

DINÁMICA ESPACIO TEMPORAL EN LA SUPERPOSICIÓN Y CONCENTRACIÓN DE DELITOS: UN CASO APLICADO PARA MEDELLÍN

Andrea Peláez Romero* Catalina Gómez Toro**

15 de marzo de 2021

Resumen

El presente artículo identifica y analiza la dinámica espaciotemporal de los puntos calientes de homicidio, hurto, extorsión e incautación de drogas en la ciudad de Medellín para el período comprendido entre 2004 y 2018. A través del cálculo de los LISA (Indicadores de Asociación Espacial Local) se encontró que los puntos calientes de criminalidad se superponen, confirmando que en los barrios coexisten diferentes formas de criminalidad y que los agrupamientos de delitos exhiben un comportamiento particular en el espacio y en el tiempo, respondiendo a dinámicas de dispersión y consolidación. Los análisis derivados de las dinámicas espaciotemporales de los puntos calientes en Medellín constituyen un recurso importante para la planeación estratégica de las instituciones y organismos de seguridad, sin embargo, no capturan los patrones que se evidencian en los barrios cuando los delitos se superponen. Por ello, se propone una técnica de clustering basada en un modelo de mezcla de Poisson multivariante, con el fin de confirmar el solapamiento de los puntos calientes del crimen, además de identificar el perfil delictivo de los barrios, caracterizándolo entre alta, media y baja ocurrencia de delitos, para obtener mayor precisión en la intervención de estos territorios.

Key Words: Clustering; modelo mixto Poisson; datos de conteo multivariados; crimen; solapamiento; relaciones espacio temporales

*Estudiante de maestría, Universidad EAFIT. e-mail: ajpelaezr@eafit.edu.co

**Jefe de pregrado de la Escuela de Economía y Finanzas, Universidad EAFIT. e-mail: cgomez1@eafit.edu.co

1. Introducción

La ciudad de Medellín se ha caracterizado por albergar un entorno de violencia y delincuencia, siendo conocida como la “Capital mundial del crimen” (Yagoub, 2018) por los más de 90.000 homicidios reportados entre 1975 y 2012. Tal y como lo describe Martin (2014), la ciudad, en los primeros años de la década de 1970, presentó los índices de criminalidad juvenil más altos de las grandes ciudades del país.

Así mismo, en la década de 1980, el apogeo global del tráfico de cocaína permitió que la ciudad se conociera internacionalmente, no solo por sus descomunales ganancias derivadas del narcotráfico, sino por la configuración social y criminal que se generó entorno a esta actividad. El narcotráfico, trajo consigo el fortalecimiento de los primeros combos¹ y ha permitido que se presenten diferentes formas de violencia en la ciudad logrando que sea reconocida por poseer “la estructura criminal más organizada del mundo” (Duncan, 2018).

Dada esta coyuntura, el homicidio se ha caracterizado por ser el principal componente de los análisis de criminalidad, debido a que es una de las variables con mayor influencia en las decisiones de política de seguridad en Medellín. No obstante, la realidad de la ciudad refleja que el comportamiento criminal en las comunas y barrios no solo se atribuye a los homicidios, existen otros delitos que permiten caracterizar el conflicto en una zona específica.

Haberman (2017) afirma que la coincidencia de distintos tipos de delitos en zonas específicas tiene importantes implicaciones en la planificación estratégica de las políticas de seguridad y en la configuración de los departamentos de policía, además de lo anterior, la literatura describe que aunque es poco probable que la violencia armada afecte al ciudadano promedio, existe una probabilidad muy alta de que sea víctima de crímenes menos graves, como hurtos o robos de vehículos de motor. De acuerdo con Arango González et al. (2016) zonas con un mismo nivel de homicidios, pero con diferencias en otros delitos, evidencian la estructura criminal organizada de la ciudad, junto con la incidencia y articulación de la criminalidad con la población de formas heterogéneas.

A nivel agregado, la delincuencia se concentra en algunos lugares porque poseen características espaciales o demográficas que permiten la convergencia de víctimas y victimarios en el tiempo y el espacio generando que

¹ Son el soporte de la estructura criminal de Medellín, caracterizados según Duncan (2018) por ser los muchachos de siempre en varias cuadras a la redonda, quienes gozan de conocer a todos en la comunidad y entre sus funciones se encuentra la de vigilar que la ley de los bandidos se haga efectiva en el terreno que tienen a su cargo, además se atribuyen el derecho a cobrar cuotas ilegales -vacunas- a los negocios, buses y distribuidores.

los delitos no tengan una distribución uniforme ni necesariamente se concentren en los mismos lugares, por ejemplo el hurto a personas usualmente ocurre en áreas comerciales donde la gente realiza transacciones en efectivo (Jean, 2008). Pese a lo anterior, las actividades que se desarrollan en distintas áreas pueden facilitar las oportunidades de ocurrencia de diferentes tipos de delitos, muestra de ello es que los lugares donde se concentran actividades recreativas y se evidencia la presencia de bares y restaurantes pueden experimentar altos niveles de hurto a personas o a establecimientos comerciales, ocasionando que estos delitos se solapen (Haberman, 2017). Con base en lo descrito, se puede afirmar que estudiar los puntos calientes geográficos se ha convertido en un tema de interés en la investigación, dado que sus resultados miden e ilustran los cambios temporales interrelacionados dentro de cada una de estas áreas, detectando patrones de agrupamiento de los distintos tipos de delitos permitiendo establecer niveles de criminalidad por zonas, dada la agrupación espacial de estos fenómenos.

Por todo lo anterior y dada la importancia de identificar la agrupación de la delincuencia, en este artículo bajo la premisa del solapamiento de los puntos calientes de los delitos se realiza un análisis de las dinámicas espacio temporales de la concentración del homicidio, hurto, extorsión y tráfico de estupefacientes en una unidad geográfica, con el objetivo de identificar las agrupaciones de delitos que explican las distintas formas de criminalidad en determinados barrios de Medellín, realizando una contribución a la literatura por medio de la implementación de un Modelo Mixto Poisson, como una técnica de agrupamiento, que permite entender y evidenciar el solapamiento de los delitos, ya que a diferencia de otros “algoritmos de clustering², permite mayor flexibilidad en la definición espacial del clúster por ser un modelo probabilístico”(Oficina de Análisis de Información y Estudios Estratégicos, 2018)

Esta investigación busca contribuir a la comprensión teórica de las manifestaciones del crimen en el tiempo y el espacio, con el fin de considerar las implicaciones del solapamiento de los delitos desde la perspectiva espacial y temporal en el comportamiento de los hechos delictivos que existen simultáneamente debido a la presencia histórica de diferentes grupos armados que hacen parte del conflicto de forma directa o que se asocian a la delincuencia común; para de esta manera, aportar desde la academia a la formulación de acciones estratégicas y articuladas que tengan como objetivo la intervención efectiva del territorio y la eficiencia policial. Esto se debe a que, si este solapamiento persiste, las políticas de seguridad implementadas resultarían inefectivas, dan-

²por ejemplo K-means

do lugar a la dinamización del poder derivado de los grupos criminales que “activan una esfera constante de violencias”(Moncada Carvajal et al., 2018)

El presente artículo contempla, en un primer momento, establecer una visión general de los aportes teóricos y las evidencias empíricas que han contribuido a la comprensión del crimen y su dinámica en el espacio y el tiempo; seguido de una descripción sobre el comportamiento del crimen en Medellín en su contexto histórico; en un tercer momento se abordará y describirá el modelo implementado junto con algunas consideraciones que se han de tener en cuenta para el uso de este tipo de modelos de clustering. Finalmente, a modo de análisis se mostrarán los resultados derivados de la metodología.

2. Aportes teóricos y evidencia empírica

Las principales teorías que han conceptualizado el crimen desde el enfoque económico, parten del análisis costo-beneficio del crimen, el cual ha sido basado y sustentado en el supuesto de que el criminal es un agente racional que toma la decisión de delinquir basado en la probabilidad de ser castigado. Bajo este supuesto, de acuerdo con Bentham (1962), el comportamiento de los individuos responde a incentivos económicos producto de actividades legítimas o ilegítimas. Con base en lo anterior, el proceso de formalización del análisis económico del crimen inicia con los trabajos de Becker (1968) y Ehrlich (1973), quienes analizan el comportamiento racional de los delincuentes, al tomar decisiones que maximizan su utilidad.

Luego de que la economía como ciencia se ha encargado de estudiar el crimen, se han evidenciado adelantos en esta línea de investigación que han llevado al análisis del problema del crimen urbano y las zonas problemáticas a partir de la dimensión espacial. La base teórica del análisis del crimen espacial es la criminología ambiental, desarrollada originalmente por Brantingham and Brantingham (1980) cuyo análisis se centra en el ambiente como elemento fundamental, diferenciando entre los espacios de actividad y los familiares. Esto se debe a que el ambiente proporciona las claves para localizar e identificar a sus objetivos generando que el entorno influya en sus patrones delictivos.

En esta misma línea de investigación se destacan los trabajos de Sherman et al. (1989); Buettner and Spengler (2001); Braga (2007); Weisburd et al. (2009); Ye and Liu (2012), quienes aportan en la determinación de los puntos calientes y sugieren que el análisis espacial del crimen posee un problema al señalar las ubicaciones de

los eventos y asumir una distribución aleatoria de los actos delictivos.

Además de lo anterior, otros estudios que relacionan el crimen y el espacio se enfocan en comprender la importancia de los lugares para explicar la concentración delictiva en instalaciones particulares, entre estos estudios se encuentran [Andresen \(2006\)](#), [Andresen and Malleson \(2011\)](#), [de Melo et al. \(2015\)](#) y [Chang \(2011\)](#), quienes resaltan la influencia significativa de la configuración espacial en los patrones de distribución de los delitos y exponen la importancia de los vecinos espaciales para comprender los patrones delictivos locales. Finalmente se puede indicar que el autor integrador de las teorías que relacionan los delitos con el territorio es [Farrell \(2015\)](#), quien une conceptos y explicaciones relacionadas con las concentraciones del crimen que pueden ser implementadas en la política.

El análisis espacial del crimen además del uso de datos y de investigaciones empíricas necesita de herramientas que permitan a los analistas de delitos buscar datos, vincular registros y trazar los resultados en los mapas, para ello estudios como los de [Brown \(2002\)](#), [Levine \(2006\)](#) y [Helbich and Leitner \(2012\)](#), afirman que se debe hacer uso de componentes analíticos especializados y proponen el mapeo de delitos como uno de los resultados técnicos más acertados para la policía moderna.

La dinámica temporal de los patrones espaciales ha ganado relevancia entre las comunidades de investigación y profesionales en criminología debido a la creciente disponibilidad de conjuntos de datos espaciales y temporales [Griffiths and Chavez \(2004\)](#), [J.H. \(2002\)](#), [Grubestic and MacK \(2008\)](#), [Heredia G. and Bravo C. \(2018\)](#), [Valente \(2019\)](#) y [Catlett et al. \(2019\)](#).

