

Análisis espacial de los inmuebles dañados por el sismo 19S-2017 en la Ciudad de México

Carlos Garrocho, D en Geogr Socioecon,⁽¹⁾ Juan Campos-Alanís, D en Geogr Socioecon,⁽²⁾
Tania Chávez-Soto, D en C Informat.⁽¹⁾

Garrocho C, Campos-Alanís J, Chávez-Soto T.
Análisis espacial de los inmuebles dañados por el sismo 19S-2017 en la Ciudad de México
Salud Pública Mex 2018;60(supl 1):S31-S40.
<https://doi.org/10.21149/9238>

Resumen

Los sentidos humanos tienen una importante capacidad para detectar patrones espaciales, pero sus limitaciones son enormes, como lo han demostrado la psicología cognitiva y la Gestalt desde hace mucho tiempo. Por tanto, se requieren instrumentos más precisos y confiables para identificar patrones y actuar en consecuencia. El análisis espacial ofrece diversas alternativas para identificar patrones territoriales estimando su significancia estadística, con lo que se minimiza la posibilidad de percibir patrones ilusorios. Este trabajo utiliza desarrollos de punta en materia conceptual, metodológica y de tecnología para: a) Identificar con estadística espacial los clusters de inmuebles dañados por el sismo del 19S-2017 en la CDMX. La estrategia se basa en una secuencia de zooms a diversas escalas geográficas: desde la escala global para toda la CDMX, pasando por las escalas de delegación, colonia y manzanas, hasta llegar a la escala mínima de inmueble; b) localizar Unidades Móviles de Emergencia mediante modelos de localización-asignación, y c) comparar los patrones espaciales de inmuebles colapsados y dañados por los grandes sismos de 1985 y 2017. Los resultados de este trabajo podrán orientar los esfuerzos de reconstrucción, atención e investigación hacia zonas prioritarias espacial y estadísticamente significativas.

Palabras clave: estadística espacial; análisis de clusters territoriales; autocorrelación espacial; modelos de localización-asignación; sismo México

Garrocho C, Campos-Alanís J, Chávez-Soto T.
Spatial analysis of buildings damaged by the S19-2017 earthquake in Mexico City.
Salud Pública Mex 2018;60(supl 1):S31-S40.
<https://doi.org/10.21149/9238>

Abstract

Our senses have an important capacity to detect spatial patterns, but their limitations are enormous, as Cognitive Psychology and Gestalt have shown for a long time. Therefore, more accurate and reliable instruments are required than our pure senses to identify patterns and act accordingly. Spatial analysis offers several alternatives to identify territorial patterns, estimating their statistical significance, minimizing the possibility of perceiving illusory patterns. This work uses cutting edge developments in conceptual, methodological and technology matters to: a) identify with spatial statistics the clusters of damaged buildings by the earthquake of 19S-2017 in Mexico City (CDMX). The strategy is based on a sequence of zooms at various geographic scales: from the global scale for the entire México City (CDMX), through delegation, neighborhood and block scales, until reaching the minimum scale: buildings; b) locate Emergency Mobile Units using location-allocation models; and c) compare the spatial patterns of collapsed and damaged buildings by the great earthquakes of 1985 and 2017. The results of this work may guide reconstruction, policy actions and research efforts towards spatially and statistically significant priority areas.

Keywords: spatial analysis; spatial cluster analysis; spatial autocorrelation; location-allocation models; Mexico earthquake

(1) El Colegio Mexiquense. Estado de México, México.

(2) Universidad Autónoma del Estado de México. Estado de México, México.

Los dos sismos más destructivos para la Ciudad de México (CDMX, antes Distrito Federal) en el último medio siglo ocurrieron un 19 de septiembre, pero con 32 años de diferencia: uno en 1985 y el otro en 2017. México era en 1985 un país inimaginable para los jóvenes del Siglo XXI. No había teléfonos celulares (hoy existen más celulares que líneas de teléfono fijas¹); era inconcebible tener una computadora en casa, las primeras computadoras portátiles apenas habían aparecido en el mercado estadounidense (la primera que fue comercializada fue la *Osborne 1*: pesaba más de 10 kilogramos y costaba 1 795 dólares americanos de ese año, equivalentes a 4 850 de 2017). El internet era muy poco conocido en México (el gran invento era algo llamado Fax) y nadie se imaginaba siquiera las redes sociales (e.g. Facebook, Twitter...) o los servicios de mensajería instantánea (e.g. WhatsApp).

La geografía se puso a la punta de estos cambios sorprendentes ocurridos en el periodo *entre sismos*. Los sistemas de información geográfica (SIG) irrumpieron como el nuevo “procesador de palabras” de los geógrafos, los sistemas de posicionamiento global (GPS) permitieron localizar con coordenadas cualquier ente o fenómeno y darle seguimiento espacial en tiempo real; las fuentes de información (e.g. las del INEGI) superaron las expectativas de todos; se desarrollaron nuevos métodos en análisis espacial y los avances en *software* y *hardware* convirtieron esos métodos en algo de uso cotidiano entre los geógrafos.²

Este trabajo utiliza desarrollos de punta en materia conceptual, metodológica y de tecnología para: a) identificar con estadística espacial los *clusters* de inmuebles dañados por el sismo del 19S-2017 en la CDMX. La estrategia se basa en una secuencia de *zooms* a diversas escalas geográficas: desde la escala global para toda la CDMX, pasando por las escalas de delegación, colonia y manzanas, hasta llegar a la escala mínima de inmueble; b) localizar unidades móviles de atención mediante modelos de localización-asignación; y, c) comparar los patrones espaciales de inmuebles colapsados y dañados por los grandes sismos de 1985 y 2017. Los resultados de este trabajo podrán orientar los esfuerzos de reconstrucción, atención e investigación hacia zonas prioritarias, espacial y estadísticamente significativas.

