

Universidad EAFIT

**Análisis Espacial de la Criminalidad a Nivel Intra-urbano
El Caso de Medellín, Colombia**

**Tesis para optar por el grado de:
Master en Economía Aplicada**

Autor: Valentina Franco Galeano

**Asesor:
Gustavo Adolfo García Cruz**

**Maestría en Economía Aplicada
Departamento de Economía
Universidad Eafit
Medellín, 2018**

Análisis Espacial de la Criminalidad a Nivel Intra-urbano El Caso de Medellín, Colombia

Resumen

En este documento se estudia la dimensión espacial y los determinantes de la criminalidad a nivel intra-urbano. Utilizando como caso de estudio la ciudad de Medellín (Colombia) se hace un análisis de la dimensión espacial de la criminalidad y a partir de modelos de regresión con dependencia espacial se estudian los principales factores que determinan la presencia de este fenómeno. Los resultados muestran que la criminalidad, medida con la tasa de homicidios, presenta importantes patrones espaciales, con mayores concentraciones en el centro y noroccidente de la ciudad. Se evidencia que, una mayor precariedad en las condiciones económicas de los hogares y mayor porcentaje de inmigrantes inciden positivamente sobre los niveles de crimen, mientras que mayor presencia de mujeres, altos niveles educativos, mayor porcentaje de población indígena y mayores niveles de empleo en el sector terciario tienen un efecto negativo sobre este fenómeno.

Palabras Calve: crimen, dimensión espacial, tasa de homicidios, Medellín
Clasificación JEL: C21, P37, R13, R15

1. Introducción

La criminalidad es uno de los fenómenos que mayor impacto tiene en términos económicos y mucho más en lo social. En Colombia, en particular, los índices de violencia y criminalidad son bastante elevados, y su impacto ha generado importantes rezagos económicos y sociales en el país. Con tasas del 25.2 por cada cien mil habitantes para el año 2016 en toda Colombia, concentrando el 48% de estos homicidios en ciudades principales como Bogotá, Medellín y Barranquilla, teniendo para el caso de Medellín una concentración sólo en el 12% del territorio.

Un factor determinante de los altos índices de criminalidad en Colombia es explicado en parte por lo que pasa con este fenómeno al interior de las ciudades y su configuración espacialmente. En este sentido, este estudio busca ofrecer evidencia sobre los patrones espaciales de la criminalidad, medida con la tasa de homicidios, y sus posibles determinantes utilizando datos a nivel intra-urbano para la ciudad de Medellín. El caso de Medellín es de bastante interés ya que desde los 80 ha sido catalogada como una de las ciudades más violentas del mundo, dada la existencia de importantes grupos al margen de la ley, como el cartel de Medellín o grupos paramilitares. Adicionalmente, en los últimos 10 años ha tenido un proceso de desarrollo económico y social importante asociado a reformas urbanísticas y en educación que han mitigado sustancialmente los impactos del crimen en la ciudad.

A pesar de que los actos delictivos en Medellín marcan una parte importante de la estructuración social de la ciudad, también se han presentado procesos de desarrollo social y económico en infraestructura urbana, educación e innovación. Medellín ha recibido el nombre de “la más innovadora” o “Medellín ciudad del aprendizaje”, todos declarados por entidades no gubernamentales internacionales que destacan la labor de Medellín al enfrentar la delincuencia organizada y la no organizada con procesos educativos y de innovación urbana.

Por lo tanto, el presente trabajo reconoce no solo la importancia de la educación como medio para combatir a la delincuencia organizada y no organizada de la ciudad, sino que también establece la importancia de conocer la composición geográfica como factor clave y detonante de las dinámicas criminales. De esta manera, este trabajo tiene como objetivo analizar la composición espacial de la concurrencia de delitos en la ciudad e identificar factores que determinan tal distribución. Con las conclusiones que se obtengan del presente estudio se puedan realizar recomendaciones que permitan, en materia política focalizar esfuerzos hacia las zonas que más procesos de intervención social y de seguridad requieran.

En particular, este documento pretende contribuir a la literatura existente sobre la dimensión intra-urbana de la criminalidad. Primero, se lleva a cabo un análisis de la distribución espacial de la criminalidad a nivel intra-urbana en Medellín. Con este primer análisis exploratorio se busca localizar cuáles son los principales focos de criminalidad de la ciudad. Esto posibilita la creación de políticas públicas enfocadas en ciertos puntos de la ciudad, atacando los puntos reales de flagrancia y disminuyendo el impacto social que estos generan.

Segundo, se realiza un análisis empírico sobre los determinantes de los niveles de criminalidad. La contribución en esta segunda sección del documento es evaluar los factores que afectan ya sea positiva o negativamente los niveles de criminalidad en el espacio, teniendo en cuenta que este fenómeno tiene una importante dimensión geográfica, ya que es bastante sensible a la localización y el contexto social.

El documento se encuentra organizado de la siguiente manera. En la siguiente sección se hace una revisión de literatura tanto nacional como internacional sobre la criminalidad en diferentes contextos y espacios (urbanos y regionales). En la tercera sección se presentan los datos utilizados para el análisis, así como algunas estadísticas descriptivas de las variables de mayor relevancia. El análisis empírico se lleva a cabo en la cuarta sección donde se realiza el análisis de la distribución espacial de la tasa de homicidios y las estimaciones econométricas. En la quinta y última sección se presenta un resumen de los resultados y las conclusiones del documento.

2. Revisión de Literatura

En esta sección se relacionan los documentos más actuales que relacionan la dimensión espacial con los índices de criminalidad intra-urbano en las ciudades, los cuales sirvieron de base para este estudio. En todos los estudios aquí relacionados se resalta la importancia y el valor agregado a nivel social e investigativo de la georeferenciación y la distribución espacial que determinan la dinámica del crimen en las ciudades.

Zhang y Peterson (2007) fueron algunos de los primeros investigadores en usar la distribución espacial como medio de determinación y asociación de factores en la concurrencia del crimen. Ellos utilizaron procedimientos de sistemas de información geográfica y modelos de regresión, dando credibilidad a la teoría de la desorganización social. Estos autores utilizaron datos de las ciudades de Omaha y Nebraska en los Estados Unidos, y encontraron que los factores determinantes del crimen estaban directamente relacionados con procesos sociales y culturales complejos y no sólo a variables de educación y empleo.

Por su parte, Brosnan (2017) estudia la concentración del crimen en Irlanda y utiliza los cocientes de localización como una medida de concentración que mide que tan concentrada en una región en particular se encuentra la criminalidad durante un periodo de tiempo determinado. El autor encuentra que en zonas con mayores índices de analfabetismo y mayor índice de desempleo se encuentran la mayor concentración de crímenes directamente relacionados al hurto simple.