El estudio del espacio y el tiempo de manera conjunta, se compone como lo describe [Herrmann \(2015\)](#) por el análisis de puntos calientes, que generan un impacto en los patrones, describiendo cambios en el proceso de análisis delictivo. La literatura sugiere que la mitad de todos los eventos criminales se generan en los puntos calientes, en donde se evidencia la concentración de los delitos, es por esta razón que [Braga et al. \(2019\)](#) por medio de una revisión sistemática que incluye 65 estudios elegibles afirma que centrar los esfuerzos de la policía en lugares de alta actividad delictiva puede ser eficaz para prevenir la delincuencia. Por su parte, [Newton and Felson \(2015\)](#) destacan el estudio del espacio y el tiempo de manera conjunta, mostrando cómo los elementos espacio-temporales de los eventos delictivos son necesarios para desarrollar respuestas policiales oportunas.

Se hace importante resaltar otros estudios disponibles en la literatura sobre las dinámicas de los patrones de

delincuencia en el tiempo y espacio, como el de [Boivin and Felson \(2018\)](#) quienes abordan La hipótesis del embudo, asimismo, [Geoffrion et al. \(2017\)](#), junto con [Malleson and Andresen \(2015\)](#), [Tompson \(2016\)](#) analizan las unidades de tiempo agregadas para comprender los patrones espacio temporales del crimen. La prevención de la delincuencia en el tiempo y el espacio aplicada es un tema relevante, en el cual [Santos and Santos \(2015\)](#) contribuyen dado que respaldan la recomendación de que el análisis espaciotemporal se debe realizar de forma rutinaria como parte de las herramientas de análisis de operaciones por parte de la policía.

Para el caso del estudio del solapamiento de ciertas categorías de delitos, se encuentran estudios como los de [Weisburd and Mazerolle \(2000\)](#); [Weisburd et al. \(2004\)](#) y [Lum \(2008\)](#), en los cuales, se examina la distribución del delito en segmentos de calle y se comprueba la coexistencia de la venta de drogas y los disturbios. En los estudios previos mencionados anteriormente, los investigadores han examinado la superposición espacial de diferentes tipos de delitos, pero los diseños de estos estudios les han impedido hacer conclusiones afirmativas sobre la medida en que los puntos calientes de diferentes tipos de delitos se traslapan espacialmente. En línea con lo anterior, [Haberman \(2017\)](#), mediante estadísticas univariadas y bivariadas estudia la manera en que se traslapan 11 tipos de crímenes en Filadelfia, constituyéndose como el más reciente en el análisis del solapamiento de los delitos. A partir de lo anterior, [Marín et al. \(2010\)](#) describen que existe un conjunto de violencias que se superponen, cohabitan, entrelazan complicidades, o se estorban mutuamente en un mismo espacio territorial y como consecuencia desencadenan múltiples situaciones problemáticas.

En el contexto colombiano, específicamente en la ciudad de Medellín, las dinámicas espaciotemporales de los delitos requieren de la comprensión y apropiación del contexto histórico de la ciudad, esto se debe, a que los patrones de la violencia y el conflicto se encuentran en constante cambio y mutación. En la literatura, estudios como los de [Blair and Quiceno \(2008\)](#), [Jaramillo \(2011\)](#), [Martin \(2014\)](#) y [Dávila et al. \(2016\)](#), describen de forma detallada la historia de la violencia urbana, el conflicto y el crimen en la ciudad de Medellín, lo cual, permite entender la crisis en temas de seguridad y sus repercusiones en la actualidad; estos estudios, se han basado en distintos enfoques conceptuales, logrando que se precise en la definición de cada concepto, que usualmente suele confundirse.

En la ciudad de Medellín, la modalidad de delito en la cual se centran gran parte de los estudios es el homicidio, en línea con este tema, [Franco Agudelo \(2003\)](#) afirma el hecho de que el homicidio, a través de los años se ha

convertido en una de las modalidades frecuentes de expresión de las distintas violencias en el país. Por su parte, [Duncan et al. \(2015\)](#) indagaron sobre las razones estructurales de los homicidios, caracterizando las realidades sociales y políticas del entorno de la ciudad. La dimensión espacial y los determinantes de la criminalidad a nivel intra-urbano abordados por [Galeano and García \(2018\)](#) muestran que la criminalidad, medida en la tasa de homicidios, presenta importantes patrones espaciales, con mayores concentraciones en el centro y noroccidente de la ciudad.

Resolver el problema de la concentración y solapamiento del crimen, requiere distinguir que los delitos poseen un comportamiento diferente a lo largo del tiempo y como lo afirma [Patiño et al. \(2015\)](#) responden a una dinámica de la violencia urbana en Medellín. A partir de lo anterior, [Collazos et al. \(2019\)](#) explican la concentración de la delincuencia en un pequeño número de lugares conocidos como puntos calientes del crimen resaltando la importancia del contexto geográfico para la implementación de intervenciones de policía en puntos calientes, así mismo, afirman que se hace necesaria una mayor investigación para entender el rol de los patrones locales de crimen y la capacidad policial en la efectividad del patrullaje; es de resaltar que esta investigación es el antecedente más relevante del estudio de puntos calientes de crimen en Medellín.

Además de la concentración del crimen, a la luz de la literatura se encuentra que los delitos poseen un comportamiento espacial que de acuerdo con [Gómez et al. \(2014\)](#) se ve impactado por variables como los ingresos permanentes y su relación con las características socio económicas de la población, las cuales influyen en los delitos en una unidad geográfica y sus vecinos. En esta investigación se presenta un ejercicio de aplicación para las comunas de Medellín en el cual se obtiene como resultado que un aumento del 1 % en los ingresos permanentes en las comunas reduce en promedio en 0.67 % los delitos, y el efecto sobre sus vecinos es significativo y variable.

Recientemente, investigaciones como las de [Tobón et al. \(2020\)](#) se encargan de estudiar los determinantes del crimen en Medellín por medio de la estimación del efecto causal de las cámaras de vigilancia en el comportamiento criminal incorporando la variación temporal y espacial en la instalación de cámaras en puntos calientes del crimen obteniendo como resultado que la asignación cuasi aleatoria de las mismas lleva a una disminución del crimen y los arrestos. Así mismo [Blattman et al. \(2017\)](#) discuten los problemas asociados con la estimación de efectos causales en intervenciones de puntos calientes de crimen ya que la evidencia demuestra que una presencia estatal intensa disuade más crímenes, sin embargo, el crimen parece desplazarse a las calles vecinas.

La agrupación espacial de los fenómenos delictivos en Medellín no ha sido desarrollada ampliamente en la literatura, sin embargo, [Arango González et al. \(2016\)](#) encontraron agrupaciones de delitos en determinados espacios en Medellín, que explican distintas formas de criminalidad, siendo los jóvenes la variable principal de análisis, en este estudio a través de distintas técnicas de clustering se encontraron agrupaciones de delitos reflejando los patrones espaciales que diferencian los distintos tipos de criminalidad, además de la población que esta involucrada y que permite explicar estos eventos en el espacio y el tiempo. Entre las distintas técnicas de clustering se encuentra la agrupación basada en modelos para datos de recuento multivariante y se destaca la investigación realizada por [Karlis and Meligkotsidou \(2007\)](#), en la cual se agrupan a los cargos de cuatro tipos diferentes de delitos en 49 prefecturas griegas para el año 1998. Los delitos considerados fueron violaciones, incendios, homicidios y contrabando de antigüedades, con el objetivo de asignar las observaciones multivariadas a K grupos distintos, a partir del agrupamiento probabilístico para datos de recuento multivariados basados en mezclas de Poisson multivariadas.

Con todo lo anterior, se puede concluir que la literatura relacionada al análisis espacio temporal del crimen es escasa y los estudios existentes han centrado su análisis en el homicidio olvidando que en Medellín la violencia, el conflicto y el crimen han logrado evidenciar que existen múltiples modalidades de delitos que convergen en un mismo escenario y que requieren ser abordados a partir de sus características espaciales y temporales. Por tal motivo, este trabajo de investigación busca contribuir a la literatura y a la forma de entender el entorno criminal de la ciudad de Medellín analizando conjuntamente la interacción del componente geográfico y las dinámicas temporales que generan la concentración del crimen en áreas específicas de la ciudad por medio de la implementación de un Modelo Mixto Poisson el cual permite mayor flexibilidad en la definición del clúster con respecto al algoritmo más popular de clusterización K-Means, que a pesar de ser eficiente, ignora la estructura de covarianza de los datos y no contempla la probabilidad de que los datos pertenezcan o no a un determinado clúster, generando agrupaciones de igual tamaño que de acuerdo con la [Oficina de Análisis de Información y Estudios Estratégicos \(2018\)](#) no necesariamente corresponden con la realidad.

3. Caso de aplicación

3.1. Medellín

Medellín se caracteriza por ser la segunda ciudad con más importancia en Colombia, sobresale como uno de los principales centros financieros, industriales, comerciales y de servicios del departamento de Antioquia, el cual de acuerdo con las cifras del DANE participa con el 14,39% del PIB. La ciudad se configura político-administrativamente en 16 comunas y un total de 249 barrios urbanos oficiales.

La ciudad presentó al comienzo de los años setenta los índices de criminalidad juvenil más altos de las grandes ciudades del país. De acuerdo con [Martin \(2014\)](#) al norte, en los barrios populares como Aranjuez, Campo Valdés, Manrique, Berlín, Boston, Buenos Aires y Castilla, se empezaron a consolidar los “malos del barrio”, y alrededor de ellos pandillas y combos, los cuales se apoyaban en la delincuencia juvenil; este comportamiento se derivaba directamente del auge del consumo y comercialización de marihuana y otras drogas ilícitas dentro de los barrios.

El apogeo global del narcotráfico generó que el grado de violencia empleado para la obtención y la prolongación del control de las redes de narcotraficantes contribuyeran a que Medellín obtuviera el récord de tasas de homicidios y encabezara las estadísticas para el año 1991, donde se reportaron 6.349 homicidios equivalentes a una tasa insólita de 381 muertos por cada 100.000 habitantes. El narcotráfico, fue el principio del caos, pues trajo consigo el fortalecimiento de los primeros combos conformados por pandillas, vigilantes y asaltantes que se unificaron bajo la figura de Pablo Escobar, de quien era el poder local junto con el control de las rutas de explotación de cocaína y los mercados de consumo.

Escobar se encargó de establecer un orden con los bandidos para obtener el mando del Cartel de Medellín y de esa forma emprender una guerra contra el Estado; logrando que los jóvenes se aseguraran del control de sus barrios y a cambio obtenían parte de las rentas derivadas del narcotráfico. De esta forma y como lo describe [Duncan \(2018\)](#) comenzó a gestarse en medio del sangriento caos el control actual de las bandas y los combos, su estructura social y jerárquica cambio, se apropiaron del poder que se les había otorgado y de las utilidades que estarían a su disposición si se organizaban y actuaban en consecuencia.

La muerte de Pablo Escobar y el auge de las milicias permitió que en Medellín se evidenciara un cambio en

la composición de las bandas; lo que se conoció en ese entonces como crimen organizado, se desorganizó. En consecuencia, las milicias se constituyeron como una organización legítima, que buscaba suplir la figura del Estado en el campo de la seguridad, con el fin de obtener la aprobación y apoyo de los habitantes de barrios afectados por atracos, robos y violaciones. En palabras de [Duncan \(2018\)](#) había comenzado la domesticación del crimen en Medellín.

