urbana en España. Identificación y evolución de los barrios vulnerables", *EMPIRIA. Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, 27, pp. 73-94.

Anand, S. y Sen, A. (1997): Concepts of human development and poverty. A multidimensional perspective, en *Poverty and Human Development. Human Development Papers.* New York, United Nations Development Programme, pp. 1-20.

Andrey, J. y Jones, B. (2008): "The dynamic nature of social disadvantage: implications for hazard exposure and vulnerability in Greater Vancouver", *The Canadian Geographer*, 52, 2, pp. 146-168.

Ayuntamiento de Barcelona (2016a): *Lectura del Padrón Municipal de Habitantes, año 2015 (a fecha 30/06/2015)*. Departamento de Estadística. Disponible en web: <http://www.bcn.cat/estadistica/castella/dades/tpob/pad/padro/a2015/index.htm>.

Ayuntamiento de Barcelona (2016b): *Web de Descargas de Cartografía del Ayuntamiento de Barcelona (CartoBCN)*. Departamento de Información de Base y Cartografía. Disponible en web: <http://w20.bcn.cat/cartobcn/>.

Bertoux, L. y González, D. (2015): "Vulnerabilidad y resiliencia urbana frente al cambio climático: el caso de la zona metropolitana de Guadalajara, México", *Revista Urbano*, 31, pp. 24-31.

Collins, T., Grineski, S. y Romo, Mª. (2009): "Vulnerability to environmental hazards in the Ciudad Juárez (México) – El Paso (USA) metropolis: A model for spatial risk assessment in transnational context", *Applied Geography*, 29, pp. 448-461.

Coombes, M. y Wong, C. (1994): "Methodological steps in the development of multivariate indexes for urban and regional policy analysis", *Environment and Planning A*, 26, pp. 1.297-1.316.

Cutter, S., Boruff, B. y Shirley, W. (2003): "Social vulnerability to environmental hazards", *Social Science Quarterly*, 84, 2, pp. 242-261.

Egea, C., Nieto, J. A., Domínguez, J. y González, R. (2009): "Viejas y nuevas realidades urbanas. Identificación de zonas de habitabilidad desfavorecida en la ciudad de Granada", *Cuadernos Geográficos*, 45 (2), pp. 83-105.

Fuenzalida, M. y Moreno, A. (2010): "Propuesta metodológica para establecer el patrón territorial del status socio-económico de la población, basada en pequeñas unidades espaciales estándar. Aplicación a la región de Valparaíso (Chile)", *Argos*, 27 (52), pp. 98-125.

Horn, R. V. (1993): *Statistical indicators for the economic and social sciences*. Cambridge, Cambridge University Press.

Instituto Geográfico Nacional (IGN) (2016): *Centro de Descargas*. Centro Nacional de Información Geográfica. Disponible en web: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/inicio.do>.

Johnston, R. J. (1971): *Urban residential patterns: an introductory review*. Londres, Bell.

Martín-Guzmán, M. P. y Martín Pliego, F. J. (1985): *Curso básico de Estadística Económica*. Madrid, AC.

Mateos, P. (2013): "La doble segregación urbana: desigualdades socio-espaciales y justicia ambiental", en Márquez, J. A., González, R., Jurado, J. M. y Rúa, A. (Coords.): *Actas del III Congreso Internacional de Desarrollo Local*. La Habana, Universidad de La Habana, pp. 3.488-3.510. 6-9 noviembre 2103, La Habana.

Moreno Jiménez, A. (1987): "La diferenciación social del espacio en Carabanchel", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense,* 7, pp. 473-482.

Moreno Jiménez, A. (1994): "Análisis factorial", en Bosque Sendra, J. y Moreno Jiménez, A.: *Prácticas de análisis exploratorio y multivariante de datos*. Barcelona, Oikos tau, pp. 87-142.

Olivera, A. (1997): "Indicadores en geografía social", *Estudios Geográficos*, 229, pp. 689-709.

Sadd, J., Pastor, M., Morello-Frosch, R., Scoggins, J. y Jesdale, B. (2011): "Playing it safe: Assessing cumulative impact and social vulnerability through an environmental justice screening method in the South Coast Air Basin, California", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8, 5, pp. 1.441-1.459.

Sánchez, D. (2009): "Geografía del envejecimiento vulnerable y su contexto ambiental en la ciudad de Granada: discapacidad, dependencia y exclusión social", *Cuadernos Geográficos*, 45 (2), pp. 107-135.

Smith, D. (1977): *Patterns In Human Geography: An Introduction to numerical methods*. Londres, Penguin.