Material y métodos

La principal fuente de información fue la Plataforma de Inmuebles Dañados que opera el Gobierno de la CDMX e incluye más de 7 600 inmuebles con sus coordenadas geográficas (<https://mapas.sismomexico.org>). Se complementó con información de portales web de mapeo

colaborativo. Una vez que se eliminaron los registros duplicados, la base quedó con 4 120 inmuebles.

Para el análisis espacial de los inmuebles dañados se planteó una *secuencia de zooms* desde la escala de ciudad (i.e. la CDMX) hasta la escala de inmueble, pasando por la de delegación, colonia y manzana. En un primer momento se utilizaron indicadores integrales como la media espacial, la distancia estándar, la distancia estándar elíptica y el Índice de Autocorrelación Espacial Global de Moran.²⁻⁴ En una segunda etapa, se agrupó la información por unidad territorial (i.e. delegación, colonia y manzana) a fin de identificar zonas o *clusters* con similitudes en términos de la ocurrencia de los daños y de su localización espacial, para lo que se aplicó el Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran.² En la tercera etapa, el análisis se llevó a la escala mínima (el inmueble dañado), para lo que se realizaron análisis de *clusters* de puntos (i.e. *hot spot analysis*). Finalmente se simularon escenarios para localizar de manera óptima unidades móviles de atención mediante modelos de localización-asignación y se compararon los patrones de inmuebles colapsados y dañados en los sismos de 1985 y 2017. El análisis estadístico se apoyó en *software* diverso tanto comercial como de acceso libre: ArcMap v.10.2, GeoDa v.1.6.; CrimeStat v.3.3 y en sistemas informáticos de El Colegio Mexiquense (desarrollados por la Estación de Inteligencia Territorial: CHRISTALLER).

Discusión

Patrones espaciales de los inmuebles dañados a diferentes escalas territoriales

Análisis a escala global: la CDMX

El indicador por excelencia para develar si el patrón espacial de un fenómeno distribuido en unidades territoriales es *disperso* o *concentrado* es el Índice de Autocorrelación Espacial de Morán. En su versión *global* devela el patrón para toda el área de estudio (e.g. la CDMX); en su versión *local* descubre *clusters* de unidades territoriales al interior del área de estudio (e.g. agrupaciones de delegaciones o colonias). El Índice de Autocorrelación de Moran se interpreta de forma similar al coeficiente de correlación de Pearson de la estadística estándar: los valores van de -1 (perfecta autocorrelación negativa) a +1 (perfecta autocorrelación positiva).⁴

Para la CDMX, el Índice de Autocorrelación Espacial Global de Moran fue de 0.536: alto y positivo. Esto refleja que, a escala de la CDMX, el patrón espacial de los inmuebles dañados tiende a concentrarse en *clus-*

ters de unidades territoriales en la misma condición: unidades con altos daños rodeadas de vecinas también con altos daños, y unidades territoriales con daños bajos rodeadas de vecinas que también registran pocos inmuebles dañados.

Análisis a escala de delegación

El análisis por delegación permite una aproximación de manera menos general al comportamiento del desastre. Las delegaciones con mayor número de afectaciones fueron Cuauhtémoc (1 194 reportes), Benito Juárez (904), Coyoacán (401) e Iztapalapa (345). A pesar de la intensidad del sismo y de que prácticamente hubo afectaciones en toda la CDMX, la media espacial (ME) indica que el centroide de la distribución de los inmuebles dañados se localizó a 1.3 km al nororiente del centro de la delegación Benito Juárez. En análisis espacial la distancia estándar (DE) genera un círculo alrededor de la media espacial que permite visualizar el nivel de dispersión de la variable analizada.⁴⁻⁵ Para el caso de la CDMX, la DE registró un radio de 7.7 kilómetros a partir de la ME, que genera un área de 188 km², donde se localizaron 68.7% de los inmuebles dañados (figura 1).

Otra medida de dispersión que ha sido ampliamente utilizada en estudios geográficos es la distancia estándar elíptica (DEE) (*standar deviational ellipse*):⁶⁻¹¹ La DEE aporta un elemento más al análisis: la tendencia u orientación espacial del fenómeno estudiado. La elipse tiene tres componentes analíticos: El eje mayor que registra la máxima dispersión de las observaciones; el eje menor, que indica la dirección de la mínima dispersión de los datos, y el ángulo formado por el norte y la intersección de los ejes mayor y menor que corresponde a la orientación geográfica de la distribución de puntos analizados.⁴⁻⁵ En este análisis, el eje mayor registró una longitud de 17.5 kilómetros y el menor de 13.2 km; la orientación de la distribución de los inmuebles dañados fue de suroriente a norponiente en un área ligeramente menor a la reportada por la DE (181.4 km²). Esta orientación puede deberse a que el epicentro del sismo se ubicó en el estado de Morelos. Destaca que tanto la DE como la DEE quedan inscritas casi totalmente en los límites de las delegaciones Cuauhtémoc, Benito Juárez, Coyoacán y en gran parte de Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza, Álvaro Obregón, Iztacalco e Iztapalapa (figura 1).

Análisis a escala de colonia

El análisis por colonia (figura 2) permite identificar las zonas al interior de las delegaciones que registraron

mayores afectaciones y así focalizar las acciones de atención. En este sentido, los daños más evidentes ocurrieron en la mayor parte de las delegaciones Cuauhtémoc y Benito Juárez, en particular en las colonias Centro, Cuauhtémoc, Juárez, Roma Norte y Sur, Hipódromo y Doctores. Menor incidencia de daños se reportó en las colonias Guerrero, Tabacalera, San Rafael, Santa María la Rivera, La Condesa y la Obrera. En la delegación Benito Juárez destacan por lo numeroso de los inmuebles dañados las colonias Del Valle (en sus tres secciones), Narvarte (Oriente y Poniente), Santa Cruz Atoyac, Portales (Norte y Sur), Álamos y Nápoles. En delegaciones contiguas a las arriba citadas, la incidencia de daños en las categorías más altas se localizaron en menos colonias. Por ejemplo, en la delegación Coyoacán destacan las colonias Parque San Andrés, Campestre Churubusco y Paseos de Taxqueña, y en la delegación Miguel Hidalgo sobresalen las colonias Polanco y Anzures. Con menos reportes en las categorías de alta afectación se encontraron de forma aislada las colonias Lindavista en la delegación Gustavo A. Madero y la Agrícola Oriental en la delegación Iztacalco (figura 2).