Los efectos de este crimen organizado no se hicieron esperar, reflejando un control en las tasas de homicidio y una restauración de la seguridad en Medellín atribuida a la “gubernabilidad³”, a la paramilitarización de la ciudad consagrada por la operación Orión⁴ (...) y a un pacto institucional con Don Berna, de quien dependería no solamente el crimen, sino el control de Medellín” [Martin \(2014\)](#)

Con la extradición de Don Berna a Estados Unidos en el 2008, la lucha por el poder encabezada por Sebastián⁵ y Valenciano⁶ no dio espera; con esta guerra aumentó la violencia en Medellín, sin embargo, ya no bajo la figura de Sebastián quien fue arrestado en 2012, dando lugar a una tregua⁷ a mediados del 2013 trayendo como consecuencia un descenso inmediato de los homicidios en la ciudad. Este comportamiento tal y como lo describe [Collazos et al. \(2019\)](#) permitió que a finales de 2014 las tasas de homicidio disminuyeran dada la reorganización del crimen bajo un nuevo liderazgo colectivo.

Además de los homicidios Medellín se ve afectada por los delitos contra el patrimonio económico, para el período comprendido entre 2003 y 2019 se evidenció que el hurto a personas representó el 52,7%, seguido por el hurto de automotores con el 28,25%. Así mismo el hurto a establecimiento comercial y a residencia representó el 10% y el 8,34% respectivamente. La modalidad que caracteriza la incidencia de los hurtos a personas es el atraco reflejando un 42,41%, por su parte el robo de automotores se efectúa por medio de la modalidad de halado y representa alrededor del 14%, finalmente la modalidad mediante la cual se efectúa el hurto a residencias y a establecimientos comerciales es el rompimiento de cerraduras y corresponde al 5,26%.

³Gubernabilidad garantizada por Diego Fernando Murillo (alias Don Berna) enmarcada en un período que abarca el final del 2003, pero que es reconocida hasta 2005 donde el proceso alcanza su cumbre y se mantiene hasta finales de 2008

⁴Intervención militar contra guerrillas y milicias que ejercían control en la comuna 13 de la ciudad de Medellín

⁵Erick Vargas, poseía poca influencia en el tráfico de cocaína, pero la mayor parte de las pandillas de Medellín le eran leales.

⁶Maximiliano Bonilla, controlaba las rutas de narcotráfico más importantes a través de la Costa Caribe.

⁷Entre Los Urabeños y La Oficina. Ver [Crime \(2019\)](#)

4. Metodología

4.1. Análisis Exploratorio

Para analizar la distribución espacial de los delitos en los barrios de Medellín se realiza el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA, por sus siglas en inglés) que permite identificar los patrones geográficos con el objetivo de comprender el comportamiento de los hechos delictivos, de acuerdo con lo anterior, RICO (2012) define el ESDA como el conjunto de técnicas que caracterizan la distribución de los datos en el territorio identificando: las ubicaciones atípicas, los patrones de asociación, clusters o puntos calientes que en su conjunto revelan la estructura espacial de los datos. Para identificar la presencia de conglomerados y los patrones locales de asociación espacial se calculan los Indicadores Locales de Asociación Espacial (LISA, por sus siglas en inglés).

El cálculo del índice local representa el grado de correlación de los delitos que se presentan en una unidad geográfica con sus vecinas y se obtiene de la siguiente forma para caso i:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1}^n w_{i,j} (x_j - \bar{X})$$

Donde x_i es el atributo para la entidad i, \bar{X} es la media correspondiente al atributo $w_{i,j}$ es el peso espacial entre la entidad i y j, y:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Siendo n el número total de entidades.

La matriz de contigüidad o de pesos espaciales (W) se calcula para definir la interdependencia espacial entre las unidades geográficas, para este documento la contigüidad geográfica está definida a partir de una matriz de pesos espaciales tipo Queen de primer orden, la cual exhibe que, si cualquier parte de los bordes o vértices que conforman las unidades territoriales se tocan, estas son consideradas como vecinas.

4.2. Clustering basado en modelos para datos de recuento multivariante

4.2.1. Model Based Clustering

El análisis de clústers a lo largo de la historia se ha desarrollado principalmente a través de métodos ad hoc basados en argumentos empíricos (Karlis and Meligkotsidou, 2007), sin embargo, recientemente en la literatura se evidencia un mayor interés en metodologías que se fundamenten en modelos que permitan el agrupamiento de los componente basados en argumentos estadísticos. En términos generales, para la implementación de este modelo de agrupación, se parte de la idea de que los datos observados surgen de una serie de segmentos que son desconocidos inicialmente y que se mezclan en proporciones inciertas.

A partir de lo anterior, y de acuerdo con Karlis and Meligkotsidou (2007) el objetivo es 'desmezclar' las observaciones y estimar los parámetros de las distribuciones de densidad implícitas dentro de cada segmento. Esta idea llevada al caso de aplicación, se refiere a que las observaciones de los delitos registrados en los barrios son similares con respecto a los delitos observados, ya que se supone que sus valores proceden de las mismas distribuciones de densidad, donde sus parámetros son cantidades desconocidas a estimar. La distribución de densidad se utiliza para estimar la probabilidad de los valores observados de los delitos, los cuales están condicionados a conocer el componente de mezcla a partir del cual se extrajeron.

Por lo tanto, la población de interés⁸ consiste en k subpoblaciones y la densidad⁹ de la observación q -dimensional y de la subpoblación j -ésima es $f(y|\theta_j)$ para algún vector desconocido de los parámetros θ_j . De esta forma, el objetivo es encontrar los valores del vector no observable $\phi = (\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n)$, que contiene las etiquetas de los grupos para cada observación (1, ..., n) y $\phi_i = j$ si la i -ésima observación pertenece a la j -ésima subpoblación. Puesto que no se conocen las etiquetas de los grupos, la densidad incondicional del vector y es una mezcla de densidad de la forma:

$$f(y_i) = \sum_{j=1}^k p_j f(y|\theta_j) \quad (1)$$

Donde $0 < p_j < 1$, y $\sum_{j=1}^k p_j = 1$ son las proporciones de mezcla¹⁰. Por tanto, la ecuación (1) representa el modelo mixto clásico.

⁸en este caso son los barrios

⁹función de probabilidad

¹⁰La proporción de mezcla es la probabilidad de que una observación seleccionada aleatoriamente pertenezca al j -ésimo clúster

El propósito del model-based clustering es estimar los parámetros $(p_1, \dots, p_{k-1}, \theta_1, \dots, \theta_k)$ por medio de la estimación de Máxima Verosimilitud (ML), lo cual posee una limitación y es que a menudo no hay una solución de forma cerrada para calcular estos parámetros. Por fortuna, la representación de mezcla finita, permite que se pueda aplicar un algoritmo de maximización de las expectativas (EM).

Se ha encontrado evidencia de que la mayoría de las aplicaciones del model-based clustering se da en datos que describen una distribución normal multivariada y por tanto supone que los datos son continuos. Sin embargo, en la realidad, se presentan casos donde los datos no son continuos, y pese a que se pueden transformar generan que información útil se pierda durante la transformación. El supuesto de normalidad para este caso de aplicación no es el adecuado, ya que al ser datos de recuento existen ceros, por esta razón, la agrupación que se realiza en esta investigación se basa en la distribución multivariante de Poisson, la cual permite modelar la naturaleza discreta de los datos.

4.2.2. Distribución Multivariada Poisson

Se parte de la consideración de un vector $X = (X_1, X_2, \dots, X_m)$ donde los X_i son independientes y siguen una distribución Poisson $Po(\lambda_i), i = 1, \dots, m$. Por lo general, las distribuciones multivariadas Poisson (MP) se definen a partir de la multiplicación de la función marginal de Poisson y el vector X con una matriz A de ceros y unos. Se supone que la matriz A es de dimensión $q \times m$, por lo cual, el vector de las variables aleatorias Y , es definido como $Y = AX$ y sigue una distribución Poisson multivariante. Para este caso la matriz A representa las covarianzas entre las variables Y_i y Y_j y tiene la forma (Para ver a detalle el desarrollo y estructura de la matriz A el lector puede remitirse a [Karlis and Meligkotsidou \(2007\)](#)):

$$A = [A_1 \ A_2 \ \dots \ A_m]$$

A partir de lo anterior, el vector medio y la matriz de covarianza del vector Y es:

$$E[Y] = AM$$

$$Var[Y] = A\Sigma A^T$$

Donde

$$M = E[X] = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$$

Y Σ es la matriz de varianza/covarianza de X y es de la forma:

$$\Sigma = Var[X] = diag(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$$

Lo anterior, permite crear distribuciones multivariantes eligiendo las covarianzas, sin necesidad de incluir todos los términos posibles, y por el contrario, seleccionar términos de covarianza que sean útiles. Por esta razón, después de un examen preliminar, se identifican los términos de covarianza relevantes que pueden incluirse en el modelo y excluir a los demás, para de esta forma fijar el valor del parámetro Poisson, es decir, el λ correspondiente.

4.2.3. Clustering Basado en modelos Poisson Multivariados

Dado el vector θ de parámetros de la distribución general de Poisson multivariante, se tiene que

$$\theta = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$$

De esta forma, se obtiene la distribución multivariada de Poisson con θ como $MP(\theta)$ y la función de probabilidad dada por $f(y|\theta)$. Considerando el caso en el que hay k clústers en los datos y cada clúster tiene el vector de parámetros θ_j , $j = 1, \dots, k$ y una observación Y_i condicionada al j -ésimo clúster que sigue una distribución $MP(\theta_j)$. Luego incondicionalmente, cada Y_i cada componente k sigue una mezcla de Poisson multivariante. El paso siguiente, es estimar los parámetros por medio del algoritmo EM para mezclas finitas. Para este caso se utilizará la versión del algoritmo EM propuesta por [Karlis \(2003\)](#).

4.3. Datos

Los datos analizados se refieren a los casos reportados de nueve tipos diferentes de delitos en los barrios de Medellín para el período comprendido entre 2004 y 2018. Los diferentes delitos considerados fueron hurto de carros (X1), hurto de motos (X2), hurto a establecimiento comercial (X3), hurto a entidad financiera (X4), hurto a persona (X5), hurto a residencia (X6), extorsión (X7), incautación de estupefacientes (X8) y homicidios (X9). Para poder realizar la comparación entre estos delitos, se realizaron varias normalizaciones, entre ellas, la tasa de delitos por cada 10.000 habitantes, pese a que en la literatura es usual que se comparen los delitos de esta forma, para este caso no es lo adecuado, ya que hay que un componente espacial que influye en el solapamiento de los delitos.

Se sabe de la importancia de la población para el análisis de los fenómenos delictivos, por esta razón se realizó una normalización teniendo en cuenta la densidad de la población, la cual captura los delitos por habitantes por km^2 , pero se evidencio que tampoco es lo adecuado, esto se debe a que en el centro de la ciudad se concentra la población y constituye lo que en la literatura se conoce como la población flotante, que de acuerdo con [Garrocho Rangel \(2011\)](#) es la población que utiliza un territorio pero cuyo lugar de residencia habitual es otro, esta situación genera que la población flotante sea una consecuencia de la movilidad, y para esta investigación no se considera ya que se deberán tener en cuenta otras variables como la migración permanente, la migración temporal, la movilidad diurna o cotidiana junto con su componente temporal, además de los mercados laborales locales que en su mayoría explican la confluencia de personas en esta zona de la ciudad. A partir de lo anterior, se realiza la normalización por área del barrio, con el objetivo de encontrar la cantidad de delitos por km^2 para de esta forma capturar el comportamiento, las dinámicas, la incidencia y la ubicación de cada tipo de delito en el espacio.