Oana-Lobont y Moldovan (2014) realizaron estudios sobre los factores y mecanismos de riesgos relevantes para la concurrencia del crimen en Rumania. Estos autores analizan los crímenes asociados al robo y los homicidios en el período 2008-2010. Utilizando una estimación de datos panel encuentran que la pobreza y el desempleo son los principales factores que inciden positivamente sobre el crimen. Kaufman (2014) analiza los patrones de asociación espacial del crimen en tres ciudades de los Estados Unidos: Nashville (Tennessee), Tucson (Arizona) y

Portland (Oregón). Utilizando datos del censo del año 2000 y bases de datos aportadas por los departamentos de seguridad, los autores utilizan medidas de distancias para determinar si existen patrones espaciales del crimen. Como resultado se obtuvo que bajo las diferentes agrupaciones espaciales generadas por los datos y las distribuciones espaciales, la mayoría de los delitos, son de violencia baja o media, relacionada directamente con la población más joven.

Goda y Torres (2016) realizan un análisis más agregado de los determinantes del crimen para 33 países. Los autores encuentran que la desigualdad absoluta es un determinante clave en las tasas de robos violentos, apoyando de esta manera la hipótesis de estudios anteriores en los cuales se afirmaba que los rendimientos diferenciales entre la renta legal e ilegal son un detonante clave en la delincuencia común.

Gómez et al. (2014) estudian la eficiencia judicial y policial ejercida contra el crimen entre 2000 y 2011 en 25 departamentos de Colombia. A partir de un modelo de datos panel dinámico, los autores encuentran que la relación entre crimen y eficiencia de la acción judicial y policial es inversa entre el número de crímenes y la mayor eficiencia, igual que a lo reportado en otros estudios internacionales.

El estudio de Urrego, et al. (2016) se realiza en la ciudad de Medellín el cual analiza la relación que existe entre los ingresos permanentes y la delincuencia. Los autores estiman diferentes especificaciones de modelos de paneles espaciales, destacando factores claves como la ubicación y el tipo de vecinos, y estiman la elasticidad de ingreso de cada comuna, y la elasticidad de crimen de cada comuna. En este estudio se encuentra que por cada aumento del 1% en ingresos permanentes de una comuna se genera una disminución en la tasa de homicidios del 0.39%.

Ortega, et al. (2016) estudian la felicidad de cada individuo como factor clave y determinante de variables socio-económicas y delincuenciales, para América Latina en el año 2014, teniendo como fuente de información la encuesta de Barómetro de las Américas. A partir de un modelo logit generalizado se obtuvo que en 19 países de América Latina, los individuos que son víctimas de algún tipo de delito en el año anterior a la encuesta tienen un efecto negativo y significativo en su nivel de satisfacción con la vida.

Basados en la revisión de literatura anterior podemos evidenciar que existen faltantes de evidencia empírica en el análisis de la distribución espacial y los determinantes del crimen a nivel intra-urbano. En este sentido este estudio pretende mostrar mayor evidencia empírica en este tipo de análisis.

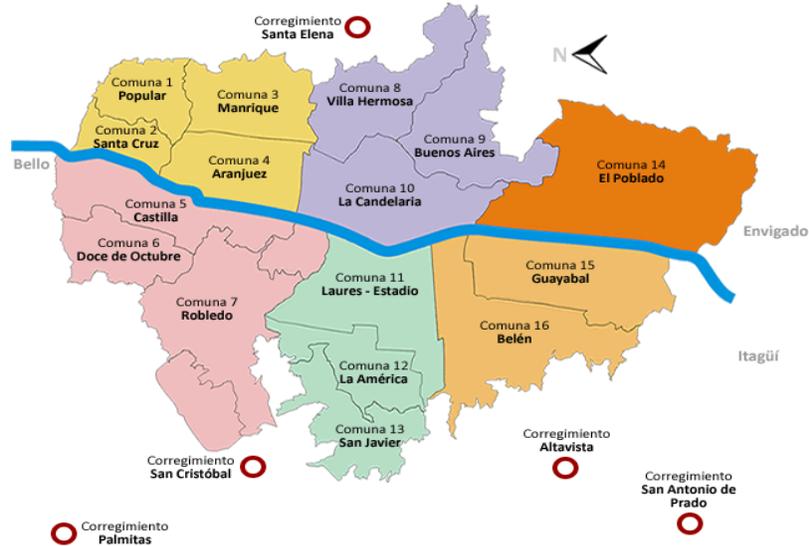
3. Datos y Estadística Descriptivas

3.1 Datos

En este documento se trabaja con datos de la ciudad de Medellín, la cual se encuentra ubicada en el noroccidente del país, con la siguiente división administrativa: 16 comunas, 5 corregimientos y 247 barrios (ver gráfico 1). Para este

caso de estudio se usan los datos de criminalidad georeferenciados del lugar de ocurrencia de los homicidios (8.527), aportados por la Secretaria de Seguridad de Medellín para el año 2016. La muestra utilizada para este estudio incluye uno de los delitos con mayor nivel de relevancia e influencia en Medellín de manera histórica (Informe Medellín Como Vamos).

Gráfico 1. División administrativa a nivel de comuna de Medellín



Fuente: Alcaldía de Medellín

Nota: Cada comuna está representada por un nombre y número, para este caso de estudio no tomaremos los 5 corregimientos. La línea azul representa al río Medellín

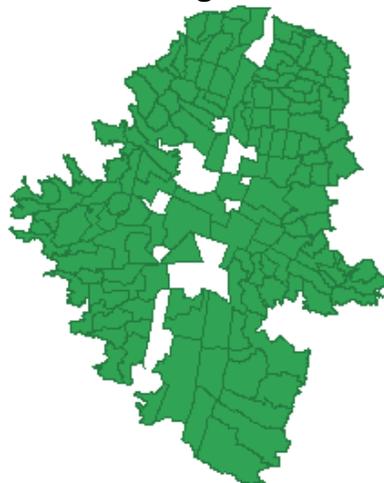
Adicionalmente, se usan los datos de la encuesta de Calidad de Vida (ECV) para el año 2016. Esta encuesta es de sección cruzada y contiene información sobre las características de los hogares y aspectos demográficos, como educación, nivel salarial, ocupación, entre otros. La muestra utilizada para este estudio incluye 25.415 individuos.

El proceso de muestreo de la ECV se realiza con el fin de que sea estadísticamente representativo a nivel de comuna, sin embargo, usar las comunas como unidades de análisis para el objeto de este estudio es inadecuado ya que son territorios internamente muy heterogéneos. Hay comunas muy pequeñas como la comuna 15 (Guayabal) con 6 barrios y otras muy grandes como las comunas 14 (Poblado) y 7 (Robledo) con 22 barrios cada una. Por otro lado, trabajar a nivel de barrio implicaría una invalidez estadística para las variables calculadas a partir de la ECV.

Con el fin de buscar una unidad espacial intermedia entre los barrios y las comunas sin generar invalidez estadística, se opta por trabajar con las regiones analíticas planteadas por Duque *et al.* (2012). A partir de esta metodología se agrupan 247 barrios en 139 regiones analíticas las cuales buscan una homogeneidad entre la división administrativa de la ciudad, sin generar invalidación estadística al utilizar la

ECV, teniendo en cuenta factores de expansión poblacional, asentamientos, datos socio económicos, y personales. Para la construcción de las regiones analíticas, Duque *et al.* (2012) toman como base la ECV del año 2007 en Medellín y tienen en cuenta que en cada región analítica creada tuvieran al menos 100 hogares encuestados. Lo que hace que dichas regiones analíticas sean idóneas para el análisis de los fenómenos de criminalidad a nivel intra-urbano y sea la unidad espacial de análisis en este trabajo sobre la cual se calculan todas las variables (ver gráfico 2).