Visualmente, la cartografía temática del número de inmuebles dañados resulta muy atractiva al brindar información detallada. Sin embargo, existe una técnica de estadística espacial denominada autocorrelación espacial que permite identificar agrupamientos (*clusters*) de unidades territoriales con similitudes en algún atributo (en este caso: inmuebles dañados), pero que además son vecinas o están próximas en términos espaciales.^{2,11} El Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran agrupa las unidades territoriales (e.g. colonias) en cuatro categorías o combinaciones posibles que permiten alimentar políticas diferenciadas de atención:

- i. *Alto-alto*: colonias con un gran número de inmuebles dañados que tienen como vecinas a otras colonias con daños de intensidad también alta;
- ii. *Bajo-bajo*, colonias con daños bajos y cuyos vecinos se encuentran en la misma condición;
- iii. *Bajo-alto*, colonias con baja incidencia de daños, próximas a otras colonias con un número alto de inmuebles dañados; y,
- iv. *Alto-bajo*, integrado por colonias con alta incidencia de daños, pero con vecinos en la situación opuesta.

Como se mencionó anteriormente, el Índice de Autocorrelación Espacial Global de Moran fue de 0.536, lo que indica un patrón de *clusters* de colonias con niveles similares de afectación. Pero en el análisis a escala de colonia destaca que prácticamente todas las colonias se concentran en el cuadrante *alto-alto*. Por

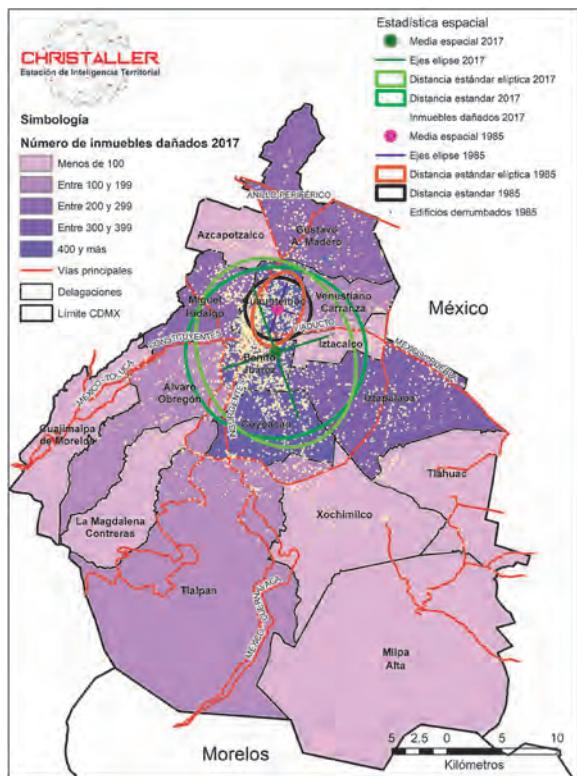


FIGURA 1. FRECUENCIA DE INMUEBLES DAÑADOS POR DELEGACIÓN Y MEDIDAS DE DISPERSIÓN ESPACIAL. ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS INMUEBLES DAÑADOS POR EL SISMO 19S-2017 EN LA CIUDAD DE MÉXICO

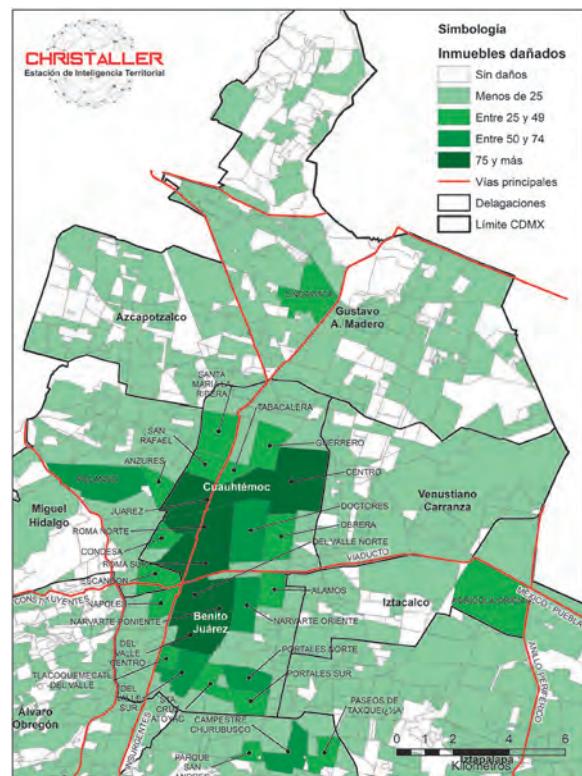


FIGURA 2. COLONIAS CON MAYOR INCIDENCIA DE INMUEBLES DAÑADOS. ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS INMUEBLES DAÑADOS POR EL SISMO 19S-2017 EN LA CIUDAD DE MÉXICO

tanto, el patrón espacial de los inmuebles dañados a escala de colonia es muy claro: positivo y altamente autocorrelacionado. Esto significa que las colonias con gran número de inmuebles dañados tienen como vecinas a colonias que también registraron daños de alta intensidad (figura 3).