Los datos se obtuvieron del Sistema de Información para la Seguridad y la Convivencia -SISC-, los cuales contienen los registros georreferenciados de las conductas delictivas para el período comprendido entre 2003 y 2019, para evidenciar y comparar las dinámicas temporales, se establecieron unas ventanas de tiempo: 2004-2008, 2009-2013 y 2014-2018. Estos datos permiten asignar las observaciones multivariadas¹¹, a k grupos distintos de acuerdo con las ideas de agrupamiento probabilístico para datos de recuento multivariados basados en mezclas de Poisson multivariadas. Las metodologías basadas en la distancia, como k-mean, si bien son apli-

¹¹ $(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9)$, $i = 1, \dots, 249$

cables deben cumplir con unos requisitos, por ejemplo la elección adecuada de la distancia, que en este caso, cuando se encuentra un solapamiento de los delitos no permite procedimientos inferenciales, y lo que expone la principal razón para elegir el método de clustering descrito.

Antes de pasar a la aplicación del modelo, es importante aclarar que el tipo de datos utilizados puede ser discutible, esto se debe a que para la extorsión existe un mecanismo de subregistro y para los demás delitos se tiene un sobregistro que es causado por la unificación de las bases de datos de la policía y la fiscalía generando que para algunos años los registros se duplicaran, por tanto, los recuentos informados pueden subestimar y sobre estimar los recuentos reales. Para efectos de este análisis se tienen en cuenta estos registros pero se advierte del error de medición que poseen, además de esto, se suponen efectos de correlación espacial para este conjunto de datos, sin embargo, se hará uso de ellos para aplicar el enfoque de agrupamiento, sin tomar en consideración la correlación espacial.

A partir de lo anterior, en la tabla I se presentan las estadísticas descriptivas de las principales variables:

Tabla I: Estadísticas Descriptivas de los delitos por Km^2

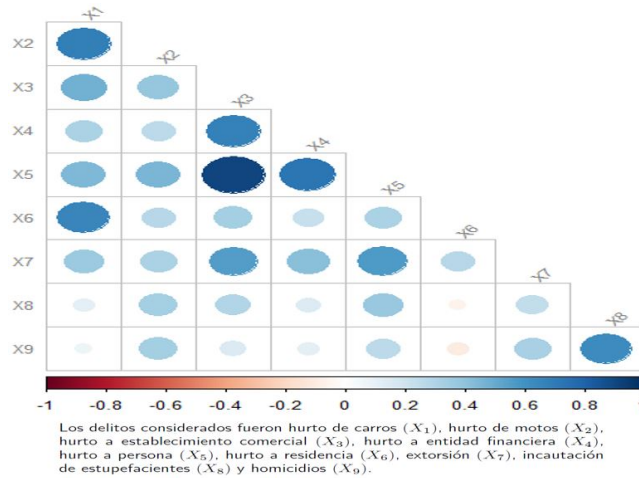
Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Pctl(25)	Pctl(75)	Max
Hurto de carros	249	19.201	18.234	0	4	29	82
Hurto de motos	249	40.293	38.499	0	13	52	193
Hurto a establecimiento comercial	249	17.968	25.803	0	5	19	242
Hurto a entidad financiera	249	0.120	0.432	0	0	0	4
Hurto a persona	249	92.835	163.558	2	21	107	1,896
Hurto a residencia	249	16.197	12.285	0	9	20	98
Extorsión	249	2.120	2.283	0	1	3	21
Incautación de estupefacientes	249	103.667	207.765	1	18	114	2,534
Homicidio	249	10.908	10.180	0	5	15	97

Las estadísticas descriptivas corresponden al promedio de delitos por km^2 para 2004-2018, se puede evidenciar que en este período se presentaron 1.896 hurtos a personas y 2.534 incautaciones de estupefacientes, encontrándose muy dispersos y alejados de la media, además a diferencia de los otros delitos, se presenta al menos uno en los 249 barrios que conforman la ciudad.

Es importante observar que tan relacionados se encuentran estos eventos, por ello, la figura I presenta las distintas correlaciones entre los delitos. De acuerdo con estos resultados, se puede observar que el hurto a carros exhibe una fuerte y positiva relación con otros delitos como el hurto de motos y de residencias, mientras que con

el homicidio no posee ninguna relación. El hurto a moto por su parte, se relaciona de una manera directamente

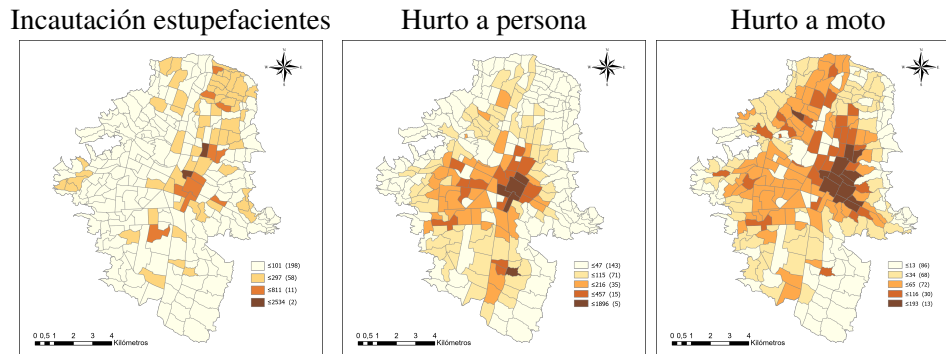
Figura I: Correlación entre los delitos



proporcional con las otras variables, por otro lado se debe resaltar que el hurto a establecimientos comerciales se encuentra fuertemente relacionado con el hurto a personas, con un coeficiente de correlación muy cercano a 1; el hurto a entidades financieras tiende a aumentar cuando se presentan hurtos a establecimientos comerciales y a personas, este resultado conlleva a pensar a priori que esta relación se debe a que los delitos se presentan de forma simultánea en los barrios que fueron registrados. Cabe destacar que el homicidio y la extorsión no reflejan ninguna relación con el hurto a residencias.

5. Resultados

El análisis exploratorio reveló que los principales delitos en los barrios son: la incautación de estupefacientes, el hurto a personas y de motocicletas. El promedio de incautación de estupefacientes en los 249 barrios es de 103 incautaciones por km^2 y varía entre 1 y 2.534. Alrededor del 46% de la marihuana fue incautada entre 2004 y 2018, mientras que la base de coca representó el 29%, el basuco y la cocaína alrededor del 18% y 5% respectivamente. La distribución espacial, presentada en la figura II, muestra que hay una mayor concentración de incautaciones de drogas en la zona centro oriental, en los barrios de Estación Villa, San Pedro, Trinidad, La Candelaria y Guayaquil.

Figura II: Distribución espacial de los delitos por km^2 2004-2018

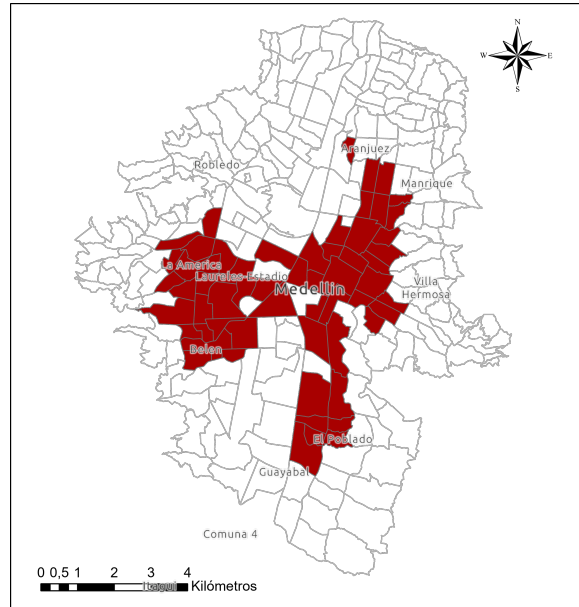
Source: SISC 2004-2018 y cálculos del autor.

En este mismo período, se evidencia que en promedio se denuncian alrededor de 93 hurtos a persona por km^2 , la concentración de los casos reportados se presenta en el centro de la ciudad y se debe a que de acuerdo con [Convivencia \(2020\)](#) hay una alta confluencia de diversos factores y condiciones que facilitan la comisión y concentración de este delito en barrios tales como: La Candelaria, Barrio Colón, Villa Nueva, Guayaquil, Estación Villa y San Benito. Pese a esta situación el Poblado es el segundo barrio con más denuncias de hurto a personas por km^2 . La principal modalidad de hurto a personas es el atraco, el cual para este período representa el 49% de los casos reportados; el descuido con el 16%, el cosquilleo con el 10% y el raponazo con 7\$ son las modalidades recurrentes que caracterizan este delito.

Finalmente, en los barrios analizados se encuentra que en promedio se denunciaron 40 hurtos de motos por km^2 , los cuales se concentran en la zona centro oriental y se destacan los barrios: Prado, Manrique Central No.2, los Ángeles, Manrique Central No.1 y Buenos Aires. De acuerdo, con lo observado, el 55% de los hurtos se dieron por medio de la modalidad de halado y el 42% por atraco.

De acuerdo con los resultados de este estudio, se identificaron los patrones locales de asociación espacial (LISA) de los nueve tipos de delito, con el fin de confirmar la existencia de puntos calientes que muestran la concentración individual de los delitos. Se evidencia la superposición de los puntos calientes del delito en los barrios de Medellín; este resultado permite explicar la fuerte relación que se evidencia entre el robo de vehículos, motos y residencias. La Figura III muestra los barrios en los que se superponen los puntos calientes de los delitos.

Figura III: Solapamiento de los puntos calientes de los 9 tipos de delitos



Esri, HERE, Garmin, METI/NASA, USGS

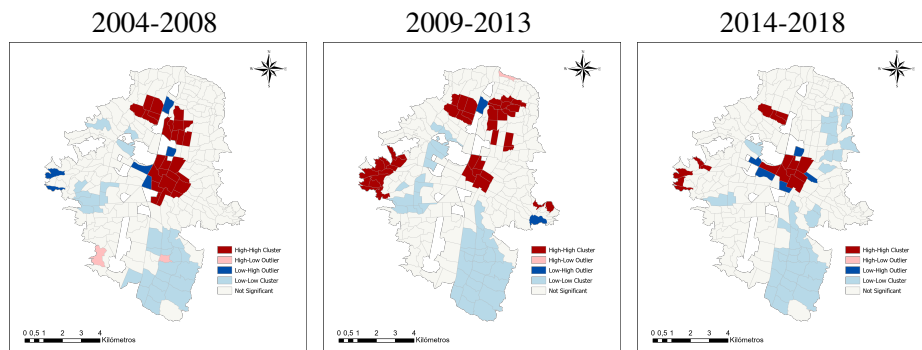
Pese a que se evidencia esta coexistencia de los delitos, se hace necesario destacar que si bien son puntos calientes, de acuerdo con los resultados, los barrios que los conforman describen características singulares que permiten destacar: en primer lugar, los barrios que se encuentran en el centroccidente y suroccidente de la ciudad presentan un solapamiento entre el hurto de carros y residencias. En segunda instancia y aunque esto puede estar sujeto a discusión, se encuentran barrios que de acuerdo con [Duncan et al. \(2015\)](#) agrupan la mayor cantidad de organizaciones criminales y bandas como La terraza y Picacho, reconocidas históricamente por ser mediadoras de la violencia homicida en la ciudad y cuyo financiamiento se obtiene principalmente de la extorsión, el hurto, microtráfico y sicariato.