Gráfico 2. Regiones analíticas



Fuente: Cálculos propios a partir de Duque; et al (2012)

Nota: Las áreas de color blanco corresponden a las áreas institucionales como parques, unidades deportivas, aeropuertos y demás

3.2 Estadísticas Descriptivas

En el cuadro 1 se relacionan las variables utilizadas en el análisis y se muestran algunas estadísticas descriptivas, las cuales fueron calculadas utilizando los factores de expansión ofrecidos por la ECV para asegurar que las estimaciones fueran representativas. Como variable dependiente se toman la tasa de los delitos de mayor recurrencia histórica en la ciudad de Medellín (homicidios). Para este caso de estudio se determinan dichos delitos según las denuncias realizadas por ciudadanos en el año 2016. En el cuadro 1 podemos observar que la tasa de homicidios promedio entre las 139 regiones analíticas es de 40 homicidios por cada cien mil habitantes y varía entre el 0 y el 129.

Cuadro 1. Estadísticas Descriptivas

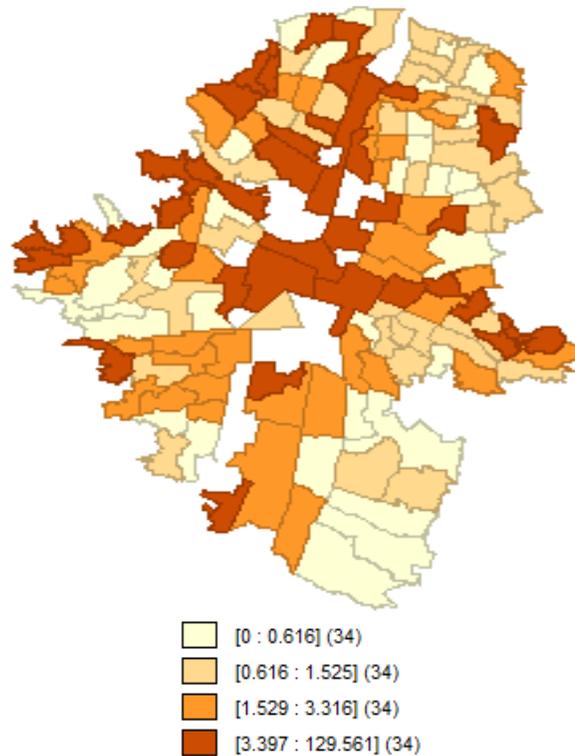
	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Variable dependiente				
Tasa de homicidio	4.049	13.544	0	129.561
Variables independientes				
% Educación universitaria	12.330	14.828	0	73.361
% Mujeres	52.707	3.813	42.496	61.771
% Cabeza de hogar	30.329	4.771	12.446	46.297
% Afrodescendiente	3.209	4.457	0	29.086
% Indígena	0.296	1.279	0	12.665
% Nacidos fuera de Medellín	33.139	9.521	15.309	69.595
% Sector terciario	31.244	6.907	0	48.110
Tasa de desempleo	10.385	5.180	0	29.921
% Hogares con inseguridad alimentaria	53.407	19.379	19.732	100

Fuente: cálculos propios a partir de la ECV 2016 y Base de datos Homicidios

En términos de la distribución espacial de la tasa de homicidio en Medellín (gráfico 3), podemos evidenciar que se presenta mayor porcentaje de concentración en zonas del centro de la ciudad, tales como la comuna 10 (Candelaria), comuna 11 (Laureles Estadio), comuna 8 (Villanueva) y comuna 9 (Buenos Aires) debido a que por comportamiento social el centro de la ciudad no solo representa la parte poblacional de estratos socioeconómicos más bajos, sino que también contiene y represa grandes cantidades de comercio, lo que atrae mayor nivel de población y todos aquellos delitos relacionados con aglomeraciones masivas.

En el caso de los homicidios no solo se evidencia concentración en el centro de la ciudad como se mencionó antes sino que también se evidencia casos de polarización del mismo delito en la zona noroccidental de la ciudad lo cual incluye comunas tales como, comuna 3 (Manrique), comuna 5 (Castilla), comuna 1 (Popular), comuna 6 (Doce de Octubre) y comuna 7 (Robledo) en las cuales se presentan históricamente la mayor concentración de grupos armados por lo cual la ciudad ha interpretado de manera empírica estos altos niveles de homicidios como ajustes de cuentas entre bandas delincuenciales.

Gráfico 3. Distribución espacial de la Tasa de homicidio

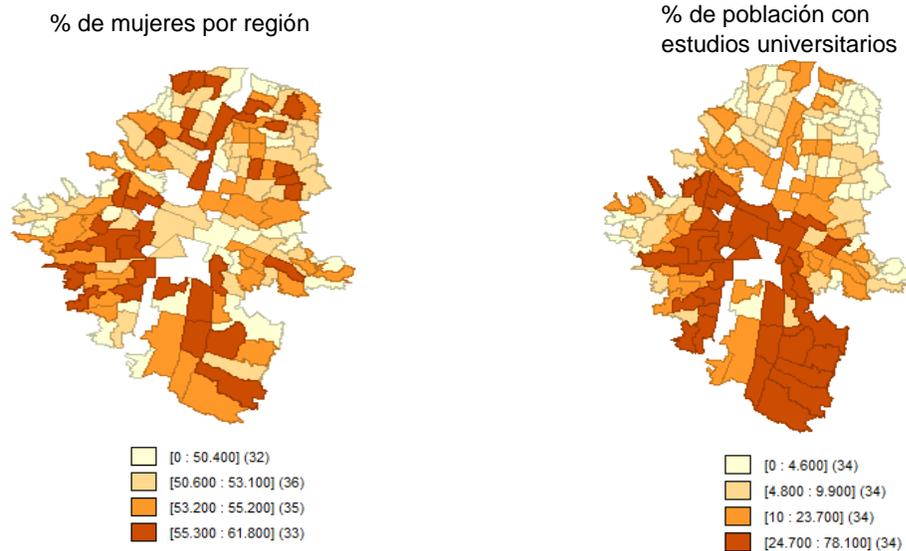


Fuente: Cálculos propios a partir de la base de datos de la secretaria de seguridad de Medellín.

En cuanto a las variables que podrían explicar los niveles de criminalidad se incluyen aquellas que caracterizan a cada región analítica en términos de las características de la población, como % de individuos con estudios universitarios, % de mujeres, % de cabezas de hogar, % de población afrodescendiente, % de población indígena, % de nacidos fuera de Medellín, y las condiciones económicas, como % de individuos trabajando en el sector terciario, la tasa de desempleo y % de hogares con inseguridad alimentaria.