Cuando se localiza espacialmente el clúster *alto-alto* de la figura 4, aplicando un nivel de confianza estadística de 0.95, se observa un *cluster* estadísticamente significativo que integra prácticamente la totalidad de las colonias de las delegaciones Cuauhtémoc, Benito Juárez, una franja importante de la parte central de la Miguel Hidalgo, así como colonias contiguas de las delegaciones Coyoacán y Venustiano Carranza. Este *clúster crítico* se compone de 96 de las 2 399 colonias registradas por el INEGI en 2010, lo que significa que, en 4% del total de colonias, se registró 57% de los inmuebles dañados por el sismo 19S-2017 (figura 4).

Análisis a escala de manzana

A pesar de los hallazgos anteriores, el nivel de desagregación por delegación o colonia puede llevar a la denominada *falacia ecológica*, que implica suponer que las unidades territoriales son homogéneas en su interior. La falacia ecológica ha sido señalada como una de las fallas más importantes al utilizar información espacial. Una manera de reducir el problema de la falacia ecológica es utilizar unidades territoriales de dimensiones mínimas.¹⁰ Por eso se utilizó aquí la información estadística y cartográfica más desagregada que ofrece el INEGI: la escala de manzana.¹² Para exemplificar su utilidad, el análisis de esta sección se concentró en la delegación Cuauhtémoc, que fue la que registró el mayor número de inmuebles dañados en 2017 (y también en el gran sismo de 1985).

Los resultados develan polígonos (*clusters*) de manzanas con alta incidencia de inmuebles dañados

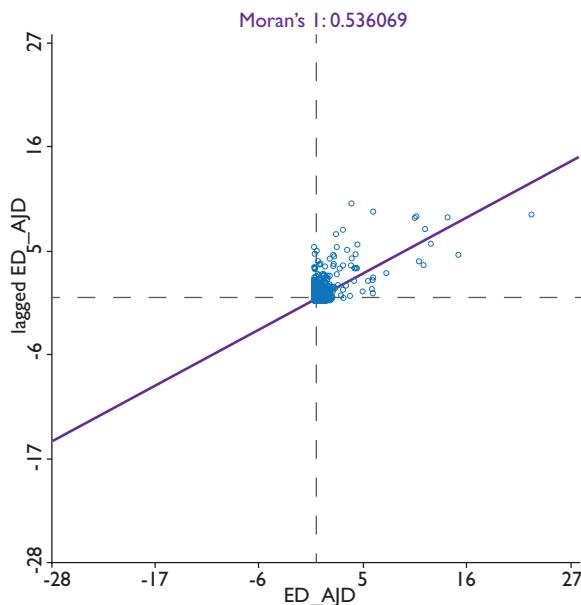


FIGURA 3. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE LAS COLONIAS CON PRESENCIA DE INMUEBLES DAÑADOS. ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS INMUEBLES DAÑADOS POR EL SISMO 19S-2017 EN LA CIUDAD DE MÉXICO

(figura 5).¹² Por ejemplo, el polígono delimitado por las avenidas San Cosme-Insurgentes Norte y Paseo de la Reforma. Otro polígono importante es el que delimitan las avenidas Chapultepec, Viaducto Miguel Alemán y Circuito Interior, bordeando las colonias Roma Norte y Sur e Hipódromo, que fueron de las más afectadas por el sismo. En el caso de la colonia Centro, las concentraciones de afectaciones más intensas se registraron entre el Eje 1 Norte, República del Salvador, Anillo de Circunvalación y el Eje Central Lázaro Cárdenas. En el resto de la delegación Cuauhtémoc se registró ocurrencia intensa de daños pero en manzanas aisladas, sin registrar un patrón de correlación espacial estadísticamente significativo.

Análisis a escala de inmueble

La escala mínima a la que es posible llevar el análisis espacial es la de punto, que en este caso es la de inmue-

* En el análisis por colonias se utilizó la matriz Queen que considera como vecinos a cualquier par de unidades espaciales que comparten una frontera o un vértice. En el caso de las manzanas, las fronteras que los delimitan no son contiguas y debe considerarse una distancia umbral o mínima necesaria para estimar la autocorrelación espacial. Véanse los detalles metodológicos en Anselin² y Garrocho y Campos.¹⁴

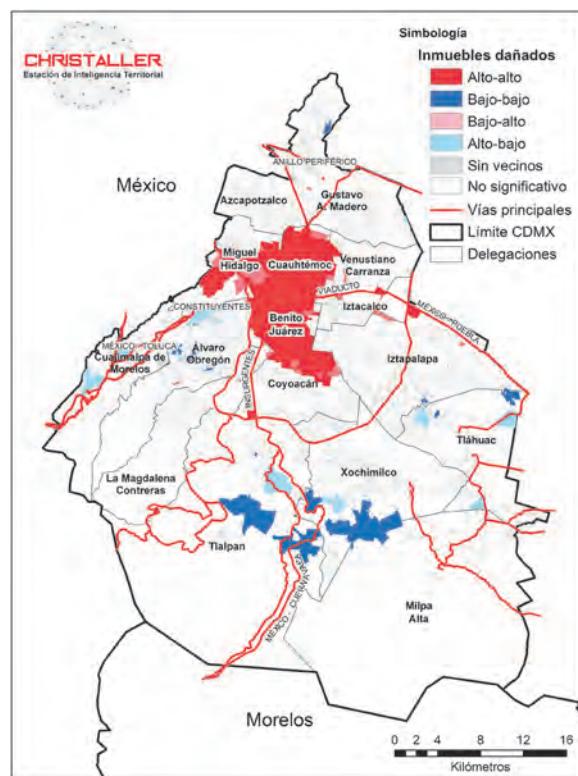


FIGURA 4. ÍNDICE DE AUTOCORRELACIÓN LOCAL DE MORAN DE COLONIAS SEGÚN LA INCIDENCIA DE INMUEBLES DAÑADOS. ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS INMUEBLES DAÑADOS POR EL SISMO 19S-2017 EN LA CIUDAD DE MÉXICO

ble dañado. Se utilizó el software CrimeStat v.3.3 para identificar concentraciones estadísticamente significativas de inmuebles dañados. Para este análisis se utilizó el algoritmo “Agrupación Jerárquica del Vecino Más Cerano” que identifica *clusters* de primer orden.¹³

Los parámetros para develar los *clusters* fueron: a) una distancia máxima de 450 metros para el eje más largo del *cluster*, y b) cincuenta inmuebles dañados como umbral mínimo para aceptar una concentración como *cluster*. Con estos parámetros se identificaron 13 *clusters*: seis ubicados en la delegación Cuauhtémoc, seis en la Benito Juárez y uno en la delegación Coyoacán (cuadro I, figura 6). La magnitud de los *clusters* va de 133 inmuebles dañados en el *cluster* “A”, hasta 51 en el *cluster* “M”.