En línea con lo anterior, en los barrios que conforman el centro de la ciudad, coexisten los 9 tipos de delitos y esto se debe a que es un espacio de "tránsito y concentración de actividades económicas legales e ilegales, ... y presenta todas las modalidades de extorsión, hurto, contrabando, sicariato, microtráfico" ([Duncan et al., 2015](#)). Por su parte en los barrios que pertenecen al suroriente antioqueño se solapan los delitos de hurto a establecimiento comercial y a residencia, también se encuentra que en estos barrios aunque no se evidencia la concentración del homicidio o la extorsión, el hurto a personas es más frecuente que en los demás barrios

excluyendo a los del centro de la ciudad.

Aunque estos resultados permiten tener una idea general de los patrones de agrupación de los delitos, no representan la dinámica temporal que describen los puntos calientes. En efecto, el comportamiento espacio-temporal que describen los puntos calientes para cada uno de los delitos refleja la disipación de algunas relaciones espaciales; sin embargo, los cambios en las agrupaciones en las ventanas temporales no cambian significativamente. A pesar de ello, el caso del homicidio es especialmente llamativo, ya que su comportamiento en el espacio y en el tiempo presenta una dinámica diferente a la de los demás delitos.

Figura IV: Dinámica espacial y temporal de los homicidios por km^2



Fuente: Cálculos del autor.

Si bien el homicidio refleja un patrón de agrupamiento este no es el mismo a través del tiempo, esto se debe a que este delito está muy ligado a la presencia histórica de los diferentes grupos armados y a su comportamiento a lo largo del tiempo. Para el 2004 y el 2008 los puntos calientes del homicidio se encontraban en los barrios ubicados en el noroccidente, nororiente y centroriente de la ciudad, para los años siguientes, se observa que estas agrupaciones se desplazaron y se concentraron en los barrios que conforman la comuna 13. Históricamente esto tiene una explicación y es que en la competencia entre grupos criminales el control del territorio implica una ventaja estratégica, ya que quien controle estos espacios tiene la autoridad "para someter a otras organizaciones criminales menos sofisticadas y poderosas" [Duncan et al. \(2015\)](#).

Además del control territorial, para el período comprendido entre 2009-2013, los barrios de Medellín fueron testigo del aumento de los homicidios derivados por la disputa por el poder entre 'Sebastian' y 'Valenciano'. Para el período siguiente, se observa que si bien disminuyó la concentración de los homicidios el punto caliente conformado por los barrios: el Corazón, Nuevos Conquistadores, El Salado, El Socorro y San Javier No 1 pre-

valece; esta situación puede ser atribuida al hecho de que estos barrios poseen un valor geográfico y estratégico debido a que desde estos lugares se controlan la rutas y los nodos que conectan los dominios criminales a nivel marítimo y terrestre.

En vista de lo anterior, el hallazgo de solapamiento de los puntos calientes de los delitos demuestra que en los barrios coexisten distintas formas de criminalidad y que las agrupaciones de los delitos poseen un comportamiento particular en el espacio y el tiempo. Así mismo, estas dinámicas se deben a características diferenciales de los barrios y al rol que desarrollan las diferentes estructuras organizadas que ejercen el control territorial; además este fenómeno demuestra que las agrupaciones espaciales responden a dinámicas de dispersión y consolidación.

Los resultados de este análisis son relevantes y de utilidad para la identificación y clasificación de las zonas que requieren una mayor intervención, así como para el diseño y evaluación de estrategias que se fundamenten en los patrones de agrupamiento que exhiben los distintos tipos de delitos y que en consecuencia se anticipen al posible surgimiento de nuevos puntos calientes, para de esta forma confirmar que las acciones implementadas en esas áreas pueden generar interferir en la formación o erradicación de los clúster de manera definitiva en el tiempo reflejando su impacto y efectividad.

Si bien los análisis derivados de las dinámicas espacio-temporales de los puntos calientes en Medellín constituyen un insumo significativo para la planeación estratégica de las instituciones y los organismos de seguridad, se quedan cortos para describir los patrones que se evidencian en los barrios y la coexistencia de los delitos. Es por esta razón, que a partir de la implementación de la técnica de clustering basada en un modelo mixto Poisson se espera obtener un agrupamiento de los barrios, que no solamente confirme la presencia del solapamiento de los delitos, si no que además permita obtener un perfil criminal de cada zona, para obtener una mayor precisión en la intervención de estos territorios.

Con la aplicación de la técnica de clustering basada en un modelo mixto de Poisson, han sido seleccionados 4 clusters que evidencian la existencia de dos grupos de mayor tamaño en comparación con el resto. Este resultado tiene una implicación importante desde el punto de vista de la intervención estatal y de la eficiencia policial, y se debe a que dada la existencia de un número limitado de clusters, se pueden generar estrategias para todos los componentes por separado, ya que de lo contrario no sería eficiente ni rentable implementar acciones para los clusters de delincuencia más pequeños.

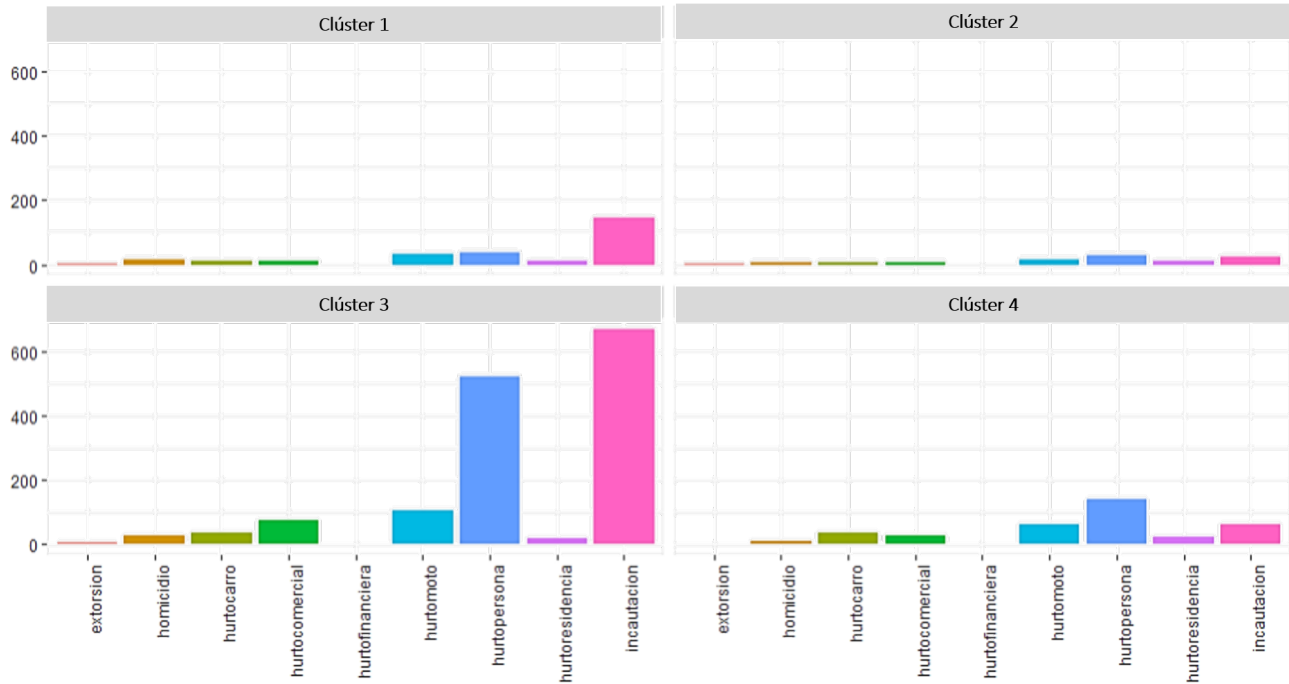
El promedio de los delitos por km^2 de todos los barrios asignados a ese cluster se presenta en la tabla II:

Tabla II: Parámetros λ estimados

Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	Clúster 4	Delitos
12.38	5.35	33.76	36.260	Hurto a carro
33.38	14.28	103.61	63.04	Hurto a moto
8.825	6.12	76.00	27.86	Hurto establecimiento comercial
0.00	0.00	0.53	0.09	Hurto entidad financiera
36.04	27.62	522.65	141.23	Hurto a persona
12.79	11.32	19.07	22.44	Hurto a residencia
1.73	0.61	4.38	2.22	Extorsión
147.06	22.33	669.90	62.52	Incautación
14.70	6.17	25.84	8.88	Homicidio

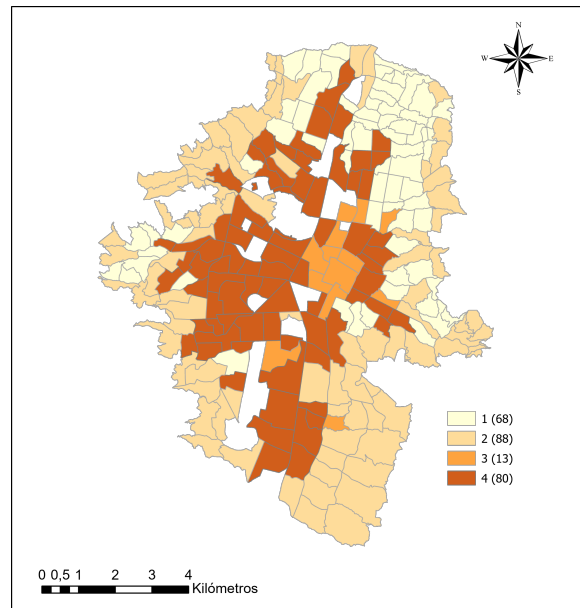
Los parámetros λ son el valor esperado que se obtiene de estimar el modelo, y permite observar la cantidad de veces que ocurren estos delitos en el periodo comprendido entre 2004 y 2018. Al analizar estos resultados se puede observar que existe un componente principal donde en promedio se presentan más incautaciones, hurto a personas y a motos con respecto a los demás, lo que evidencia que estos nuevos grupos tienen perfiles delictivos muy diferentes; muestra de ello, es que el componente 4 refleja una mayor ocurrencia de hurtos a personas por km^2 con respecto a los componentes 1 y 2 tal y como se muestra en la figura V

Figura V: Clustering basado en modelos Poisson multivariados



De este modo, cada clúster tiene una especialidad, un perfil de agrupación de delitos, que muestra cómo varios de estos obedecen a dinámicas de violencia situadas no solo por el espacio, sino también por la presencia de distintos actores armados. En la figura VI se presentan las agrupaciones de acuerdo a lo descrito anteriormente:

Figura VI: Clustering basado en modelos Poisson multivariados



Se evidencia que el componente 3 está conformado por los barrios Trinidad, El Poblado, La Candelaria, Villa Nueva, Barrio Colón, Guayaquil, San Benito, Estación Villa, Jesús de Nazareno, Barrio Caycedo, San Pedro, Sevilla y Manrique Central No 2; estos barrios, además de compartir características espaciales que permiten que sean agrupados, también exhiben patrones delictivos similares. Los barrios ubicados en el centro de la ciudad son lugares que de acuerdo con [Duncan et al. \(2015\)](#) se encuentran bajo el control de mafias conocidas como ‘convivir’, las cuales compiten por regular el orden en la zona, además se encuentran criminales y personas en situación de calle.

