

Métodos cuantitativos en Geografía Humana

Gustavo D. Buzai
Marcela Virginia Santana Juárez
(Compiladores)

12345678910111213141516171819202122232425262728
 $Y=A+BX, R=0(P-C)-ORD, MX= SX/N, MY= SY/N, O=(X-ME)/(MA-ME)$
1234567891011 12345 123 123456789101112131
123456789101112 12 1 12345678910111213141516
12345678910 12345678910303456141516
123456489 12345678910111213141516
123456 123 1 123456789101112 1
123 12 1234567891 12 12345379
12 12 12312345698 12 123
12345 12345678910 12
1234567 1 123
123456 12345 1
1234 1
123 1234567 1
1234567 1
1234567 1
123 1234567 1
12 12
1 12
12

$Z=(X-M)/D, P=(1/R)/S(1/R), I=S(X*P), F=(M1*M2)/D(1,2)$
12345678910111213141516171819202122232425



Métodos cuantitativos en Geografía Humana

Gustavo D. Buzai
Marcela Virgina Santana Juárez
(compiladores)

Métodos cuantitativos en geografía humana / Gustavo D. Buzai ... [et al.] ; compilado por

Gustavo D. Buzai ; Marcela Virginia Santana Juárez. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de

Buenos Aires : Impresiones Buenos Aires Editorial, 2019.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-1548-98-9

1. Sistema de Información Geográfica. I. Buzai, Gustavo D. II. Buzai, Gustavo D., comp. III. Santana Juárez, Marcela Virginia, comp.

CDD 910.28

Fecha de Catalogación: 2019

Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO)

Universidad Nacional de Luján

Ruta Nac. 5 y Av. Constitución

(6700) Luján, Buenos Aires, Argentina

Director: Dr. Gustavo Buzai

inigeo@unlu.edu.ar

RESIDIG (www.redisig.org)

Red Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica

Presidente: Ing. Omar Delgado Inga

PRODISIG (www.prodisig.unlu.edu.ar)

Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica.

Director: Dr. Gustavo D. Buzai

Obra evaluada por pares académicos ciegos.

Hecho el depósito que marca la ley 11.723.

Prohibida su reproducción total o parcial sin permiso expreso del editor.

Primera edición

Editado en Argentina

© INIGEO.



Esta obra se encuentra bajo Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0. Internacional. Reconocimiento - Permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas siempre y cuando reconozca y cite al autor original. No Comercial – Esta obra no puede ser utilizada con fines comerciales, a menos que se obtenga el permiso.

ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| INTRODUCCIÓN | 11 |
| Capítulo 1 | |
| MÉTODO CENTROGRÁFICO | |
| 1.1. Aplicación a la localización de sitios arqueológicos en la cuenca del río Luján, Argentina | 15 |
| <i>Sonia L. Lanzelotti</i> | |
| <i>Noelia Principi</i> | |
| 1.2. Aplicación al estudio de las actividades económicas en la ciudad de México | 27 |
| <i>Juan Campos Alanís</i> | |
| <i>Edel Cadena Vargas</i> | |
| <i>José Francisco Monroy Gaytán</i> | |
| Capítulo 2 | |
| MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS | |
| Aplicación al estudio agroecológico y sociocultural de los huertos familiares en tres localidades del Estado de México | 47 |
| <i>Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo</i> | |
| <i>José Carmen García Flores</i> | |
| <i>Miguel Ángel Balderas Plata</i> | |
| Capítulo 3 | |
| MÉTODO PARA EL CÁLCULO DE CONCENTRACIÓN ESPACIAL | |
| Aplicación a la población boliviana en los municipios de la cuenca del río Luján, Argentina | 67 |
| <i>Gustavo D. Buzai</i> | |
| <i>Claudia A. Baxendale</i> | |
| Capítulo 4 | |
| MÉTODO DE ESTANDARIZACIÓN DE TASAS | |
| Aplicación a la mortalidad general en el Estado de México | 81 |
| <i>Jesús Emilio Hernández Bernal</i> | |
| <i>Marcela Virginia Santana Juárez</i> | |
| Capítulo 5 | |
| MÉTODO DE ESTIMACIÓN POR TELEDETECCIÓN | |
| Aplicación a la calidad del agua superficial en el Estado de México | 95 |
| <i>Enrique Estrada Bastida</i> | |
| <i>Marivel Hernández Téllez</i> | |
| <i>Alejandro Tonatiuh Romero Contreras</i> | |
| Capítulo 6 | |
| MÉTODO PARA AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL | |
| Aplicación a la mortalidad por homicidios en el Estado de México | 109 |
| <i>Giovanna Santana Castañeda</i> | |
| <i>Adrián Guillermo Aguilar</i> | |
| Capítulo 7 | |
| MÉTODOS PARA LA CLASIFICACIÓN ESPACIAL | |
| 7.1 Clasificación: aplicación a la cuenca del río Luján | 129 |
| <i>Luis Humacata</i> | |
| <i>Eloy Montes Galbán</i> | |

7.2 Métodos para el análisis de la respuesta sísmica a escala local. 143
Aplicación al ordenamiento territorial en la ciudad de San Cristóbal,
Cuba occidental

Alexis Ordaz Hernández

Capítulo 8

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE INDICADORES

8.1 Indicadores: aplicación a la microplaneación regional de la 161
educación básica en el Estado de México

Agustín Olmos Cruz

Carlos Reyes Torres

Fernando Carreto Bernal

8.2 Método para la construcción de índices multidimensionales. 177
Aplicación a la desigualdad social y comportamiento electoral en
México