En el cuadro 1 podemos observar las variables de porcentajes de mujeres, afrodescendientes, población con estudios universitarios y jefes de hogar, los cuales presentan tasas promedio de 52.32%, 3.18%, 12.33% y 30.10%, respectivamente. En el gráfico 5 y 6 se muestra la distribución espacial de las anteriores variables. Para el caso del porcentaje de mujeres se observa concentración en comunas como la 13 (San Javier), 12 (La América), 16 (Belén) y 10 (La Candelaria). En el caso de la población afrodescendiente no existe un patrón de concentración claro. En cuanto a la población jefe de hogar se observa un nivel de concentración alto en comunas como la 14 (Poblado), 12 (La América), 11 (Laureles – Estadio) catalogando estas zonas como en las cuales existe mayor población que asume responsabilidad de los hogares de manera individual.

Gráfico 5. Distribución espacial del porcentaje de mujeres, porcentaje de población con estudios universitarios

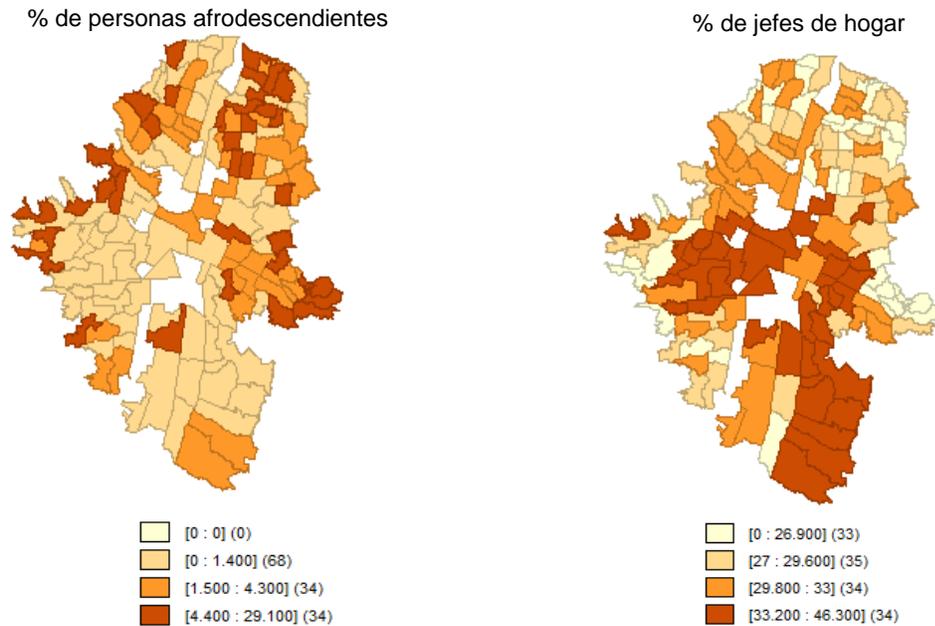


Fuente: Cálculos propios a partir de la ECV 2016

En el gráfico 5 podemos evidenciar el porcentaje de mujeres y porcentaje de población con estudios universitarios, bajo lo cual podemos observar que la distribución espacial de las mujeres en el territorio está bastante polarizada, aun así existe una concentración muy baja de mujeres en la zona centro de la ciudad la cual se compone de las comunas 10 (Candelaria), 8 (Villanueva) y 9 (Buenos Aires) lo cual de forma empírica nos genera la hipótesis de que en las zonas más violentas históricamente en la ciudad, las mujeres tienen poca presencia y mayor incidencia en los bajos niveles de criminalidad.

Para el caso de la población con estudios universitarios, se puede evidenciar un alto nivel de concentración en la zona sur de la ciudad, incluyendo la parte baja del centro de la misma, lo cual nos lleva a generar hipótesis empíricas de que los niveles socio económicos medios y altos de la ciudad se encuentran en el sur y que adicional a esto los niveles de homicidio son más bajos en dichas zonas debido a los niveles de formación de su población en general.

Gráfico 6. Distribución espacial del porcentaje de personas afro y jefes de hogar

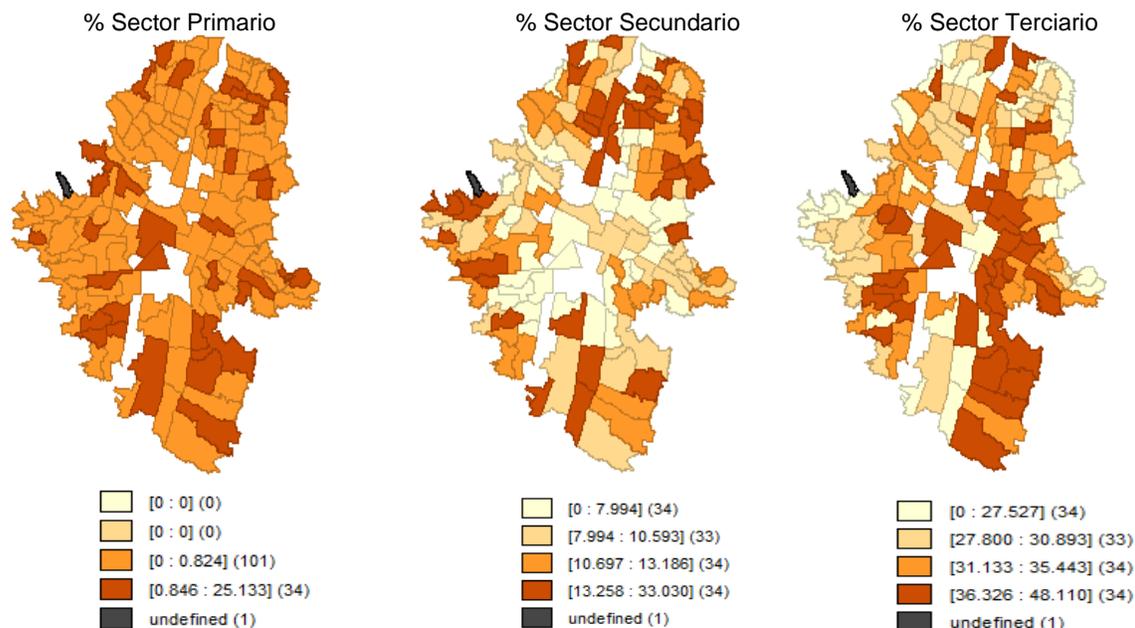


Fuente: Cálculos propios a partir de la ECV 2016

La distribución de la población afrodescendiente se encuentra polarizada en diferentes zonas de la ciudad (gráfico 6), aun así, tienen mayor presencia en las comunas 9 (Buenos Aires), comuna 1 (Popular), comuna 6 (Doce de Octubre) y comuna 13 (San Javier) lo anterior puede estar directamente relacionado a que es la zona centro y occidental de la ciudad, la cual tiene conexión vial directa con el Urabá antioqueño.

Los jefes de hogar en cambio tienen una distribución espacial de la ciudad concentrada más hacia el sur y el centro (gráfico 6), en comunas como 14 (Poblado), 8 (Villa Nueva), 11 (Laureles Estadio) y parte de alta de la comuna 16 (Belén) lo anterior podría entenderse como un comportamiento de tipo social, relacionado con estratos socioeconómicos medios y altos.