En estos barrios se supone que los casos reportados por homicidios se deben más a los enfrentamientos que se generan entre ciudadanos comunes o entre delincuentes más que al resultado de operaciones de organizaciones criminales estructuradas. Por su parte Trinidad, también conocido como Barrio Antioquia requiere de una intervención particular dada su historia y especialización en el comercio de drogas y al control ejercido por distintas bandas que no permiten la incursión de ningún competidor en el mercado de estupefacientes.

Finalmente y para cerrar esta sección, se evidencia que el factor territorial es un actor clave de los procesos delictivos en la ciudad de Medellín y confirma el argumento del estudio de [Duncan et al. \(2015\)](#) en el cual, la topografía importa, y también las dinámicas sociales. Así mismo, la presencia de los distintos grupos armados

influye en la coexistencia de los delitos en los barrios y se ve reflejado en que la periferia de la ciudad no se encuentra dentro de los grupos de alta criminalidad; este fenómeno puede ser atribuido al hecho de que en estos barrios las bandas se encargan de ejercer el control territorial y la regulación social con el objetivo de prestar servicios de seguridad a la comunidad. Los barrios que constituyen el componente 4, se encuentran bajo el control de organizaciones como la Terraza y Picacho, a quienes no les interesa tanto ser un organismo de regulación social, sino por el contrario, se enfocan en las rentas criminales derivadas del hurto a personas y tráfico de estupefacientes, actividades que permiten su financiamiento.

6. Conclusiones

Con este estudio se obtuvo que en la ciudad de Medellín, los delitos asociados al narcotráfico, la lucha armada y la criminalidad se entrecruzan, enfrentándose y complementándose al mismo tiempo; no obstante, los actos delictivos que acontecen dentro de las entidades territoriales son espacialmente heterogéneos, muestra de ello es que se ha encontrado empíricamente que el homicidio prevalece en las comunas donde se presentan disputas por el territorio y el control de la banda criminal, pero se concentra en los barrios distinguidos por ser foco del microtráfico de drogas.

Este tipo de estructura organizada genera la concentración y coexistencia de la criminalidad en ciertos espacios, confirmando que los vecindarios de la ciudad están bajo el control del crimen organizado, a quienes se les atribuye el uso de la violencia y participación en delitos tales como homicidios, hurtos, extorsiones y tráfico de estupefacientes. Dado lo anterior, el comportamiento espacial trae consigo la existencia de áreas de concentración histórica de los delitos, que reflejan los incrementos y disminuciones en las cifras, no obstante, la persistencia de los delitos sugiere la convergencia histórica de condiciones y factores que promueven la concentración espacial de los mismos.

Los hallazgos derivados de este análisis confirman el solapamiento de los delitos en los barrios de Medellín, lo cual tiene implicaciones directas en la vigilancia operativa, el desarrollo y evaluación de políticas públicas de seguridad enfocadas a la intervención de los puntos calientes presentes y futuros. Además, con respecto a los estudios realizados sobre solapamiento espacial y mencionados anteriormente, el diseño de este estudio, permite concluir de manera afirmativa sobre la medida en que los puntos calientes de diferentes tipos de delitos

se solapan en el tiempo y el espacio. Pese a lo anterior, se considera que puede existir un error de medida de las unidades geográficas observadas, por lo tanto se recomienda el análisis de segmentos de kilómetros de vías, ya que lograrían una mayor precisión en la definición de los puntos calientes.

Al trabajar con datos de corte transversal se encontró que son susceptibles a la dependencia o autocorrelación espacial, ya que se evidencia que una posible fuente de agrupamiento es el hecho de que los recuentos multivariados de diferentes tipos de delitos están correlacionados espacialmente y pueden traer como consecuencias efectos de desbordamiento. Por esta razón se propone a las futuras investigaciones la incorporación del componente espacial, ya que los barrios no son unidades territoriales aisladas y deben considerarse las relaciones espaciales con sus vecinos, lo cual genera que los patrones de los delitos no sean homogéneos.

Finalmente, la implementación de un modelo de mezcla de Poisson multivariante como método de agrupación de los delitos en los barrios de Medellín, permitió evidenciar características diferenciales de las zonas que mediante métodos tradicionales no podían ser percibidas, logrando presentar un perfil criminal de los barrios que permitirá a los hacedores de política tener una información más detallada para la gestionar los recursos policiales de manera efectiva y que genere una intervención estatal que comprenda el crimen desde su perspectiva histórica, social, económica y espacial, necesaria para lograr transformaciones de larga duración. Sin embargo, este modelo presenta limitaciones que deben ser tenidas en cuenta para futuras replicas, en primer lugar, se encuentra que el modelo no contiene variables explicativas y limitan el análisis de los determinantes de los delitos en los barrios. En segundo lugar, se tratan a los delitos como parámetros estáticos en el modelo, situación que en la práctica no es cierta ya que se evidenció que pueden cambiar con el tiempo, lo cual implica que los delitos cambien de un clúster a otro, o que clústeres completos cambien su perfil delictivo con el tiempo evitando la posibilidad de la evaluación de conglomerados y su estabilidad.

Referencias

- Andresen, M. A. (2006). A spatial analysis of crime in Vancouver, British Columbia: A synthesis of social disorganization and routine activity theory. *The Canadian Geographer/Le Géographe canadien*, 50(4):487–502.
- Andresen, M. A. and Malleson, N. (2011). Testing the stability of crime patterns: Implications for theory and policy. *Journal of Research in Crime and Delinquency*, 48(1):58–82.
- Arango González, M. A., Jaramillo Morales, J. D., and Jaramillo Escobar, L. (2016). Técnicas de clustering para detectar patrones espaciales de criminalidad en jóvenes y adultos en Medellín. octubre del 2013 a noviembre del 2014. *Revista Criminalidad*, 58(1):25–45.
- Becker, G. S. (1968). Crime and punishment: An economic approach. In *The economic dimensions of crime*, pages 13–68. Springer.
- Bentham, J. (1962). *The handbook of political fallacies*, volume 69. Harper & Brothers.
- Blair, E. and Quiceno, N. (2008). De memorias y de guerras la memoria de las víctimas del conflicto político en Medellín.
- Blattman, C., Green, D., Ortega, D., and Tobón, S. (2017). Place-based interventions at scale: The direct and spillover effects of policing and city services on crime. Technical report, National Bureau of Economic Research.
- Boivin, R. and Felson, M. (2018). Crimes by visitors versus crimes by residents: The influence of visitor inflows. *Journal of Quantitative Criminology*, 34(2):465–480.
- Braga, A. A. (2007). Policing crime hot spots. In *Preventing crime*, pages 179–192. Springer.
- Braga, A. A., Turchan, B. S., Papachristos, A. V., and Hureau, D. M. (2019). Hot spots policing and crime reduction: an update of an ongoing systematic review and meta-analysis. *Journal of experimental criminology*, 15(3):289–311.
- Brantingham, P. J. and Brantingham, P. L. (1980). Crime, occupation and economic specialization. *A Consideration of Inter-Metropolitan Patterns in Crime: A Spatial Perspective*, edited by Daniel E. Geoges-Abeyie and Keith D. Harries. New York: Columbia.
- Brown, D. E. (2002). Data mining, data fusion, and the future of systems engineering. In *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, volume 1, pages 26–30. IEEE.
- Buettner, T. and Spengler, H. (2001). Local Determinants of Crime and Criminal Mobility: An Empirical Study Using German Municipality Data. (March).

- Catlett, C., Cesario, E., Talia, D., and Vinci, A. (2019). Spatio-temporal crime predictions in smart cities: A data-driven approach and experiments. *Pervasive and Mobile Computing*, 53:62–74.
- Chang, D. (2011). Social crime or spatial crime? exploring the effects of social, economical, and spatial factors on burglary rates. *Environment and Behavior*, 43(1):26–52.
- Collazos, D., García, E., Mejía, D., Ortega, D., and Tobón, S. (2019). Hot spots policing in a high crime environment: An experimental evaluation in Medellín.
- Convivencia, S. d. I. p. l. S. y. (2020). Indicadores de Seguridad y Convivencia 2020. Technical report.
- Crime, I. (2019). Oficina de Envigado.
- Dávila, L. F., Manuel, J., and Restrepo, C. (2016). Violencia urbana, conflicto y crimen en Medellín: una revisión de las publicaciones académicas al respecto. *Rev. crim*, 58(2015):107–121.
- de Melo, S. N., Matias, L. F., and Andresen, M. A. (2015). Crime concentrations and similarities in spatial crime patterns in a Brazilian context. *Applied Geography*, 62:314–324.
- Duncan, G. (2018). El crimen más organizado del mundo.
- Duncan, G., Eslava, A., Giraldo Ramírez, J., Dávila, L. F., Gutiérrez, L., Lopera, F., Mesa, J. P., Toro, J., and Territorio, P. Z. (2015). *Heterogeneidad del homicidio en Medellín*.
- Ehrlich, I. (1973). Participation in Illegitimate Activities: A Theoretical and Empirical Investigation. *Journal of Political Economy*, 81(3):521–565.
- Farrell, G. (2015). Crime concentration theory. *Crime prevention and community Safety*, 17(4):233–248.
- Franco Agudelo, S. (2003). Momento y contexto de la violencia en Colombia. *Revista cubana de salud pública*, 29(1):18–36.
- Galeano, V. and García, G. (2018). Análisis espacial de la criminalidad a nivel intra-urbano: El caso de Medellín, Colombia. Master's thesis, Universidad EA-FIT.
- Garrocho Rangel, C. (2011). *Población flotante, población en movimiento conceptos clave y métodos de análisis exitosos*. Number C/307.20972 G3.
- Geoffrion, S., Felson, M., Boivin, R., and Ouellet, F. (2017). Systematic observation of barroom incidents in a large Montreal venue. *Security Journal*, 30(1):123–141.
- Gómez, C., Hemilson, V., Urrego, J. A., and Valderrama, J. D. (2014). Efecto de los ingresos permanentes sobre el delito: Un enfoque espacial y un caso de