Edel Cadena Vargas

Capítulo 9

MÉTODO DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO

9.1 Aplicación a la gestión sostenible del agua en la cuenca del río 193
Nenetzingo, México

Luis Ricardo Manzano Solís

Noel Bonfilio Pineda Jaimes

Miguel Ángel Gómez-Albores

9.2 Aplicación para la aptitud forestal del Área Natural Protegida 209
"Parque estatal Oso Bueno", Municipio de Acambay, Estado de México

Nancy Sierra López

Francisco Zepeda Mondragón

Marisol De la Cruz Jasso

9.3 Método LUCIS (Land Use Conflict Identification Strategy): 221
Aplicación a los usos del suelo en municipio de Luján, Argentina

Gustavo D. Buzai

Claudia A. Baxendale

Capítulo 10

MÉTODO DE INTERPOLACIÓN

Aplicación para el análisis espacio temporal de la contaminación del 239
aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca

Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo

Julio César Hernández Romero

Roberto Franco Plata

Capítulo 11

MÉTODOS DE REGRESIÓN

11.1 Regresión logística múltiple: aplicaciones para la tendencia del 255
crecimiento urbano en el municipio de Nicolás Romero, Estado de
México.

Francisco Zepeda Mondragón

Marisol De la Cruz Jasso

Cristina Estrada Velázquez

11.2 Método GWR (Geographically Weighted Regression): aplicación 267
en el análisis de la conformación del valor catastral del suelo en el
municipio de Zinacantepec, Estado de México.

Nydia Lorena Campos Apodaca

Marcela Virginia Santana Juárez

Noel Bonfilio Pineda Jaimés

Capítulo 12

MÉTODO PARA EL ESTUDIO DE FLUJOS REGIONALES

Aplicación a las principales localidades del noroeste de la Provincia de 287
Buenos Aires

Noelia Principi

Capítulo 13

MÉTODO DE LOCALIZACIÓN - ASIGNACIÓN.

Aplicación a los consultorios anexos a farmacias del sector privado en 299
el Municipio de Toluca

Giovanna Santana Castañeda

José Antonio Álvarez Lobato

Capítulo 14

MÉTODO PARA EL USO DE PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Aplicación para el estudio de sedimentos y dinámica geomorfológica 319
en el delta del río Balsas, México

Luis Miguel Espinosa Rodríguez

José de Jesús Fuentes Junco

Capítulo 15

MÉTODO DE DINÁMICA DE SISTEMAS

Aplicación al análisis de cambios en el uso del suelo en el Oeste del 337
Gran Buenos Aires

Luis Humacata

1.2 Aplicación al estudio de las actividades económicas en la ciudad de México

Juan Campos Alanís

Edel Cadena Vargas

José Francisco Monroy Gaytán

SÍNTESIS

Este capítulo presenta la aplicación de una serie de herramientas de estadística espacial que a pesar de su sencillez y alto poder explicativo en el análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE), generalmente son relegadas por otras de mayor complejidad como la autocorrelación espacial y la regresión geográficamente ponderada. Se realiza un ejercicio para analizar los patrones de localización de una de las modalidades de comercio moderno que han tenido gran auge en las ciudades: el comercio de conveniencia y se ha elegido la cadena comercial Oxxo por ser la de mayor representatividad en México.

INTRODUCCIÓN

El estudio de los problemas urbanos en la actualidad representa un desafío para las disciplinas que han acogido a las ciudades como su objeto de estudio. De esta forma, existen abordajes metodológicos muy variados que van desde buscar el entendimiento de estos problemas desde una vía netamente cuantitativa, hasta aquellos que han privilegiado el uso de técnicas cualitativas.

La geografía posee un bagaje de herramientas de análisis que por mucho superan las propuestas por otras disciplinas al considerar la dimensión espacial como una variable más para entender no solamente la intensidad con el que se dan los problemas de los problemas de las ciudades, sino también aborda y analiza su distribución y causalidad. En este sentido, el análisis espacial como una parte especializada del análisis geográfico, aglutina una serie de técnicas (la estadística espacial, el análisis exploratorio y

confirmatorio de datos espaciales). Este trabajo aborda las medidas más simples y representativas de la estadística espacial: las medidas de tendencia central y las medidas de dispersión espaciales, que a pesar de su aparente simpleza, son capaces de brindar información sobre la distribución y orientación de un determinado hecho o fenómeno que pueda presentarse en las ciudades, de ahí la importancia de mostrar de manera clara y simple su utilidad para el estudio de la realidad urbana.

Este capítulo tiene como propósito mostrar la importancia de las técnicas de estadística espacial y que pueden ser utilizadas para una gran variedad de estudios sociales y económicos, como es el caso que se presenta al analizar los patrones de distribución de la cadena comercial Oxxo y que pueden ser base para otro tipo trabajos como estudios de mercado.