Gráfico 7. Sectores Económicos



Fuente: Cálculos propios a partir de la ECV 2016

En el gráfico 7 se muestra la distribución espacial del porcentaje de trabajadores en cada sector económico: primario, secundario y terciario. Los sectores económicos dentro de una sociedad económica como lo es la de la ciudad de Medellín son determinantes claves de las condiciones de calidad de vida, y a su vez las condiciones de vida son detonantes estratégicos en las delincuencias ya sean comunes u organizadas; por lo anterior se realiza una distribución espacial de los sectores económicos y su presencia a nivel intra-urbano.

El sector primario, está compuesto principalmente de la agricultura y todos sus derivados antes de los procesos de transformación, por lo cual encontramos una distribución muy polarizada de dicho sector en todo Medellín, ya que por las condiciones geográficas de ubicación de Medellín, estando dentro de montañas y amplias zonas verdes, se presta el ambiente y los espacios ciudadanos para la comercialización de todos los derivados del sector primario, siendo a nivel nacional, Medellín y Antioquia grandes productores agrícolas.

Para el caso del sector secundario, compuesto principalmente por la industria y la manufactura encontramos que existe menor presencia, y que esta poca presencia se encuentra concentrada en puntos claves de la ciudad como la zona norte y noroccidental, lo anterior debido a que en su mayoría la producción manufacturera e industrial de la ciudad debe alojarse por ley en las afueras de los conjuntos residenciales y empresas de otros sectores, ya que por su producción en línea o masa generan grandes niveles de contaminación ambiental, sin contar con que la zona norte y noroccidental de la ciudad está la vía de salida al Urabá antioqueño, lo que permite la disminución de costos de transporte al momento de las entregas

de productos terminados y recepciones de materia prima, ambas provenientes del puerto.

Con el sector terciario encontramos algunas particularidades y es que tienes zonas de amplia concentración y zonas de mucha polarización, por lo cual encontramos mucha presencia de empresas del sector servicios en comunas como la 14 (Poblado), 16 (Belén), 10 (Candelaria), (9 Buenos Aires), 11 (Laureles Estadio) y zonas un poco más polarizadas de dicha presencia tales como comuna 1 (Popular), 3 (Manrique), 2 (Santa Cruz) y 6 (Doce de Octubre) lo anterior debido a que son zonas que se encuentran en las periferias de la ciudad y que cuentan con menor presencia policial por temas de accesos y seguridad.

4. Resultados

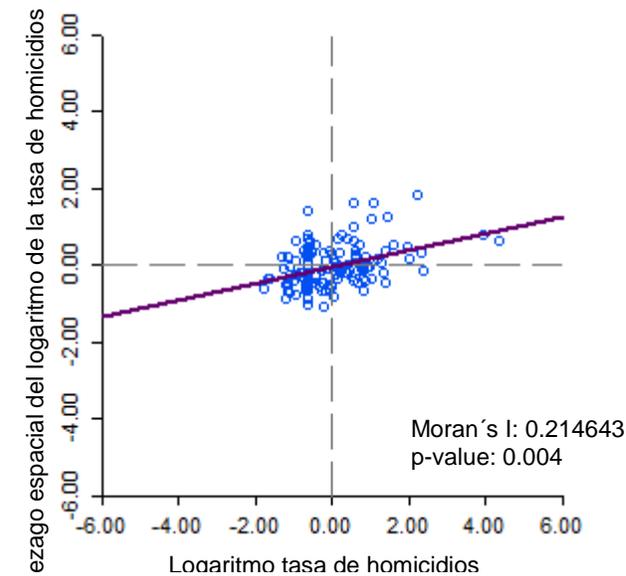
4.1 Análisis de la distribución espacial de la criminalidad

Dos métodos son utilizados para analizar la distribución espacial de los niveles de criminalidad entre las regiones analíticas. Primero, con el fin de resumir las propiedades espaciales de los datos y medir los niveles de autocorrelación espacial, esto es el nivel de agrupamiento espacial, se calcula con el estadístico I de Moran. De acuerdo a Mitchell (1999) y LeGallo (2002) una I de Moran mayor que cero es indicios de dependencia espacial positiva e indica que niveles similares de criminalidad se encuentran agrupados. A su vez si la I de Moran es útil como una medida resumen de autocorrelación espacial, este estadístico no permite identificar los patrones locales de asociación espacial, es decir, si existen o no clusters de criminalidad concentrados en lugares particulares de la ciudad. En esta parte entonces, se calculan los indicadores locales de asociación espacial (LISA) para cada región analítica.

Sin embargo, es muy importante tener en cuenta que, en el cálculo de la I de Moran y los LISA, se deben calcular una matriz de pesos espaciales (W) para definir la interdependencia espacial entre las 136 regiones analíticas. En este documento, la contigüidad geográfica se aproxima a partir de una matriz de pesos espaciales tipo QUEEN de orden uno, la cual define regiones analíticas contiguas si estas comparten alguna relación de criminalidad.

En el gráfico 8, se muestra la dispersión de los niveles de criminalidad (homicidio) y su rezago espacial, así como el cálculo de la I de Moran y su nivel de significancia. Se observa que la I de Moran para la tasa de homicidios es alto, positivo y significativo lo que indica que globalmente existen patrones de clusterización espacial de los niveles de criminalidad en Medellín.