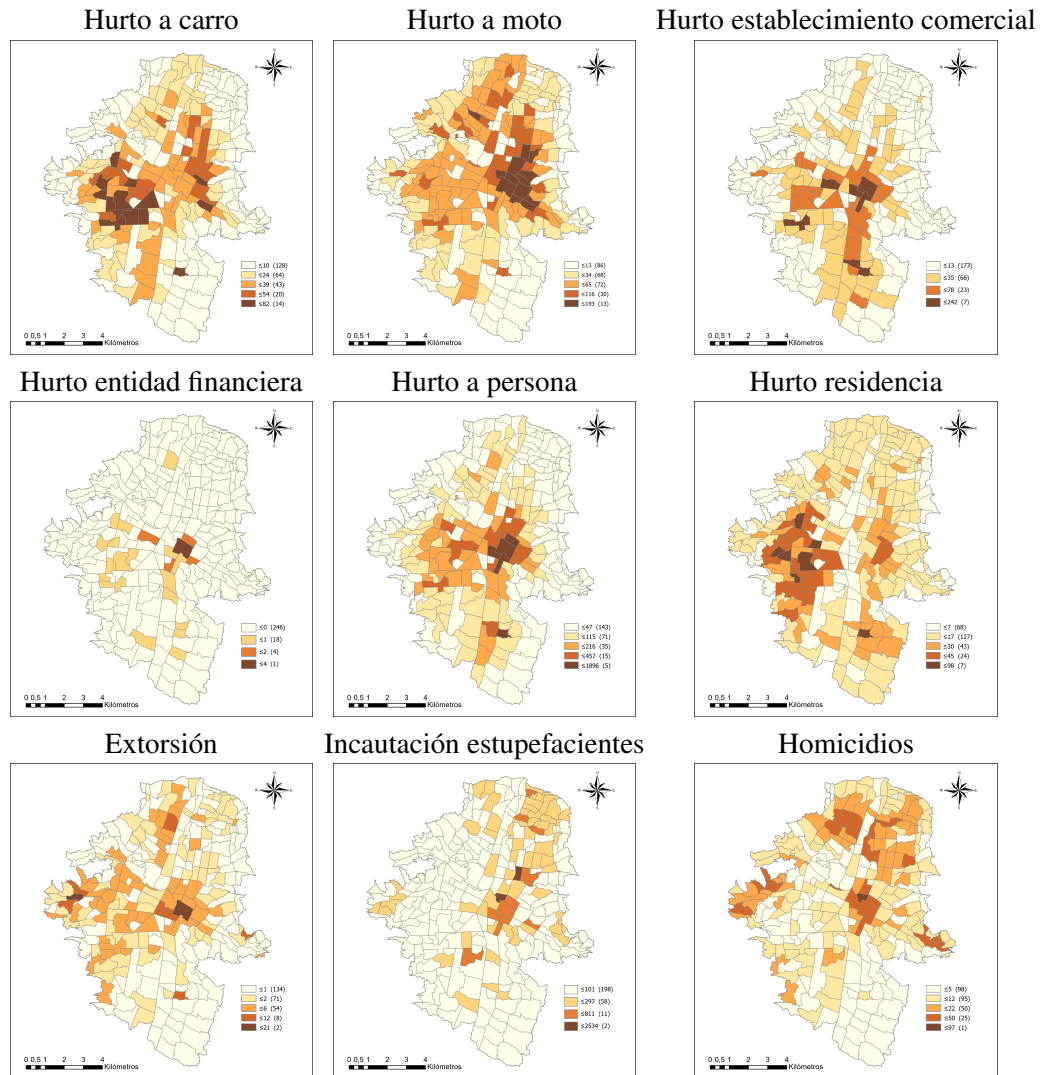
- aplicación. *Investigacion Economica*, 75(298):115–153.
- Griffiths, E. and Chavez, J. M. (2004). Communities, street guns and homicide trajectories in Chicago, 1980-1995: Merging methods for examining homicide trends across space and time. *Criminology*, 42(4):941–978.
- Grubestic, T. H. and MacK, E. A. (2008). Spatio-temporal interaction of urban crime. *Journal of Quantitative Criminology*, 24(3):285–306.
- Haberman, C. P. (2017). Overlapping Hot Spots? *Criminology & Public Policy*, 16(2):633–660.
- Helbich, M. and Leitner, M. (2012). Evaluation of spatial cluster detection algorithms for crime locations. In *Challenges at the Interface of Data Analysis, Computer Science, and Optimization*, pages 193–201. Springer.
- Heredia G., L. and Bravo C., G. E. (2018). Using Hotspots Algebra to analyze crime events and their urban context. *Revista Colombiana de Computación*, 18(1):9–26.
- Herrmann, C. R. (2015). The dynamics of robbery and violence hot spots. *Crime Science*, 4(1):33.
- Jaramillo, A. M. (2011). Acerca de los estudios sobre conflicto armado y violencia urbana en Medellín (1985-2009). *Economía criminal en Antioquia: Narcotráfico*, pages 101–130.
- Jean, P. K. S. (2008). *Pockets of crime: Broken windows, collective efficacy, and the criminal point of view*. University of Chicago Press.
- J.H., R. (2002). Aoristic Signatures and the Spatio-Temporal Analysis of High Volume Crime Patterns. *Journal of Quantitative Criminology*, 18(1):23–43.
- Karlis, D. (2003). An em algorithm for multivariate poisson distribution and related models. *Journal of Applied Statistics*, 30(1):63–77.
- Karlis, D. and Meligkotsidou, L. (2007). Finite mixtures of multivariate poisson distributions with application. *Journal of statistical Planning and Inference*, 137(6):1942–1960.
- Levine, N. (2006). Crime mapping and the crimestat program. *Geographical Analysis*, 38(1):41–56.
- Lum, C. (2008). The geography of drug activity and violence: analyzing spatial relationships of non-homogenous crime event types. *Substance use & misuse*, 43(2):179–201.
- Malleson, N. and Andresen, M. A. (2015). Spatio-temporal crime hotspots and the ambient population. *Crime science*, 4(1):10.
- Marín, A. G., Velásquez, H. M., and Rendón, C. E. L. (2010). Procesos urbanos y de construcción de ciudad. El caso de Medellín. *Pensamiento Humanista*, (4):65–80.

- Martin, G. (2014). *Medellín, tragedia y resurrección: mafias, ciudad y Estado, 1975-2013*. La Carrera Editores EU.
- Moncada Carvajal, J. J., Lopera Tobón, C., Maya Llano, N., Cadavid Echeverri, C. P., Zuluaga García, L. M., and de Medellín, O. d. S. H. (2018). Extorsión en Medellín; ¿Qué es y cuáles son sus principales manifestaciones?. *Comuna 2 Santa cruz*, 5 Castilla, 15 Guayabal y 16 Belén.
- Newton, A. and Felson, M. (2015). Editorial: Crime patterns in time and space: The dynamics of crime opportunities in urban areas. *Crime Science*, 4(1).
- Oficina de Análisis de Información y Estudios Estratégicos (2018). Análisis espacial y temporal del patrullaje policial y el crimen en Bogotá D.C.
- Patiño, C., Zambrano, F., Montenegro, F., Viviescas, J., Silva, M., González, J., Montoya, A., and Patiño, L. (2015). *Medellín: Territorio, conflicto y Estado. Análisis geoestratégico urbano*.
- RICO, M. N. (2012). Guía para estimar la pobreza infantil: información para avanzar en el ejercicio de los niños, niñas y adolescentes. *Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*.
- Santos, R. G. and Santos, R. B. (2015). An ex post facto evaluation of tactical police response in residential theft from vehicle micro-time hot spots. *Journal of Quantitative Criminology*, 31(4):679–698.
- Sherman, L. W., Gartin, P. R., and Buerger, M. E. (1989). Hot spots of predatory crime: Routine activities and the criminology of place. *Criminology*, 27(1):27–56.
- Tobón, S., Mejía, D., and Gómez, S. (2020). The Deterrent Effect of Surveillance Cameras on Crime. *Documentos de trabajo*, (20-12).
- Tompson, L. A. (2016). Explaining temporal patterns in street robbery.
- Valente, R. (2019). Spatial and temporal patterns of violent crime in a Brazilian state capital: A quantitative analysis focusing on micro places and small units of time. *Applied Geography*, 103(July 2018):90–97.
- Weisburd, D., Bushway, S., Lum, C., and Yang, S. (2004). Trajectories of crime at places: A longitudinal study of street segments in the city of Seattle. *Criminology*, 42(2):283–322.
- Weisburd, D. and Mazerolle, L. G. (2000). Crime and disorder in drug hot spots: Implications for theory and practice in policing. *Police quarterly*, 3(3):331–349.
- Weisburd, D., Morris, N. A., and Groff, E. R. (2009). Hot spots of juvenile crime: A longitudinal study

- of arrest incidents at street segments in Seattle, Washington. *Journal of Quantitative Criminology*, 25(4):443.
- Yagoub, M. (2018). Exposición en medellín destaca memorias de violencia y resistencia en colombia.
- Ye, X. and Liu, L. (2012). Spatial crime analysis and modeling. *Annals of GIS*, 18(3):157–157.

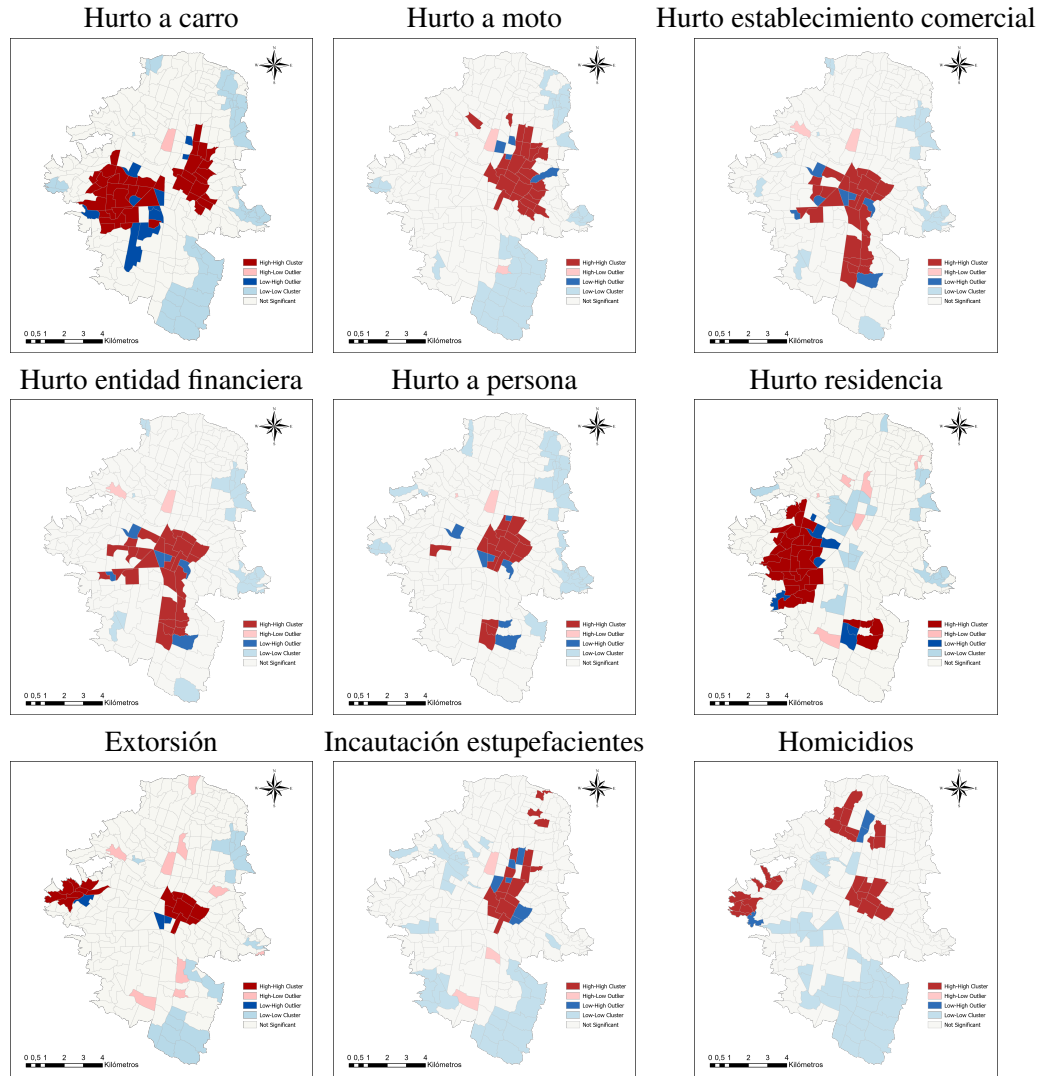
7. Anexos

Figura VII: Distribución espacial de los delitos por km^2 2004-2018



Fuente: Cálculos del autor.