GEOGRAFÍA CUANTITATIVA, ANÁLISIS GEOGRÁFICO Y ESPACIAL

Históricamente, la geografía cuantitativa surge como alternativa a la visión regional que tenía la geografía hasta inicios del siglo XX, y que retoma los planteamientos del enfoque neopositivista para explicar los fenómenos geográficos. Dos de los antecedentes más importantes fueron los trabajos de Von Thünen en 1820 que propuso un modelo que explicaba la dinámica de las actividades agropecuarias mediante anillos concéntricos, y el de Christaller (1933) denominado la “Teoría de los lugares centrales” trató de explicar la organización de las ciudades. La corriente neopositivista en la geografía aportó a la geografía cuantitativa, un estricto del lenguaje matemático que le permitió facilitar la modelación de los procesos geográficos y su entendimiento a través de la formalización matemática y estadística. En los años ochenta, la etapa donde empiezan a fincarse los cimientos de la nueva geografía cuantitativa, Capel (1982) estableció los principales fundamentos de la geografía cuantitativa son: la formulación de leyes para construir teorías sobre la distribución espacial; se resaltan las regularidades observadas más que los rasgos que diferencian los espacios geográficos; el objeto de la Geografía es el espacio, entendido en su sentido relativo y bajo un lenguaje matemático que permite su análisis a través de las formas espaciales (punto, línea y

el polígono) que posteriormente serían la base para programación de los sistemas de información geográfica. A este cambio relativo de analizar los hechos y fenómenos que ocurren en la superficie terrestre bajo formas espaciales se le denomina *abordaje geográfico* que es netamente espacial y que tiene actualmente líneas de desarrollo prácticamente en todas las ramas de la geografía (Buzai, 2015).

Buzai y Baxendale (2011) proponen 5 conceptos básicos que resumen el análisis geográfico y que fundamentan el análisis espacial:

El primero es la **localización**, que considera que todos los hechos y fenómenos geográficos y sus características tienen posición determinada sobre la superficie terrestre; el segundo concepto es el de la **distribución**, que se relaciona con la forma en que las entidades-atributos se reparten sobre la superficie terrestre; el principio de **asociación** se basa en el estudio del grado de semejanza-diferencia de los distintos atributos de las unidades espaciales; en el principio de **interacción** se consideran las relaciones en cuanto las ubicaciones de las entidades; y finalmente el principio de **evolución** incorpora la variable temporal para medir los cambios que pueden sufrir las entidades y sus atributos para pasar de una condición a otra (Buzai y Baxendale, 2011).

Así, el análisis espacial surge de la necesidad de formalizar y conceptualizar, bajo el nuevo paradigma tecnológico, los hechos y fenómenos geográficos sociales, culturales, económicos, políticos y físico. Surge principalmente de las escuelas de geografía de los Estados Unidos y Gran Bretaña y se caracteriza principalmente por la aplicación de modelos físicos, matemáticos y económicos para estudiar los hechos y fenómenos geográficos; también tiene una vertiente enfocada al desarrollo de métodos y herramientas de exploración y manejo de datos geográficos incorporando posteriormente procesos computacionales y cartografía digital con el objetivo de facilitar el análisis espacial (Benarbé-Poveda y López, 2012). Entre los geógrafos más representativos que abonaron al desarrollo de los principios del análisis espacial se pueden citar a Ullman (1956) quien sentó las bases de la interacción espacial; a Garrison (1960), Nystuen (1961) y Kansky (1963) que propusieron las bases de la teoría de grafos; y Nystuen (1963) quien profundizó

en los conceptos fundamentales como la distancia, orientación y localización relativa (Gutiérrez y Gould, 2000:197).

El análisis espacial se define como una serie de técnicas estadísticas y matemáticas aplicadas al estudio de los datos distribuidos sobre el espacio geográfico. Se enfoca desde la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica el Análisis Espacial (SIG), permite trabajar con las relaciones espaciales de las entidades contenidas en cada capa temática de la base de datos geográficos (Buzai y Baxendale 2006). Esta definición se establece dos vertientes de trabajo: la temática y la tecnológica, donde ambas consideran a los datos como fundamentales en la práctica del análisis espacial (Buzai y Baxendale, 2011).

Según Buzai (2015), en el desarrollo del campo del análisis espacial se ha ido perfilando dos grandes líneas de evolución: la primera que integra todo tipo de análisis y procesamiento con datos geográficos; y la vertiente que sustenta que el espacio geográfico influye en el comportamiento de los aspectos geométricos de las entidades espaciales. Sin embargo, ambos enfoques coinciden en que en las operaciones de análisis espacial, los resultados dependerán de la localización y si se mueven espacialmente las entidades estudiadas, los resultando también se van a modificar.

De la estadística clásica a la estadística espacial: medidas de tendencia central y de dispersión a las medidas espaciales

Las herramientas de estadística espacial más usuales son equivalentes a las medidas de concentración y de dispersión de la estadística convencional, con la diferencia de que en lugar de utilizar el valor de cada una de las observaciones para la estimación de los parámetros, la estadística espacial utiliza la localización absoluta para el cálculo y si se requiere, es posible agregar el valor de cada atributo a esa localización lo que se denomina ponderar la localización. De esta forma, las variables en estudio pueden exhibir propiedades de distribución que difícilmente sean idénticas a otras, pero a ello se le agrega el valor propio del atributo en análisis que le otorga una doble diferenciación, esto es por la localización y por el valor de la variable en cuestión (Lee y Wong, 2001).

Como se señaló, los SIG representan las entidades geográficas como puntos, líneas y polígonos en un sistema de coordenadas y con una escala determinada. Otro aspecto adicional es que la elección del tipo de entidad a utilizarse tiene que ver con el grado de abstracción del fenómeno que se está analizando, pues en muchos casos la entidad puntual es la más socorrida para los análisis de estadística espacial, no tanto para representar la realidad de una entidad geográfica, sino para localizar los hechos, fenómenos o eventos que en ella ocurren. De esta forma, muchas veces se sustituye la representación de las entidades areales o de línea por entidades de tipo puntual, utilizando los centroides, para el caso de polígonos o el punto medio de una línea. Los puntos en cualquier mapa son solamente objetos definidos por sus coordenadas, en el análisis espacial son los atributos o características asociados a estos puntos los que proporcionan los detalles para caracterizarlos de acuerdo a los objetivos de una investigación, con ello es posible definir relaciones espaciales entre puntos, similitudes entre localizaciones, agrupaciones de puntos con valores similares y próximos con base en leyes de la propia geografía. Finalmente, la exactitud de la localización y las características de los valores de los atributos deben ser considerados junto con la escala en el análisis de la información, pues de otra forma se corre el riesgo de generar resultados engañosos o poco precisos (Lee y Wong, 2001; Kellerman, 1981).