Por delegación, los trece *clusters* suman 976 inmuebles dañados: 517 en la delegación Cuauhtémoc (53%), 400 en la delegación Benito Juárez (41%) y 59 en

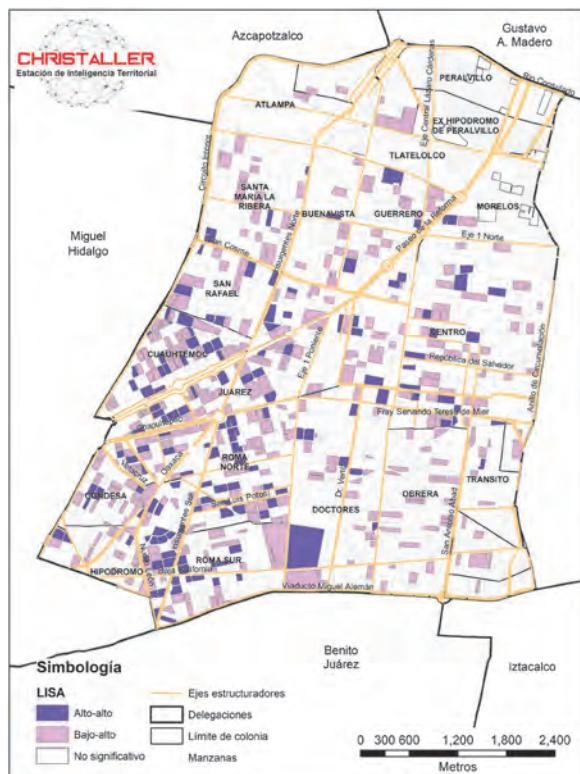


FIGURA 5. DELEGACIÓN CUAUHTEMOC. INDICADOR DE AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL LOCAL DE MORAN POR MANZANAS. ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS INMUEBLES DAÑADOS POR EL SISMO 19S-2017 EN LA CIUDAD DE MÉXICO

la delegación Coyoacán (6%). En estos *clusters* se localizan 76 339 viviendas (cuadro II). La relación entre el número de viviendas y el número de inmuebles dañados ofrece una dimensión *cuantitativa* más cercana a la gente respecto de la intensidad de los daños: el *cluster* con el mayor índice es el “L” (14.2) en la colonia Del Valle Sur de la delegación Benito Juárez, mientras que el *cluster* con el índice menor es el “A” (4.23) en las colonias Hipódromo/Roma Sur en la delegación Cuauhtémoc (cuadro 2, figura 7).

Anteriormente, se identificó a la delegación Cuauhtémoc como la que registró mayor número de inmuebles dañados. La figura 8 hace un *zoom* a los *clusters* de inmuebles dañados en esa delegación, ya que resultan estratégicos para que los especialistas (e.g. ingenieros) puedan concentrar sus esfuerzos con el fin de explicar la vulnerabilidad de esas zonas (figura 8).

Los *clusters* con mayor densidad de inmuebles dañados se localizan en la delegación Cuauhtémoc y son los siguientes: “A” (colonias Hipódromo y Roma Sur), “C” (colonias Juárez y Roma Sur), “B” (colonia Cuauhtémoc) y “M” (colonias Hipódromo, Hipódromo Condesa y Condesa). Estos *clusters* son zonas clave por su mayor vulnerabilidad a sismos.

¿Cambió el patrón espacial de inmuebles dañados por los sismos de 1985 y 2017?

La información de 1985 utilizada en esta sección considera sólo los inmuebles *colapsados*. Es decir, se trata de una muestra espacialmente aleatoria de los inmuebles

**Cuadro I
DESCRIPCIÓN DE LOS CLUSTERS (HOT SPOTS). ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS INMUEBLES DAÑADOS POR EL SISMO 19S-2017 EN LA CIUDAD DE MÉXICO**

Delegación	Identificación del cluster	Identificación del cluster	Número de inmuebles dañados
Cuauhtémoc	A	Hipódromo / Roma Sur	133
	B	Cuauhtémoc	112
	C	Juárez / Roma Sur	94
	G	Centro / Tránsito / Obrera	67
	J	Roma Norte	60
	M	Hipódromo / Hipódromo Condesa / Condesa	51
Benito Juárez	D	Narvarte Poniente / Piedad / Narvarte	78
	E	Portales Norte / Portales Sur	72
	F	Narvarte Poniente	70
	H	Del Valle Centro	65
Coyoacán	K	Del Valle / Nápoles	60
	L	Del Valle Sur / Centro Urbano Presidente Alemán	52
	I	Paseos de Taxqueña	62
Total			976