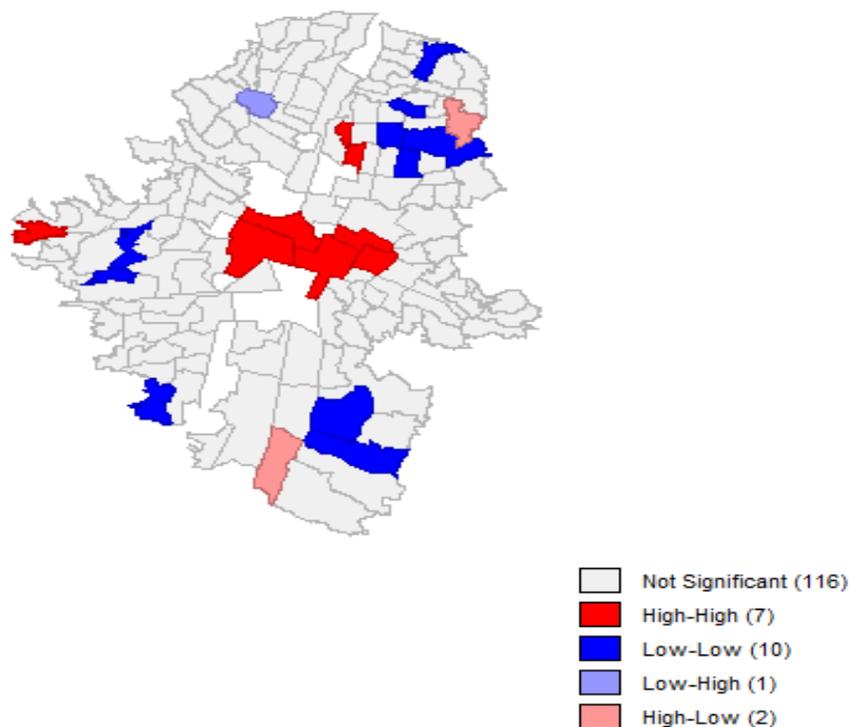
Gráfico 8. I de Moran para Homicidios



Fuente: elaboración propia a partir del logaritmo de la tasa de homicidios

El mapa LISA se muestra en el gráfico 9. En este mapa se puede observar la autocorrelación espacial que existe y la formación de clúster asociados con los niveles de criminalidad. El color rojo representa asociaciones *high-high*, es decir regiones con altos niveles de criminalidad que se encuentran rodeadas de otras regiones con similares niveles altos de criminalidad. El color azul es de asociaciones *low-low* que representan agrupaciones espaciales de bajos niveles de criminalidad, rodeados de otras regiones con bajos niveles de criminalidad. Al igual que las anteriores también existen dos tipos de dependencia espacial que aplican para este caso de estudio: el primero es *high-low* (rosado) el cual representa regiones con altos niveles de criminalidad rodeado por regiones vecinas con bajos niveles de criminalidad, y tenemos un segundo tipo de dependencia espacial que es el *low-high* (morado) representa lo contrario de la anterior, es decir, que son regiones con bajos niveles de criminalidad, pero rodeadas de regiones vecinas con alto nivel de criminalidad. Es importante destacar que las regiones analíticas que no muestran autocorrelación espacial estadísticamente significativa se mantienen en color gris.

Gráfico 9. Mapa LISA del logaritmo de la tasa de Homicidios



Fuente: elaboración propia a partir del logaritmo de la tasa de homicidios

Los resultados del mapa LISA sobre el log de la tasa de homicidios muestra que la mayor concentración de high-high (Rojo) se encuentra en el centro de ciudad entre las comunas Candelaria (comuna 10) y Villa Hermosa (comuna 8) esto indica que existe un importante cluster de regiones con altos niveles de criminalidad rodeados de regiones con altos niveles de criminalidad. Al contrario, las regiones *low-low* (azul) con comunas como Manrique (comuna 3), Popular 1 (comuna 1) y Poblado (comuna 14) representando las zonas de la ciudad con bajos niveles de criminalidad en las regiones señaladas y rodeadas de regiones vecinas con bajos niveles de criminalidad. Los datos atípicos espaciales como el *high-low* (rosado) en el cual se pueden identificar regiones con altos índices de criminalidad, y rodeado de regiones bajos niveles de criminalidad, fenómenos presentados en las comunas Guayabal (comuna 15) y parte alta de la comuna Villa Hermosa (comuna 8).

4.2 Análisis de los modelos espaciales

Analizando las variables que determinan el logaritmo de la tasa de homicidios en las regiones analíticas que componen la ciudad de Medellín y teniendo en cuenta el aspecto espacial como determinante de las dinámicas criminales de la ciudad, se presentan tres tipos de modelos econométricos. Uno de los modelos es el de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y dos modelos econométricos adicionales que están directamente relacionados con la dependencia espacial, entre las regiones objeto de estudio. Uno de ellos es el modelo autorregresivo (SAR ó spatial lag) y el

modelo de error espacial (SEM ó spatial error). Estos modelos parten de la correlación entre las regiones analíticas a través del espacio y como los datos espaciales pueden mostrar dependencia en las variables y en el error.

De acuerdo a Kalenkoski y Lacombe (2008) una agrupación de modelos de econometría espacial puede ser representada de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} y &= \rho W y + X \beta + u \\ u &= \lambda W u + \varepsilon \\ \varepsilon &\sim N(0, \sigma^2 I_n) \end{aligned} \quad (1)$$

Para este caso y representa la variable dependiente correspondiente al log de la tasa de homicidios y X son los vectores de las variables independientes (% de mujeres, % de afro, % de indígenas, % jefes de hogar, % educación superior, % de personas no nacidas en Medellín, % de sector terciario, % de tasa de desempleo, % de hogares con inseguridad alimentaria). β y ρ son los parámetros asociados a la regresión, W la matriz de pesos espaciales, y siendo u el error.

La ecuación (1) representa el modelo más general conocido como el modelo de auto correlación espacial (SAC) e incluye dependencia espacial tanto en la variable dependiente y , como en el término del error u . Casos especiales de este modelo general pueden ser obtenidos restringiendo los parámetros de dependencia espacial. Por ejemplo, el modelo espacial autorregresivo (SAR) aparece cuando se supone que hay dependeica espacial solo en la variable dependiente y , es decir, cuando $\lambda = 0$. El modelo de error espacial (SEM) aparece cuando $\rho = 0$, generando como resultado dependencia espacial solo el término de error. Cuando se hace la doble restricción de $\lambda = 0$ y $\rho = 0$, que indica la falta de autocorrelación espacial, el resultado es la especificación del modelo por mínimos cuadrados ordinarios (MCO).

El termino W en la ecuación (1), representa la matriz de contigüidad espacial de primer orden, “que expresa para cada observación (fila) aquellas ubicaciones (columnas) que pertenecen a su vecindario establecidas como elementos no nulos” (Anselin y Bera, 1998). Es decir que, es una matriz de 0 y 1, en donde 0 significa que no existe región colindante y 1 significa que si la hay. La matriz W de pesos espaciales, proporciona una explicación de los términos $W y$ y $W u$. El término $W y$ puede considerarse como un promedio ponderado de las observaciones circundantes sobre la variable dependiente y $W u$ puede considerarse como un promedio ponderado de los términos de error circundantes. Dependiendo del contexto del modelo de regresión, tanto ρ como λ miden el grado de autocorrelación espacial.

El uso de estos modelos es el siguiente. El modelo SAR se utiliza cuando se cree que la dependencia espacial es inherente a la variable dependiente. La dependencia espacial en la variable dependiente puede surgir debido a varios factores. Por ejemplo, puede existir economías de aglomeración, que genera que las firmas y los individuos se localicen conjuntamente en un punto para ahorrar costos, tomar

ventaja de las fuentes naturales o acceder más fácilmente a centros de empleos (Rosenthal y Strange, 2004).

El modelo SAR tiene la siguiente estructura:

$$\begin{aligned} y &= \rho W y + X\beta + u \\ u &\sim N(0, \sigma^2 I_n) \end{aligned} \quad (2)$$

La inclusión del término Wy como variable explicativa genera sesgos de simultaneidad, por lo que la estimación por MCO genera sesgo e inconsistencia en los parámetros estimados (Anselin, 1988). Por lo tanto, la estimación del modelo se lleva a cabo por el método de máxima verosimilitud.

Para el caso del modelo SEM, la dependencia espacial implica correlación espacial entre los términos de error. La intuición de este modelo es que es posible tener variables omitidas que son espacialmente correlacionadas entre ellas. La estimación por MCO del modelo SEM genera estimadores insesgados pero ineficientes, con lo cual las varianzas de los estimadores serán sesgadas y la inferencia estadística será inválida (Dubin, 1998). Este modelo al igual que el modelo SAR, se estima por máxima verosimilitud.