Para los fines de este ejercicio, se utilizó información obtenida del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del 2015, correspondiente a la Ciudad de México, donde se identificaron 855 unidades económicas (UE) pertenecientes a la cadena Oxxo, para ejemplificar el funcionamiento de cada una de las técnicas de estadística espacial descriptiva y se utilizaron los programas ArcGIS versión 10.2 y CrimeStat IV para la demostración de los resultados. Para el desarrollo de la demostración de las medidas de estadística espacial, se recurre a la clásica división de la estadística tradicional de separar las medidas de tendencia central y las de dispersión.

Medidas de tendencia central espacial

Al igual que en la estadística clásica, este grupo de medidas proporcionan información sobre el comportamiento de un grupo de observaciones, información que de primera mano es de suma relevancia cuando comparamos la misma variable en el tiempo o bien cuando comparamos algunas variables entre sí. La utilidad de estas medidas como parte del análisis exploratorio de datos espaciales (Anselin, 2005; Lee y Wong, 2001) radica en mostrar la localización en el espacio donde se agrupa el fenómeno en análisis. Para ello, en este grupo de medidas se encuentra la media espacial, la media espacial ponderada, la mediana espacial y la entidad central.

A diferencia de la media de la estadística clásica, que se obtiene a partir de la suma de los valores de los atributos divididos entre el número de observaciones, la media espacial se obtiene al promediar las coordenadas X y Y de los eventos georreferenciados que componen una determinada temática (por ejemplo tiendas de conveniencia, bancos, farmacias...), por lo tanto la media espacial es en sí una posición en un sistema de coordenadas derivado de un conjunto de observaciones analizadas, en otras palabras, el centro geométrico de todas las localizaciones (Ebdon, 1985; Wong, 1999; Lee y Wong, 2001), bajo el supuesto de que tienen atributos iguales (ver ecuación 1).

$$(X, Y) = \left(\frac{\sum x_i}{n}, \frac{\sum y_i}{n} \right) \dots\dots\dots 1$$

Donde:

- X,Y= Coordenadas de la media espacial
- xi,yi= Coordenadas x,y del punto i
- n= número de observaciones

La media espacial y el resto de las medidas que se analizan en este capítulo tienen una variante que permite ponderar su importancia en la distribución, la cual se denomina media espacial ponderada (weighted mean center), que se estima con la ecuación 2. La utilidad de esta medida radica en que intensidad con que se presenta una variable en uno o varios puntos en el territorio puede afectar el centro geográfico de esa distribución.

$$(X_w, Y_w) = \left(\frac{\sum w_i x_i}{\sum w_i}, \frac{\sum w_i y_i}{\sum w_i} \right)$$

Donde:

X_w, Y_w = Coordenadas de la media espacial ponderada

x_i, y_i = Coordenadas x, y del punto i

w_i = Valor del atributo en punto o unidad espacial i

La mediana espacial es otra medida de tendencia central que es posible obtener con los SIG, sin embargo no es muy clara su diferencia con respecto a la media espacial como lo es en la estadística clásica, de ahí que su uso no sea muy difundido. La mediana espacial, a diferencia de la media espacial, utiliza un algoritmo que es menos afectado por valores atípicos de los datos, por lo que permite reducir las distancias euclidianas del conjunto de datos al centro mediano, es decir, es la ubicación que minimiza las distancias del conjunto de datos (Lee y Wong, 2001; ESRI, 2015). La función para la estimación de la mediana espacial y ponderada se muestran en las ecuaciones 3 y 4.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n = \sqrt{(x_i - u)^2 + (y_i - v)^2} \text{ -----3}$$

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n f_i = \sqrt{(x_i - u)^2 + (y_i - v)^2} \text{ -----4}$$

Donde:

x_i, y_i = Coordenadas x, y del punto i

u, v = ajuste matemático de la función mediana

f_i = El peso de cada punto p_i

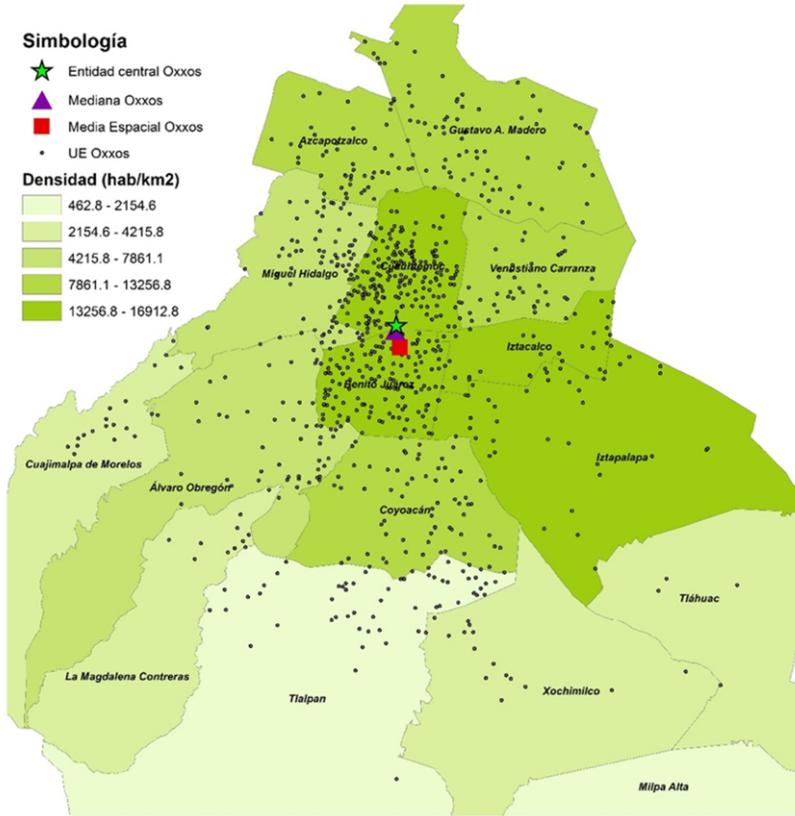
La última medida de tendencia central se denomina, entidad central que en términos llanos es el punto o centroide del conjunto de datos existente más cercano la media espacial.