Fuente: elaboración propia

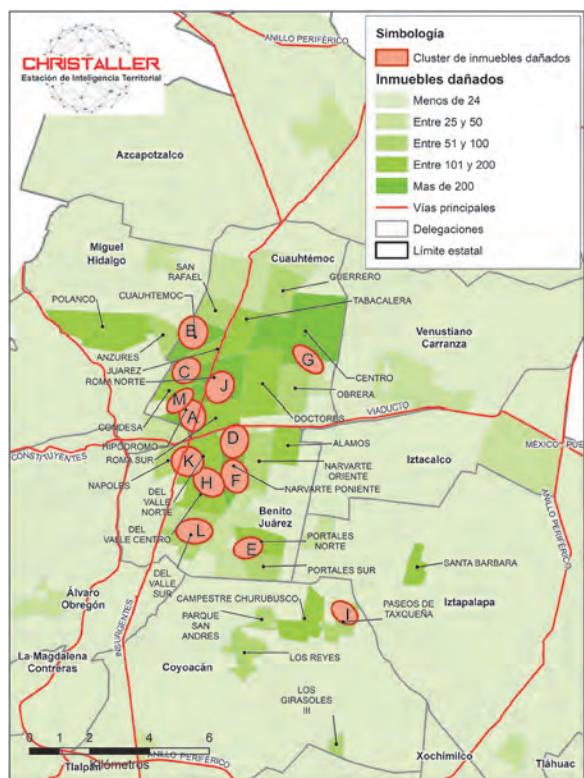


FIGURA 6. CLUSTERS DE INMUEBLES DAÑADOS. ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS INMUEBLES DAÑADOS POR EL SISMO 19S-2017 EN LA CIUDAD DE MÉXICO

dañados en el gran sismo de ese año. Esta es la información que se comparó con la de inmuebles *dañados* de 2017, por lo que el contraste debe valorarse con prudencia. Se calculó la media espacial y la distancia estándar elíptica de ambas distribuciones y se superpusieron en el mismo mapa (figura 9).

La media espacial (ME) de la distribución de 1985 se ubicó en la delegación Cuahtémoc, a casi 4 kilómetros al norte de la ME de 2017, que se localizó a 1.3 km al nororiente del centro de la delegación Benito Juárez (figura 9). En 1985, la superficie de mayor afectación de inmuebles *colapsados* de acuerdo con la DE tuvo una extensión de 25.1 km², localizada casi exclusivamente en los límites de la delegación Cuahtémoc, donde se concentró 76.6% de los inmuebles *colapsados*. En cambio, en 2017 la DE de los inmuebles *dañados* registró un área de 188 km² en la que se localizó 68.7% de los reporte de daños. Esta diferencia en la extensión de las áreas se debe a que las muestras de ambos años incluyen inmuebles con afectaciones diferentes (colapsados contra dañados).

Cuadro II
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS CLUSTERS.
ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS INMUEBLES DAÑADOS
POR EL SISMO 19S-2017 EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Delegación	Identificación	Manzanas	Viviendas	Número de inmuebles dañados
Cuahtémoc	A	85	5 627	133
	B	79	6 832	112
	C	59	4 687	94
	G	66	4 468	67
	J	80	5 517	60
	M	60	4 430	51
	D	80	6 190	78
Benito Juárez	E	59	4 671	72
	F	60	7 517	70
	H	65	6 997	65
	K	79	7 370	60
	L	57	7 364	52
Coyoacán	I	54	4 669	62

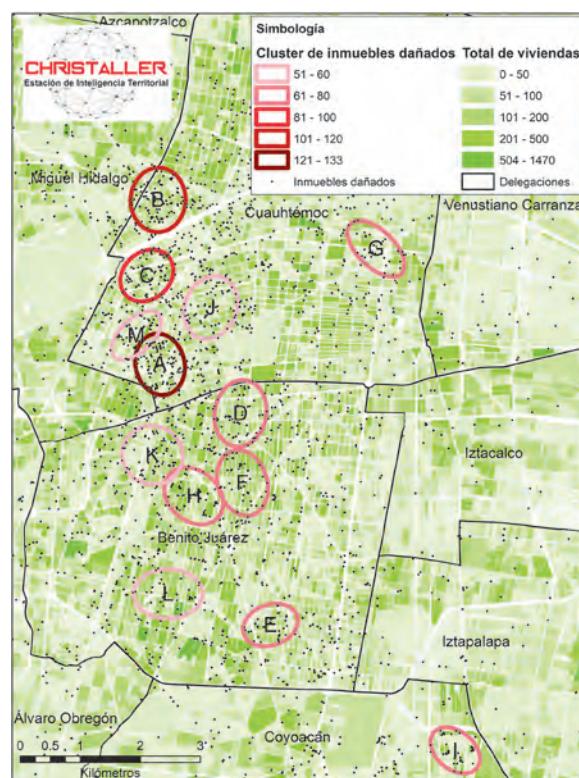


FIGURA 7. RELACIÓN DE CLUSTERS DE INMUEBLES DAÑADOS CON EL TOTAL DE VIVIENDAS EN LA ZONA DE ESTUDIO. ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS INMUEBLES DAÑADOS POR EL SISMO 19S-2017 EN LA CIUDAD DE MÉXICO

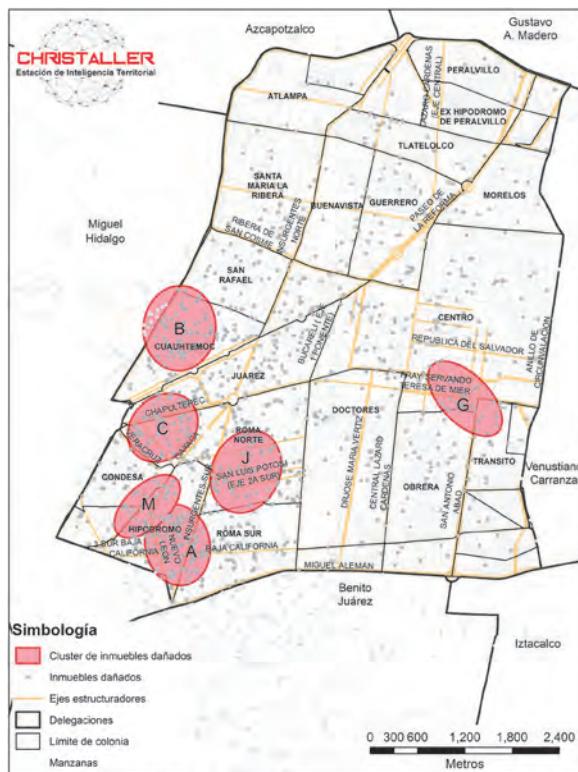


FIGURA 8. CLUSTERS DE INMUEBLES DAÑADOS EN LA DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC. ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS INMUEBLES DAÑADOS POR EL SISMO 19S-2017 EN LA CIUDAD DE MÉXICO