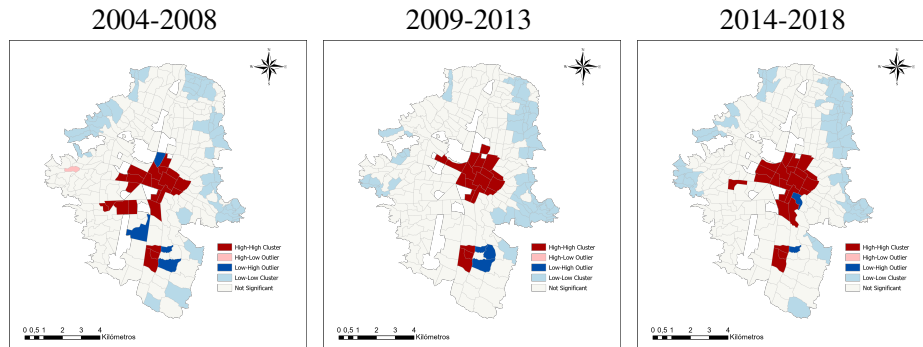
Figura VIII: Puntos calientes de los delitos 2004-2018



Fuente: Cálculos del autor

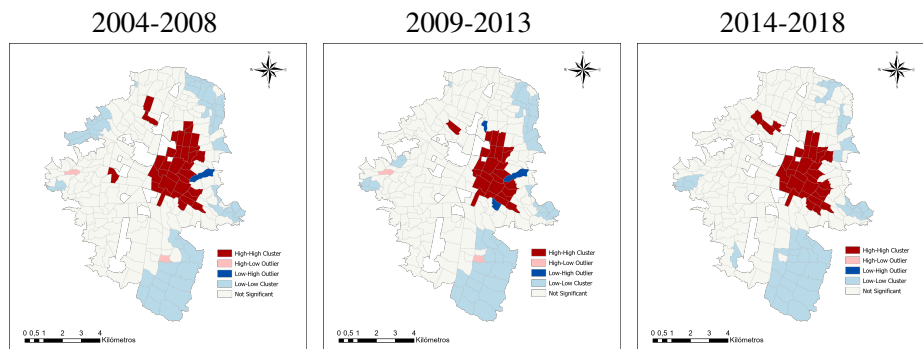
Nota: Los indicadores de asociación espacial local (LISA) se calculan para los delitos mencionados anteriormente. De forma general se puede observar la formación de clusters derivados de la presencia de los delitos en los barrios. El color rojo representa asociaciones high-high, es decir, barrios con altos niveles de criminalidad que están rodeados de otros barrios que presentan niveles similares de comportamiento criminal. El color azul claro representa asociaciones low-low, es decir, agrupaciones espaciales de bajos niveles de criminalidad que están rodeadas por otros barrios con bajos niveles de criminalidad. Del mismo modo, existe una asociación high-low¹², en la que los barrios con altos niveles de delincuencia tienen vecinos con bajos niveles de sucesos delictivos, mientras que las agrupaciones low-high¹³ se caracterizan por ser barrios con bajos niveles de delincuencia rodeados de barrios con altos niveles de delincuencia, mientras que hay lugares que no muestran un patrón estadísticamente significativo y, por lo tanto, no evidencian ninguna asociación con barrios con bajos niveles de delincuencia.

Figura IX: Dinámica espacial y temporal del hurto a persona por km^2



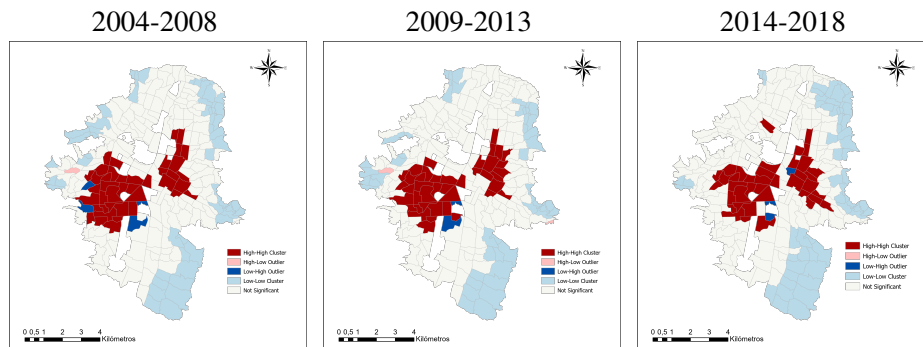
Fuente: Cálculos del autor.

Figura X: Dinámica espacial y temporal del hurto a moto por km^2



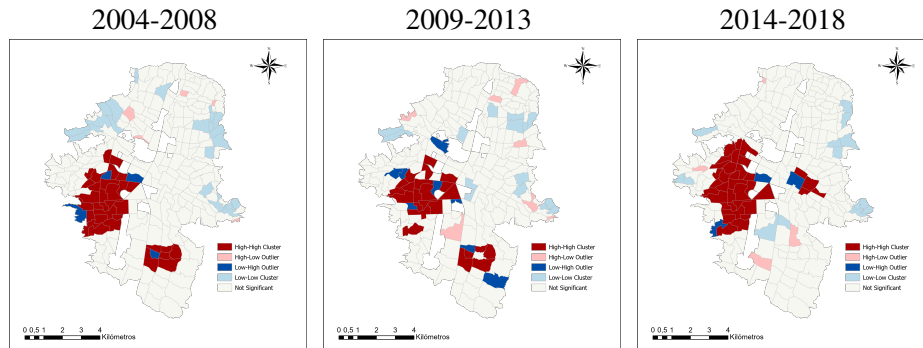
Fuente: Cálculos del autor.

Figura XI: Dinámica espacial y temporal del hurto a carro por km^2



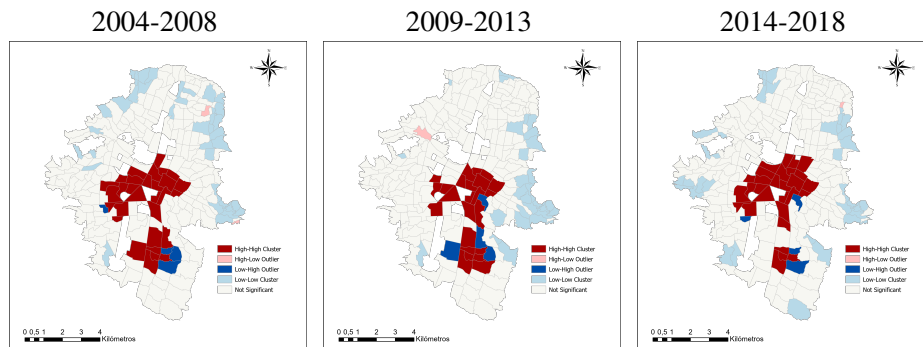
Fuente: Cálculos del autor.

Figura XII: Dinámica espacial y temporal del hurto a residencia por km^2



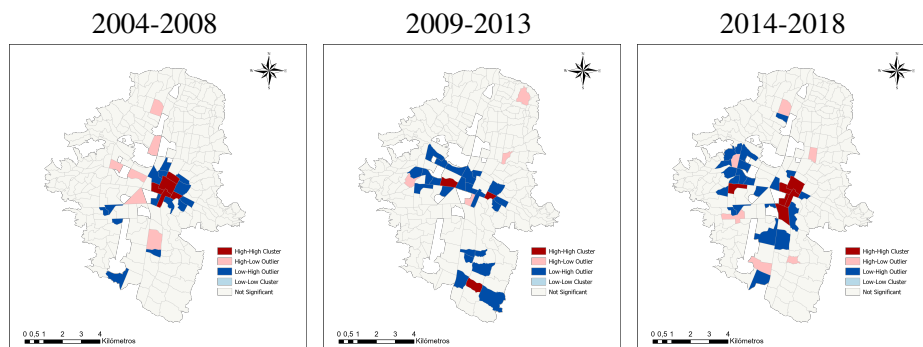
Fuente: Cálculos del autor.

Figura XIII: Dinámica espacial y temporal del hurto a establecimiento comercial por km^2



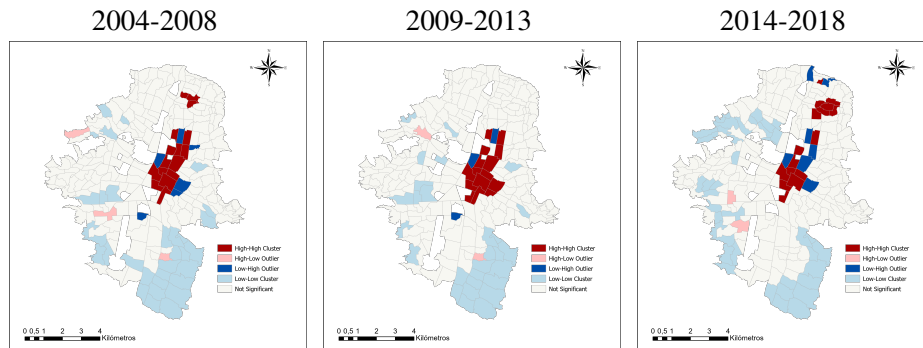
Fuente: Cálculos del autor.

Figura XIV: Dinámica espacial y temporal del hurto a entidad financiera por km^2



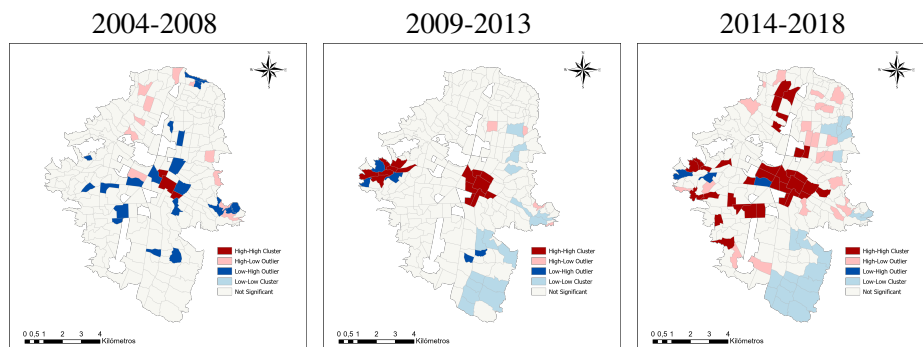
Fuente: Cálculos del autor.

Figura XV: Dinámica espacial y temporal de incautación de estupefacientes por km^2



Fuente: Cálculos del autor.

Figura XVI: Dinámica espacial y temporal de la extorsión por km^2



Fuente: Cálculos del autor.