Para ejemplificar estas medidas, se utilizó la información de las UE de las tiendas de conveniencia Oxxo en la Ciudad de México del

2015. Al estimar la media y mediana espacial de la distribución de las unidades comerciales Oxxo (media y mediana simple sin ponderar pues no se tiene información sobre el tamaño de las tiendas), se observa en la figura 1 una gran proximidad entre ambas medidas, de hecho se encuentran a poco más 700 metros entre si y localizadas en el centro norte de la delegaciones Benito Juárez, casi en el límite de la delegación Cuauhtémoc, prácticamente en el centro de la Ciudad de México. El caso de la entidad central correspondió a la sucursal 50 de Oxxo, denominada Siglo XXI que se localizó en parte sur de la delegación Cuauhtémoc a poco más de un kilómetro de la media espacial.

Cabe destacar que estas medidas son globales (porque resumen el comportamiento de un conjunto de datos en una localización en el territorio), pero no arrojan mayor poder explicativo de los datos, sin embargo, cuando se utilizan para comparar temáticas entre sí, como en este caso población y unidades de comercio de conveniencia, cobran sentido, pues para este ejercicio se puede establecer que existe una fuerte correspondencia locacional entre los lugares de residencia de la población y la presencia de Oxxos, por lo menos eso indican las medidas de tendencia central espacial sobre sus distribuciones en el territorio (figura 1).

Figura 1. Ciudad de México. Media, mediana espacial y entidad central del comercio de conveniencia Oxxo y densidad de población 2015.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la encuesta intercensal 2015 y DENU, 2015.

En lo referente a las bondades de ambas medidas se pueden citar los estudios relacionados con la evolución de la distribución de sucursales bancarias en ciudades donde se muestra de forma general los cambios ocurridos en las estrategias de localización de este servicio (Garrocho y Campos, 2010), así como para analizar factores de asociación-competencia espacial entre pares de firmas de farmacias (Garrocho y Campos, 2011) o su aplicación para el análisis del crimen (Harries, 2009; Eck, et al, 2005).

Medidas de dispersión espacial

De forma similar a las medidas de tendencia central espacial, las medidas de dispersión espaciales permiten apoyar el análisis y entendimiento de los hechos y fenómenos que se presentan en el territorio a través de dos grandes herramientas: la distancia estándar o típica y la elipse de desviación estándar o desviación estándar elíptica, las cuales son usadas para describir cómo un grupo de observaciones se dispersa o distribuye alrededor de una media espacial. Ambas medidas de dispersión se usan para complementar las de tendencia central espacial, puede darse el caso de que los hechos o fenómenos en análisis pueden tener medias espaciales similares, pero tener distribuciones diferentes.

La distancia estándar trabaja de forma similar a la desviación estándar en estadística clásica (que mide la distribución de los valores de datos alrededor de la media), la diferencia radica en que se trata de posiciones en el espacio y no hay valores por arriba o por debajo de una media. En análisis espacial la distancia estándar genera una entidad círculo alrededor de la media espacial y que permite visualizar el nivel de dispersión de la temática en análisis y compararla con otras en cuestión, además de se expresa en las unidades del sistema de proyección que se adopte (Taylor, 1977; Lee y Wong, 2001; Esri, 2015). Cuando existen traslapes entre las distribuciones de dos temáticas diferentes, se asume que están espacialmente cercanas, este supuesto fue la base para aplicar la estadística espacial a los estudios de segregación residencial, pero Wong (1999) define que la distancia estándar no es la medida más recomendable para abordar esta temática y propone el uso de la distancia estándar elíptica que se verá más adelante.

La ecuación 5 y 6 muestran las fórmulas para estimar las distancias estándar (simple y ponderada):

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{mc})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - y_{mc})^2}{AE}} \quad 5$$

$$SDp = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (x_i - x_{mc})^2 + \sum_{i=1}^n f_i (y_i - y_{mc})^2}{\sum_{i=1}^n f_i}} \quad \text{-----} 6$$

Donde:

x_i, y_i = Coordenadas del punto i

x_{mc}, y_{mc} = Coordenadas de la media espacial

f_i = valor de la variable en el punto i .

El círculo generado por la distancia estándar puede estimarse con una o dos desviaciones estándar. Si el patrón de entidades se concentra en el centro y con menos entidades en la periferia, se asume que es una distribución espacial normal, por lo que el círculo calculado con una desviación estándar cubrirá aproximadamente el 68% de las entidades, cuando se estima la distancia estándar con dos desviaciones se cubrirá aproximadamente el 95% de las entidades y a tres desviaciones estándar, se tendrían cerca del 98% de las mismas (ESRI, 2015).