Este modelo SEM tiene la siguiente forma:

$$\begin{aligned} y &= X\beta + u \\ u &= \lambda Wu + \varepsilon \\ \varepsilon &\sim N(0, \sigma^2 I_n) \end{aligned} \quad (3)$$

En este caso el término Wu define la relación de dependencia espacial entre los términos de error.

Con el fin de determinar qué modelo elegir entre el SAR y el SEM, y poder cuantificar los efectos, se sigue la estrategia empírica propuesta por Anselin et al. (1996) y Florax et al. (2003). Los primeros autores proveen tests de Multiplicadores de Lagrange (LM) para elegir entre el modelo SAR y el modelo SEM. Existen dos tipos de test: no robustos y robustos. Los tests estadísticos no robustos se utilizan para probar sobre los residuales de la estimación por MCO, la existencia de dependencia espacial en la variable dependiente (LM lag) o autocorrelación espacial en los errores (LM error). Ambos test siguen una distribución Chi-cuadrado con un grado de libertad. La otra variedad de tests son los LM robustos. El estadístico LM lag robusto prueba sobre los residuales de los MCO, la existencia de dependencia espacial en la variable dependiente cuando la especificación potencialmente contiene un término de error espacialmente autocorrelacionado. Por su parte, el LM error robusto prueba sobre los residuales de los MCO la existencia de autocorrelación espacial en los errores ante la potencial existencia de dependencia espacial en la variable dependiente. Estos estadísticos robustos siguen igualmente una distribución Chi-cuadrado con un grado de libertad.

Más adelante, Florax et al. (2003) definieron unas reglas que utilizan los estadísticos LM para elegir el modelo más apropiado. En la elección se siguen dos pasos. En un primer paso se calculan los estadísticos LM no robustos (LM lag y LM error). Si alguno de los dos estadísticos resulta no significativo el modelo a elegir será aquel que el estadístico fue significativo. Si ambos estadísticos, por el contrario, son altamente significativos, el segundo paso implica calcular los LM robustos. Si estos estadísticos robustos son significativos, Florax et al. (2003) recomienda escoger el estadístico con un mayor valor.

Los estadístico LM (no robustos y robustos) en nuestro caso, se muestran en la parte baja del cuadro 2. Los resultados muestran que mientras el LM lag es significativo al 1%, el LM error no es significativo a ningún nivel de significancia. Con estos resultados nos quedamos en la primera etapa del procedimiento propuesto por Florax et al. (2003) y elegimos el modelo SAR sobre el modelo SEM. Los resultados de este último modelo reportados en la columna 3 del cuadro 2, también muestra que el modelo SAR es el modelo preferido, ya que el término ρ es positivo y estadísticamente significativo, mientras que en el SEM λ no es estadísticamente significativo, descartando, por tanto, dependencia espacial en el error.

Según Kim et al. (2003) los coeficientes estimados en el modelo SAR deben ser multiplicados por $(1/(1-\rho))$ con el fin de obtener una interpretación apropiado de los coeficientes. Observando así que la estimación de ρ es positiva y estadísticamente al 1% lo cual indica que si los niveles de criminalidad en una región analítica son altos, serán también altos para las regiones analíticas colindantes.

Algunas de las variables altamente significativas fueron las variables de tipo personales como mujeres, medido por las proporciones de individuos mujeres en cada una de las regiones analíticas. Se puede observar que dichas variables presentan un efecto negativo sobre los homicidios, por lo cual se tiene que por cada aumento de un 1% en la población de mujeres en una región analítica, los índices de homicidios se reducen en un 0.63%. Aludiendo a este resultado se puede indicar que el capital humano femenino es un factor clave y determinante para reducir los indicadores de crímenes violentos, en este caso homicidios.

Otra variable altamente significativa fue la de formación en educación superior mostrando valores importantes en las zonas de mayor presencia de individuos con estudios superiores, teniendo un efecto negativo. Nos indica que en las regiones analíticas en las que aumenta en un 1% la población con estudios superiores, existe una disminución del 0.49% los índices de criminalidad en dichas regiones. Con este resultado se podría indicar que un capital humano formado en procesos de educación superior continua y permanente, ayudan desde su contexto a disminuir los homicidios y mejoran la calidad de vida de la población inmersa en esos territorios.

Cuadro 2. Resultado de modelos econométricos
(Variable dependiente: logaritmo de la tasa de homicidios)

	MCO	SAR	SEM
	(1)	(2)	(3)
% mujeres	-0.076*** (0.020)	-0.072*** (0.018)	-0.070*** (0.018)
% educación universitaria	-0.034*** (0.009)	-0.028*** (0.008)	-0.030** (0.009)
% afrodescendientes	-0.007 (0.017)	-0.007 (0.015)	-0.007 (0.015)
% jefes de hogar	0.077*** (0.023)	0.066*** (0.021)	0.068*** (0.022)
% de indígenas	-0.099* (0.058)	-0.101* 0.053	-0.097* (0.053)
% no nacidos en Medellín	0.016** (0.008)	0.012* (0.007)	0.013* (0.007)
% sector terciario	-0.039*** (0.012)	-0.037*** (0.011)	-0.039*** (0.011)
% tasa de desempleo	0.009 (0.017)	0.011 (0.015)	0.013 (0.015)
% hogares con inseguridad alimentaria	0.018*** (0.006)	0.016*** (0.006)	0.014** (0.006)
constante	2.427 (1.340)	2.430 (1.226)	2.569 (1.242)
ρ		0.343*** (0.098)	
λ			0.309 (0.109)
N	135	135	135
R2	0.306	0.372	0.349
Log likelihood	-163.065	-158.205	-160.286
Akaike	346.129	338.409	340.574
Diagnóstico de dependencia espacial			
I de Moran sobre el error	0.126		
LM lag	9.713***		
LM error	4.763		
LM lag robusto	7.654***		
LM error robusto	2.704*		
Fuente: Cálculos propios a partir de la ECV 2016			
	***p<0,01	**p<0,05	*p<0,1
Errores estándar entre paréntesis			

La variable de sector terciario, se identificaron que los espacios de mayor movimiento económicos permiten una mayor interacción de la población en general con empresas ya sea de índole privadas o públicas y esto aporta a la disminución en la proporción de homicidios en algunos lugares del territorio. Podemos ver que dicha variable es altamente significativa y su efecto negativo e indica puntualmente que con un aumento de un 1% de trabajadores del sector terciario en determina zona de la ciudad a nivel intra-urbano, los niveles de homicidio tendrían una disminución del 0.95%. Este resultado indicaría que con la dinamización de la economía bajo empresas de servicios los territorios son mucho más seguros y estables socialmente.

Por último, la inseguridad alimentaria es tal vez uno de los mayores problemas de salud pública que hoy se enfrentan en el mundo, por lo cual se evalúa como una de las variables claves en el proceso de la delincuencia intra-urbana en la ciudad de Medellín. Se observa un obteniendo un efecto positivo que nos determina puntualmente que con un incremento de un 1% en la inseguridad alimentaria los índices de criminalidad aumentarían en un 0.36%. Al obtener un efecto positivo podemos puntualizar que en los territorios en donde hay más pobreza el crimen es más alto.