En 1985, la distancia estándar elíptica (DEE) de edificios colapsados registró en su eje mayor una longitud de 6.9 kms y de 4.0 kms en su eje menor (dentro de la delegación Cuautlémoc), mientras que en 2017 las longitudes de los ejes fueron 17.5 y 13.2 kms respectivamente, sobre las delegaciones Cuauhtémoc, Benito Juárez, Coyoacán y gran parte de Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza, Álvaro Obregón, Iztacalco e Iztapalapa (figura 9). Esta diferencia entre las DEE se explica también porque se comparan inmuebles colapsados frente a dañados.

Es más interesante, quizá, observar que la orientación de la ocurrencia de derrumbes en 1985 fue de suroeste a norponiente, prácticamente contraria a la registrada a la de inmuebles dañados en 2017. Esto se asocia, probablemente, con la localización de los epicentros de los sismos: el de 1985 ocurrió en las costas

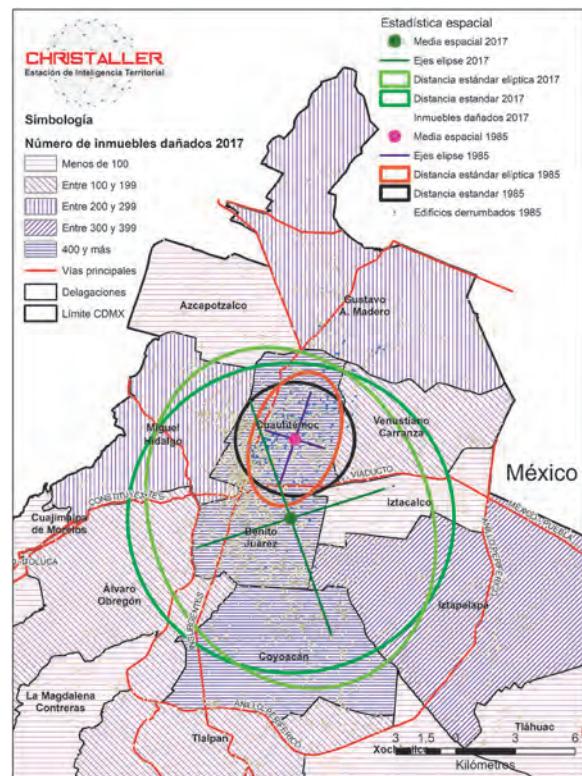


FIGURA 9. INMUEBLES DAÑADOS Y MEDIDAS DE ESTADÍSTICA ESPACIAL 1985 Y 2017. ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS INMUEBLES DAÑADOS POR EL SISMO 19S-2017 EN LA CIUDAD DE MÉXICO

de Michoacán, mientras que el más reciente ocurrió en el estado de Morelos (figura 9).

Tanto en 1985 como en 2017 los daños se concentraron mayoritariamente en la Delegación Cuauhtémoc, por lo que se hace un *zoom* para observar los detalles en la zona. Los resultados indican que los patrones espaciales de los inmuebles dañados por cada sismo registran una *fuerte correspondencia espacial* entre ellos. Primero, la ME de ambas distribuciones difiere sólo 900 metros una de la otra. Segundo, la dirección de las elipses derivadas de la DEE es prácticamente la misma en ambas distribuciones: corren sobre la avenida Chapultepec, del suroeste al nororiente. Tercero, las colonias Roma (Norte y Sur), Juárez, Condesa y Cuauhtémoc son las que concentran la mayor parte de los daños en ambos años, aunque en 1985 la colonia Centro fue una de las que registró muy alta incidencia de derrumbes (figura

10). Cuarto, la *superficie de intersección* entre las elipses de distribución de daños (DEE) de 1985 y 2017 son un indicador de correspondencia espacial.⁹ En este caso, el porcentaje de superposición entre ambas distribuciones es 82%, lo que indica una correspondencia espacial muy alta entre las dos (figura 10).

Localización óptima de Unidades Móviles de Atención

La información de los *clusters* permitió alimentar fácilmente la Estación de Inteligencia Territorial: CHRISTALLER® de El Colegio Mexiquense, y operar modelos de localización-asignación para generar información sobre la localización óptima de Unidades Móviles de Atención (UMA). Se generaron diversos escenarios; aquí sólo se presentan dos. En el escenario-1 se localizaron cinco UMA con una restricción de distancia promedio a recorrer de 500 metros (i.e. personal de las

UMA pueden ir a la población o la población puede ir a las UMA). El modelo localizó las UMA muy cerca de los *cluster* identificados. En el Escenario-2 se localizaron 10 UMA y se amplió el umbral de distancia a un kilómetro (figura 11). En este escenario, las UMA también fueron localizadas muy cerca de los *clusters* develados. El tiempo de procesamiento de CHRISTALLER® en ambos escenarios (con 4 120 inmuebles dañados) fue menor a cinco minutos.