Para ejemplificar esta medida, se utilizan de nueva cuenta las UE de los Oxxos, la población de cada delegación, así como sus medias espaciales de las UE. La ocurrencia de uno o varios fenómenos en el espacio geográfico, pueden tener medias espaciales similares entre sí, en el caso de la figura 2, la distancia entre las medias espaciales de población y de las UE es de 4.2 kilómetros, que en cierta forma refiere una fuerte correspondencia entre temáticas en una ciudad de casi mil 500 km², aunque la media espacial de la población tiende a ubicarse cercano a la delegación Iztapalapa, la de mayor población en la Ciudad de México.

Cuando se calculan las distancias estándar (calculadas con una desviación estándar) se observa una diferenciación clara en la

distribución de las UE y la población, para el caso de la primera la distancia estándar inscribe a las delegaciones centrales (Benito Juárez, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza y una parte importante de Coyoacán, Iztacalco y Álvaro Obregón. En el caso de la población, la DE, además de incorporar a las previamente descritas, se extiende significativamente a las delegaciones del sureste como son Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco, Tlalpan, y en el norte, de toca parte de Gustavo A. Madero y Azcapotzalco (figura 2).

De esta forma, la distancia estándar nos brinda una comparación visual muy rápida de la extensión de la dispersión espacial entre diferentes tipos de hechos y fenómenos geográficos (Lee y Wong, 2001), sin embargo, pueden existir casos que al comparar algunas temáticas, surja el caso de que tengan medias espaciales similares y patrones de dispersión también similares, sin embargo la dirección de sus distribuciones pueden ser diferentes. Para ello, existe otra medida de dispersión que ha sido ampliamente difundida en estudios sobre geografía criminal (Harries, 1999; Eck, 2005; Stangeland y De Los Santos, 2004), así como para estudios de segregación residencial (Wong, 1999; Garrocho y Campos, 2015 y 2016), esta medida es la distancia estándar elíptica o elipse desviacional estándar (standar deviational ellipse) que aporta un elemento más al análisis: la tendencia u orientación de la distribución. La elipse tiene tres componentes analíticos: el ángulo de rotación, el eje mayor de desviación y el eje menor de desviación. Si un grupo de grupo de puntos o casos registrados en un territorio exhibe cierta tendencia a orientarse hacia algún punto cardinal, el eje mayor registrará la máxima dispersión de las observaciones; mientras que el eje menor, perpendicular al mayor, muestra la dirección de la mínima dispersión de los datos. El ángulo formado por el norte y la intersección de los ejes mayor y menor corresponde a la orientación geográfica de la distribución de puntos analizados. De forma análoga a lo que ocurre con la distancia estándar, la construcción de las elipses a partir del número de desviaciones estándar concentrará potencialmente el mismo porcentaje del conjunto de datos (Lee y Wong, 2001; Esri, 2015).

La elipse desviacional estándar se estima con las ecuaciones 7, 8 y 9 para el caso del ángulo de rotación.

$$SDE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{mc})^2}{\mathcal{A}}} \text{-----}7$$

$$SDE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{mc})^2}{n}} \text{-----}8$$

$$\tan \Phi = \frac{A + B}{C}$$

$$A = \left(\sum_{i=1}^n x d_i^2 - \sum_{i=1}^n y d_i^2 \right)$$

$$B = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x d_i^2 - \sum_{i=1}^n y d_i^2 \right)^2 + 4 \left(\sum_{i=1}^n x d_i y d_i \right)^2} \text{-----}9$$

$$C = 2 \sum_{i=1}^n x d_i y d_i$$

Donde:

x_i, y_i = coordenadas del punto i .

x_{mc}, y_{mc} = Coordenadas de la media espacial

x_{di}, y_{di} = desviaciones de las coordenadas x, y a partir de la media espacial

n = número de entidades

En la figura 2 se muestran las elipses para las UE y la población de las delegaciones, al igual que con la distancia estándar, el tamaño de las elipses varía conforme a las características de la distribución, para este caso llama la atención que la orientación de las distribuciones son casi idénticas para UE y población, develando un patrón que va de noreste a suroeste en ambas temáticas, lo que indicaría que el patrón de localización de UE de los Oxxos estaría replicando el patrón de distribución de la población.

Como se mencionó anteriormente, las medidas de tendencia central y de dispersión espaciales presentan su forma más común como medidas resumen de una distribución, sin embargo, la elipse

de desviación puede ser utilizada para la identificación de agrupamientos de puntos que su proximidad pueden catalogarse como clústers espaciales a escala de UE. Para utilizar esta técnica se utilizó en software CrimeStat IV, para identificar agrupaciones estadísticamente significativas y se utilizó el algoritmo de “*agrupación jerárquica del vecino más cercano*” que ha sido utilizado en el análisis de daños por el sismo a escala de manzana (Garrocho, Campos y Chávez, 2018). Los parámetros de selección fueron una distancia de 1 kilómetro para el eje más largo del clúster y un umbral de al menos 10 vecinos para aceptar dicha agrupación como clúster. Con estos parámetros se identificaron 16 clústers ubicados principalmente en las delegaciones de Cuauhtémoc y Benito Juárez (9 de los 16 identificados y además son lo que mayor frecuencia interna registraron) y que son las delegaciones más centrales de la Ciudad de México. Los otros 5 clúster se encuentran aislados en las delegaciones Coyoacán, Miguel Hidalgo, Azcapotzalco, Álvaro Obregón y Venustiano Carranza (figura 3). Estos 16 clústers agrupan 288 de las 855 UE Oxxo registradas por el DENUe en el 2015, es decir, casi el 34% del total (figura 3).