5. Conclusiones

En este trabajo se realiza un análisis de la dinámica espacial de las tasas de homicidio en la ciudad de Medellín a nivel intra-urbana para el año 2016 utilizando datos aportados por la secretaria de seguridad y la ECV. A partir de dicha información y estimando modelos econométricos con dependencia espacial, se realiza el análisis de la distribución en el territorio de la criminalidad, contando con factores socio económicos de la ciudad, estudiando así los factores asociados a dichas condiciones que actúan como detonantes o mitigadores de los fenómenos del crimen.

Dentro de los principales resultados de este trabajo se encuentra que Medellín no solo se encuentra segmentada socialmente y económicamente entre norte y sur, sino que adicionalmente cuenta con patrones de distribución espacial asociados a las dimensiones geográficas del crimen, encontrando así que según dicha segmentación, Medellín presenta mayores índices de criminalidad en la zona norte y centro de la ciudad. Estas zonas se caracterizan por contar con menores ingresos, cuentan con un índice menor de personas con estudios superiores, y mayor cantidad de personas que no nacieron en la ciudad, por lo cual se podrían puntualizar que la zona norte y centro de la ciudad actúa como foco detonante del crimen debido a sus condiciones socio económicas y características de la población. En cambio, para la zona sur de la ciudad, se evidencia mayor presencia no solo de personas con estudios superiores, sino también una mayor población femenina, lo cual actúa como fuente de mitigación en crímenes violentos y contando con condiciones de vida más favorables a nivel general.

Con respecto a los determinantes de los niveles de criminalidad intra-urbana en Medellín se encuentra que algunas variables con efectos positivos potencian la ocurrencia de homicidios, tales como los hogares con inseguridad alimentaria y la presencia de población no nacida en Medellín. Por su parte, las variables asociadas a educación superior y mujeres son mitigadores claves de los procesos de delincuencia. Para el caso particular de este estudio en la ciudad de Medellín se encuentra que por cada aumento del 1% en personas con educación superior y mujeres, se reduce los homicidios en un 0.49% y 0.63%, respectivamente. Mientras que el aumento en igual proporción de hogares con inseguridad alimentaria aumentaría los índices de homicidios en 0.36%.

Referencias

- Alapata. A. (2012). "The Pattern and distribution of crime incidence in an urban environment: a case study of osun state, southwestern Nigeria", *International Journal of Humanities and Social Science*, 2 (5): 178-188
- Andresen. A. (2005). "Crime Measures and the Spatial Analysis of Criminal Activity", *The British Journal of Criminology*, 2(46): 258-255
- Andresen. A., Jenior. W. y Reid. A. (2012), "An evaluation of ambient population estimates for use in crime analysis", *Association of American Geographers, British Journal of Criminology*. 3(23): 123-132.
- Bella di. E., Corsi. M. y Leporatti. L. (2014), "A Multi-indicator Approach for Smart Security Policy Making", *Social Indicators Research*. 3(122): 653-675.
- Brosnan. S. (2017). "Crime Concentration in Ireland in 2012: A Location Quotient Approach", *Irish Journal of Applied Social Studies*. 1(17): 75-93
- Cahill. M. (2003) "Geographies of Urban Crime: An Intraurban Study of Crime in Nashville, TN; Portland, OR; and Tucson, AZ", *Documento de Trabajo*, 2-197, 2003 University of Arizona
- Cahill. M. y Gordon. F. (2007), "Using Geographically Weighted Regression to Explore Local Crime Patterns", *First Published*. 2(25):174-193.
- Diaw. A., Lobont. O. y Moldovan. N. (2014). "Some relevant risk factors and causal mechanisms to understand crime in Romania", *Review of Applied Socio- Economic Research*. 8(64): 64.
- Duque. J., Royuela. V., y Noreña. M. (2012). " A Stepwise Procedure to Determibate a Suitable Scale for the Spatial Delimitation of Urban Slums". *Defining the Spatial Scale in Modern Regional Analysis. Advances in Spatial Science*.
- Gomez. C., Velasquez. H., Rendon. A. y Bohoquez. S. (2016). "Crime in Colombia: More law enforcement or more justice", Documento de Trabajo CIEF, No 14-12, 2016 UNIVERSIDAD EAFIT.
- Gomez. C., Velasquez. H., Urrego. J. (2015). "Un análisis especial al ingreso permanente como disuasivo de homicidios: el caso de la ciudad de Medellín", Documento de Trabajo CIEF, No 16-10, 2015 UNIVERSIDAD EAFIT.
- Goda. T. y Torres. A. (2016). "La desigualdad absoluta y violento crimen de propiedad", Documento de Trabajo CIEF, No 16-26, 2016 UNIVERSIDAD EAFIT.

- He. L., Paez. A. y Desheng. L. (2016), "Persistence of Crime Hot Spots: An Ordered Probit Analysis", *First published*. 1(49): 3-22.
- Heraux. A. (2012). "Spatial data analysis of crime - A review of CrimeStat III", *Social Science Computer Review*. 2(25): 189- 203.
- Kim. C., Phipps. T., y Anselin. L. (2003), "Measuring the Benefits of air quality Improvement: A Spatial Hedonic Approach", *Journal of Environmental Economics and Management*, 45(1): 24-39
- Kaufman. J. (2014). "An Analysis of the Patterns of Crime and Socioeconomic Status Visualized Through SelfOrganized Maps", University of Tennessee – Knoxville.
- Lee. S., Kang. D. y Kim. Y. (2014), "Determinants of Crime Incidence in Korea: A Mixed GWR Approach", *the Spatial Econometrics Association*, No 1-22
- Megan. E. y Gordon. F. (2013). "The Determinants of Crime in Tucson, Arizona1", *Journal Urban Geography*. 7(24): 582-610
- Murray. T., McGuffog. I., Western. J. y Mullins. P. (2001). "Exploratory Spatial Data Analysis Techniques for Examining Urban Crime: Implications for Evaluating Treatment". *The British Journal of Criminology*. 2(41): 309-329
- Ortega, C., Gómez, D., Cardona-Sosa, L. y Gómez, C. (2015). "Happiness and Victimization in Latin America", *Documentos de Trabajo CIEF*, No 16-28 2016, Universidad EAFIT.
- Urrego, J., Gómez, C., Velásquez, H., y Valderrama, J. (2016). "Efecto de los ingresos permanentes sobre el delito: Un enfoque especial y un caso de aplicación", *Investigación Económica*, 75(298): 115-153.
- Zhang. H. y Peterson. M. (2007). "A spatial analysis of neighbourhood crime in omaha, nebraska using alternative measures of crime rates", *Internet Journal of Criminology*. 2(17): 1-28.
- Florax. M., Anselin. L., y Rey. J. (2003). "Advances in Spatial Econometrics", *Cataloging –in-publication Data applied for Library of Congress*. 1(23): 167-198
- Dubin. A. (1998). "Spatial Autocorrelation: A Primer". *Journal of Housing Economics*. 7(4): 304-327
- Aselin. L. (1988). "Spatial Econometrics", *A Companion to Theoretical Econometrics*. 5(7): 310-330