Conclusiones

Como se pudo observar en este breve análisis, el poder explicativo de las herramientas de análisis espacial supera con creces a los indicadores de frecuencia y densidad de ocurrencia de la estadística estándar, que tradicionalmente son utilizados al analizar los desastres. Estas herramientas de nueva generación tienen un enorme potencial de ser utilizadas para dar una mejor

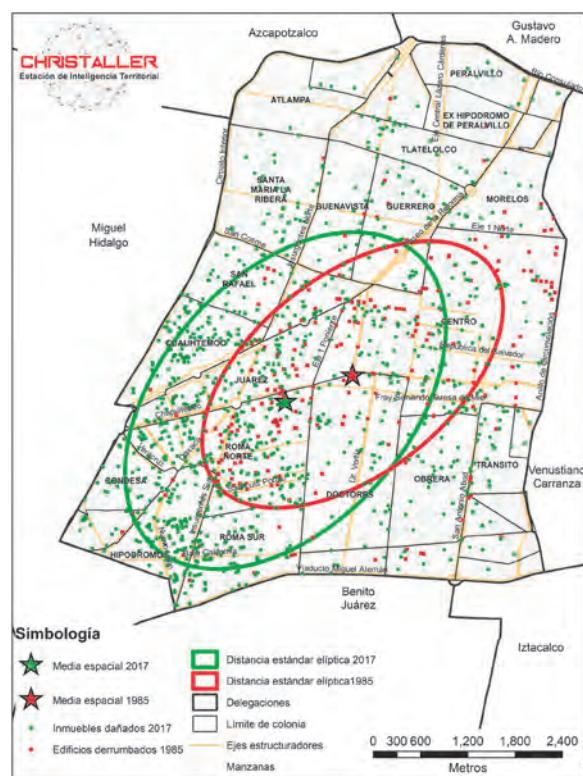


FIGURA 10. DELEGACIÓN CUAUHTEMOC. MEDIA ESPACIAL Y DISTANCIA ESTÁNDAR ELÍPTICA DE LOS INMUEBLES COLAPSADOS EN 1985 Y DAÑADOS EN 2017. CIUDAD DE MÉXICO

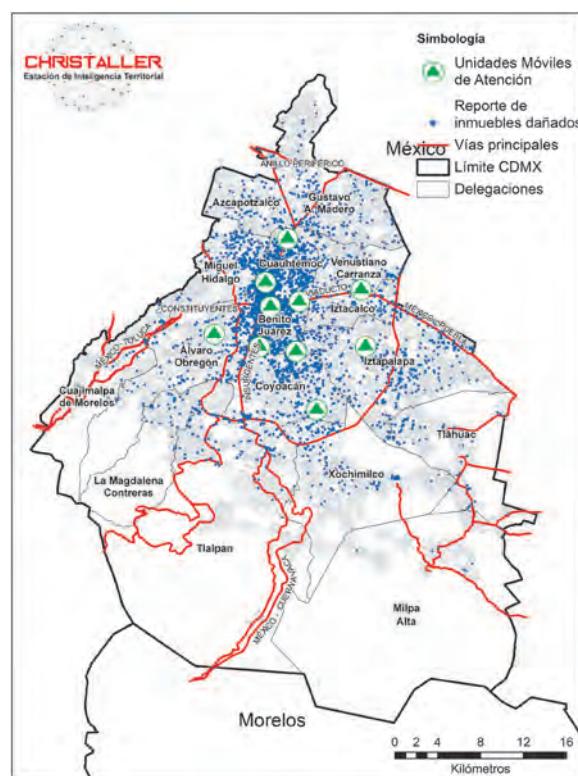


FIGURA II. LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE UNIDADES MÓVILES DE ATENCIÓN DE ACUERDO CON LA UTILIZACIÓN DE LOS INMUEBLES DAÑADOS

orientación a las decisiones de política, de investigación, prevención y atención que puedan diseñarse con visión de futuro para hacer frente a una realidad que no es posible ignorar: vivimos en una zona altamente vulnerable a sismos.

Declaración de conflicto de intereses. Los autores declararon no tener conflicto de intereses.

Referencias

1. Garrocho C, Campos J. Requiem por los indicadores no espaciales de segregación residencial. *Papeles de Población*. 2013;19(77):269-300.
2. Anselin L. Exploring data with GeoDa: A workbook. University of Illinois, Center of Spatially Integrated Social Sciences, 2005.
3. Wong D. Spatial indices of segregation, *Urban Studies*. 1993;30:559-72. <https://doi.org/10.1080/00420989320080551>
4. Lee J, Wong D. Statistical analysis with ArcView GIS. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons; 2001.
5. ESRI. ArcGIS for desktop, help center. [Internet] [consultado 4 de abril de 2015]. Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/desktop>
6. Harries, K. Mapping crime: Principle and practice. Washington DC: US Department of Justice, 1999.
7. Eck JE, Chainey S, Cameron JG, Leitner M, Wilson RE. Mapping crime: Understanding hotspots. Washington, DC: US Department of Justice; 2005.
8. Stangeland P, de los Santos J. El mapa del crimen: herramientas geográficas para policías y criminólogos. Tirant lo Blanch; 2004.
9. Wong D. Geostatistics as measures of spatial segregation, *Urban Geography*. 1999;20(7):635-647. <https://doi.org/10.2747/0272-3638.20.7.635>
10. Garrocho C, Campos J. Organización espacial del sistema bancario dentro de la ciudad: estrategia territorial, accesibilidad y factores de localización. *Economía, Sociedad y Territorio*. 2010;10(33):413-453.
11. Garrocho C, Campos J. Segregación socioespacial de la población mayor. La dimensión desconocida del envejecimiento. Zinacantepec, México: El Colegio Mexiquense, AC, 2016.
12. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de Población y Vivienda 2010. Principales resultados por AGEB y manzana urbana. [Internet] INEGI, 2010 [consultado sep 22, 2017] Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/microdatos/Encuestas.aspx?c=34553>
13. Bailey TC, Gatrell AC. Interactive spatial data analysis. Essex (UK): Longman Scientific & Technical, 1995.
14. Garrocho C. Dinámica de las ciudades de México en el siglo XXI: Cinco vectores clave para el desarrollo sostenible. DF, México: El Colegio Mexiquense, AC, Consejo Nacional de Población, Fondo de Población de las Naciones Unidas, 2013.