Figura 2. Ciudad de México. Media espacial, distancia estándar y elipse de desviación para las UE y población, 2015

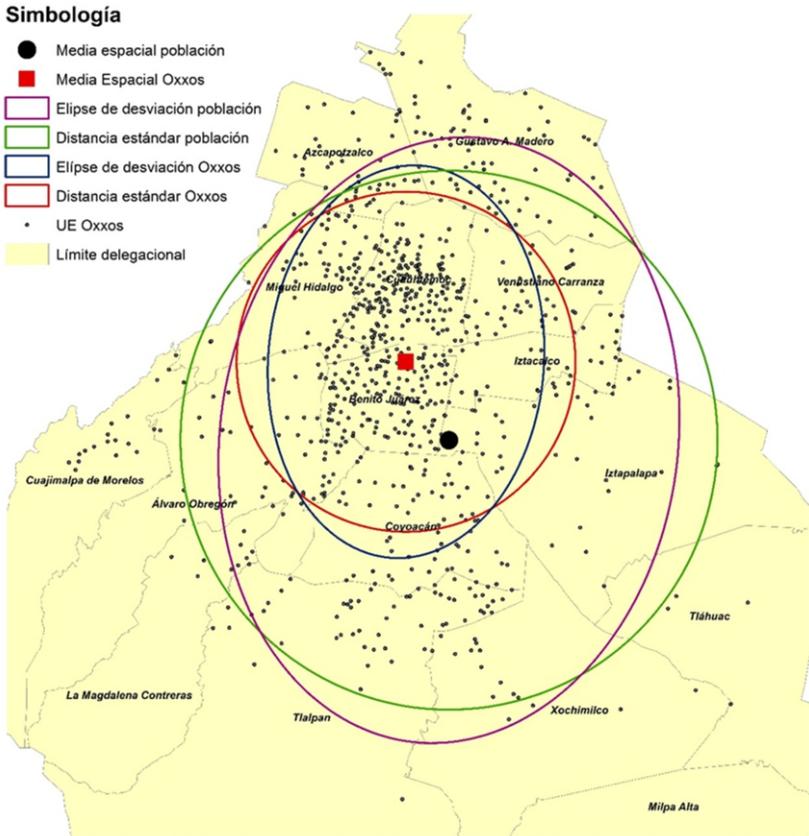
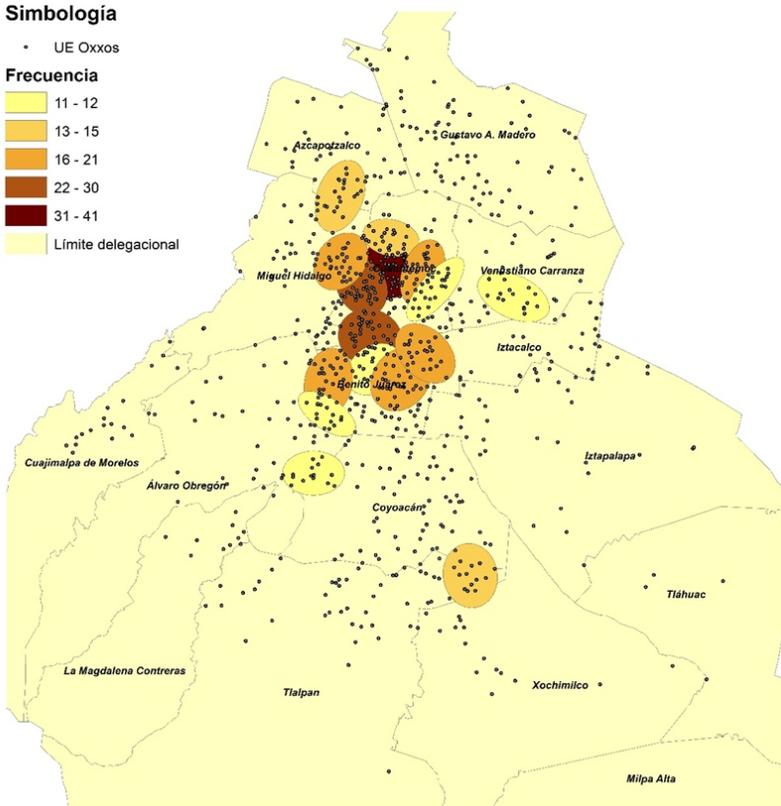


Figura 3. Ciudad de México. Clústers de UE Oxxo, 2015



Fuente: Elaboración propia con base en DENEU, 2015.

COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES

Sin duda la estadística espacial representa un salto cuantitativo y cualitativo sobre la estadística clásica para el análisis de temas diversos que se presentan en el espacio geográfico. En este ejercicio se rescata el valor analítico de medidas elementales del análisis exploratorio de datos que muchas veces son desdeñadas con considerarlas igual de simples que sus pares de la estadística clásica, sin reparar en la diferencia que radica el incluir la información relativa a la localización sumada a la de los atributos vinculados a cada observación.

Las medidas de tendencia central y de dispersión espacial analizadas en este trabajo no solo representan un avance en los métodos de la nueva geografía cuantitativa con respecto al manejo tradicional con la estadística clásica, también representan una oportunidad para explorar su utilización para entender, explicar y proponer respuestas ante problemas que se presentan en el territorio de forma cotidiana, a manera de ejemplo imaginemos la utilización de la media y mediana espacial para el análisis de la localización de empresas que compiten entre sí; o bien, utilizar la distancia estándar y la elipse desviacional para elegir la localización para una unidad comercial que busque aprovechar las economías de aglomeración en una ciudad. Estos son ejemplos muy cotidianos que pueden, sin tanto conocimiento en la estadística espacial, ser analizados con medidas tan simples como las medidas de distribución geográfica abordadas en este capítulo.

Actualmente las investigaciones que tienen como temática el análisis espacial tienden a privilegiar el uso de otras técnicas más avanzadas como la autocorrelación espacial, la regresión geográficamente ponderada, la regresión exploratoria, la autocorrelación espacio temporal, a veces no aprovechando todo el potencial de las mismas. La comprensión a fondo de las medidas básicas puede abonar en el manejo y dominio de las de mayor complejidad, en otras palabras se debe volver a lo simple (back to the basics) para entender lo complejo, dado que el campo de conocimiento del análisis espacial continúa en construcción.

BIBLIOGRAFÍA

Anselin, Luc. From SpaceStat to CyberGIS: Twenty years of spatial data analysis software. En Garrocho, Carlos (editor). *Advances in commercial geography. Prospects, methods and applications*. El Colegio Mexiquense, Zinacantepec, México, 2013.

Benarbé-Poveda, Miguel A. y Carlos M. López Vázquez. *Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE)*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2012.

Berry, J. K. The Unique Character of Spatial Analysis. GIS WORLD, 1996, vol. 9, p. 29-31.

Berry, Brian. Commercial and economic geography: past and future. En Garrocho, Carlos (editor). Advances in commercial geography. Prospects, methods and aplicaciones. El Colegio Mexiquense, Zinacantepec, México, 2013.

Buzai, Gustavo D. Geografía Global. Buenos Aires, Editorial Lugar, 1999.

Buzai, Gustavo D. Conceptos fundamentales del análisis espacial que sustentan la investigación científica basada en geotecnologías. En Fuenzalida et al. Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones. Editorial Triángulo, Santiago de Chile, 2015.

Buzai D., Gustavo y Claudia A. Baxendale. Análisis socio espacial con Sistemas de Información Geográfica, Buenos Aires: GEPAMA, 2006. ----- . Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Perspectiva científica / temáticas de base raster. (Tomo 1). Lugar Editorial. Buenos Aires, 2011.

Capel, Horacio; Arteaga, J. Luis. Las nuevas geografías. Ed. Salvat, Barcelona. 1982.

Ebdon, David. Statistics in geography. 1985.

Eck, John, et al. Mapping crime: Understanding hotspots. 2005.

ESRI. ArcGIS for desktop, help center. En <http://desktop.arcgis.com/es/desktop> descargado el 4 de abril de 2015.

Garrocho, Carlos y Campos-Alanís, Juan. Organización espacial del sistema bancario dentro de la ciudad: estrategia territorial, accesibilidad y factores de localización. Economía, sociedad y territorio, 2010, vol. 10, no 33, p. 413-453.

----- Estrategia espacial de cadenas de farmacias en el espacio intraurbano del área metropolitana de Toluca: dispersión, orientación y aglomeración. En Aguilar, Adrián y Escamilla, Irma (coords). Periurbanización y sustentabilidad en grandes ciudades. México, D.F, Miguel Ángel Porrúa/IG UNAM, 2011.

----- Réquiem por los indicadores no espaciales de segregación residencial. Papeles de población, 2013, vol. 19, no 77, p. 269-300.

----- Segregación Intraurbana de los Adultos Mayores: teoría, evidencia y opciones de política, El Colegio Mexiquense, México, 2016.

Garrocho, Carlos, Juan Campos Alanís y Tania Chávez Soto. Análisis espacial de los inmuebles dañados por el sismo 19S-2017 en la Ciudad de México. En *Salud Pública de México*, No. 60, suplemento I. pp. 31-40.

Gómez Pln'Eiro, J. Las técnicas tradicionales del análisis geográfico. Larralde, nÜ, 1994, vol. 17, p. 341-356.

Gutiérrez Puebla, Javier y Michael Gould. SIG: Sistemas de Información Geográfica. Madrid: Síntesis, 2000.

Harries, Kent A. Mapping crime: Principle and practice. 1999.

INEGI. Encuesta Intercensal 2015. INEGI, 2016.

INEGI. Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2015. INEGI, 2016.

Kellerman, A. Centrorraphic Measures in Geography CATMOG 32. En Geo Abstracts, Norwich. 1981.

Lee, Jay; Wong, David WS. Statistical analysis with ArcView GIS. John Wiley & Sons, 2001.

Mitchell, Andy. The ESRI Guide to GIS Analysis, Volume 2. ESRI Press, 2005.

Moreno, Rosina y Vayá, Esther. Técnicas econométricas para el tratamiento de datos espaciales: la econometría espacial. Edicions Universitat Barcelona, 2000.

Stangeland, Per; De Los Santos, María José Garrido. El mapa del crimen: herramientas geográficas para policías y criminólogos. Tirant lo Blanch, 2004.

Taylor, Peter J. Quantitative methods in geography: an introduction to spatial analysis. Houghton Mifflin, 1977.

Tobler, Waldo. A computer model simulation of urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 1970, no 46.

Wong, David W.S. "Spatial indices of segregation", *Urban Studies*, Vol. 30, pp. 559-572, 1993.

Wong, David WS. Geostatistics as measures of spatial segregation. *Urban Geography*, 1999, vol. 20, no 7, p. 635-647.

Esta obra se terminó de editar
en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
Mayo de 2019.



ISBN 978-987-1548-98-9

