

EL HOMICIDIO EN BARRANQUILLA: UNA LECTURA ESPACIAL

Néstor Garza*, Leonardo Nieto*, Mábel Gutiérrez**

* Profesores del Instituto de Estudios Económicos del Caribe - Universidad del Norte.

** Funcionaria de la Cámara de Comercio de Barranquilla.

Para realizar el análisis espacial del presente estudio, se ha utilizado la interface Geoda O.9.5-i, desarrollada por Luc Angelín, del Laboratorio de Análisis Espacial de la Universidad de Illinois.

RESUMEN

Este trabajo presenta una aproximación de corte geográfico y estadístico a la problemática del homicidio en la ciudad de Barranquilla. El estudio se concentra en los patrones espaciales de difusión del fenómeno, asimismo en un análisis que correlaciona la presencia de la fuerza pública en la ciudad, medida por la cantidad de Comandos de Atención Inmediata (CAI) de la Policía por barrio, con la tasa de homicidio para el período 2002-2008, así como con una variable espacial de control relacionada con las zonas que alcanzaron mayores tasas que el promedio de la ciudad.

El análisis econométrico confirma que la presencia de la fuerza pública reduce la probabilidad de que cada barrio considerado individualmente tenga mayores tasas de homicidio; de igual manera evidencia el carácter marginalmente decreciente de dicha relación y que el homicidio relacionado con atraco es la modalidad que más se ve afectada por dicha variable.

Los resultados alcanzados permiten simular escenarios de intervención que optimicen la presencia de la fuerza pública, asumiendo mínimos costos.

PALABRAS CLAVE: Violencia, análisis espacial, Barranquilla.

CLASIFICACIÓN JEL: H40, R00.

ABSTRACT

This document makes a geographical and statistical analysis of homicide rates in Barranquilla. The research deals with the spatial diffusion patterns, as so as the correlation between the police force presence measured through CAI (Local Police Stations) by community and the homicide rate for the period 2002-2008, taking into account a spatial correlated control variable, namely the zones that reached over the average violence levels.

Econometric analysis confirmed a reduction in the probability that each community gets over the average violence levels when the police force presence increases, and the marginally decreasing type of this relation. It was detected that there is a deepest relation between the variables in the case of the homicide related to stealing.

The results are used in a simulation of cost minimizing public force presence scenarios.

KEYWORDS: Violence, spatial analysis, Barranquilla.

JEL CODES: H40, R00.

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se realiza un análisis exploratorio y de impacto de políticas públicas respecto de las condiciones espaciales bajo las cuales se desenvuelve el fenómeno del homicidio en el distrito de Barranquilla. El análisis tiene dos niveles: el primero es puramente espacial y pone el énfasis en las particularidades geográficas de distribución de los eventos relacionados, mientras que el segundo practica un análisis probabilístico para evaluar la incidencia de la presencia de fuerza pública sobre el comportamiento del homicidio en la ciudad.

Este último análisis se acompaña de un ejercicio de simulación en el que se propone una estructura espacial de distribución de la fuerza pública, que optimice su presencia en los barrios de la ciudad, para que se disminuya un indicador agregado de riesgo por violencia por barrios.

Para el cálculo de los indicadores se utiliza la tasa de homicidio por cada 1.000 habitantes, teniendo como base la información del censo de 1993¹.

Aunque dicho indicador tenga problemas evidentes de rezago temporal, es necesario considerar que en ninguna ciudad se presentan modificaciones estructurales (demográficas y urbanísticas) de gran magnitud en períodos que apenas sí son de una década, como los intercensales.

Por otra parte, puesto que se cuenta con una población considerada inicial, es razonable dar énfasis al análisis interbarrial con toda la información disponible para extraer de allí

¹ Al momento de realizar este trabajo no era posible aún obtener información del nivel barrial, con las correspondientes proyecciones de población 2002-2008 por medio del Censo DANE 2005.

inferencias en términos de relación espacial y con carácter estructural (se excluyen las fluctuaciones de corto plazo en un ejercicio de este tipo).

Así se practica el análisis en tres modalidades de homicidio diferentes (atraco, riña y sicariato) que se relacionan con la problemática y se encuentran diferentes relaciones, en términos de probabilidad, de la presencia de fuerza pública (medida por la cantidad de los CAI localizados en un barrio), de la violencia, y el hecho de compartir fronteras con un barrio que supere el promedio de la ciudad.

2. ELEMENTOS CONCEPTUALES

Conceptuar la relación existente entre la presencia de la fuerza pública y problemas de criminalidad como el homicidio, es una tarea difícil debido a la complejidad de los encadenamientos que se espera que existan.

Investigadores como Levitt (2004), por ejemplo, entienden que se presenta una alta correlación entre la presencia de fuerza pública y la tasa de delitos en diferentes ciudades de los Estados Unidos, así como en el interior de sus zonas; sin embargo, son cautos en develar el problema de especificación inherente a este tipo de análisis, el cual es que la localización de la fuerza pública responde a la dinámica espacial del crimen en el ejercicio de su deber².

Autores colombianos como Sánchez y Del Mar (2006) argumentan que la disminución en los niveles del delito en ciertas

² Se requiere evaluar la causalidad de la relación por medio de variables instrumentales o ecuaciones simultáneas, o agregar adecuadas y correlacionadas variables de control.

circunscripciones geográficas coincide con un aumento en las aledañas, debido al efecto expansivo que tiene el crimen; además, en el caso nacional se han encontrado evidencias que relacionan la violencia y la distribución del ingreso, e igualmente con la presencia de recursos naturales fácilmente explotables³.

Para el caso de la violencia urbana, se ha detectado un fuerte componente de correlación espacial, entendido como el fenómeno de contagio de la criminalidad entre zonas aledañas.

Entre los trabajos que encuentran dichos patrones para el caso de Bogotá se encuentran Formisano (2002) y Sánchez, Espinosa y Rivas (2003). Moreno (2005) por su parte argumenta que el mejoramiento urbanístico y en seguridad de la Troncal Caracas hace migrar el crimen hacia las zonas aledañas.

En este orden de ideas, se hace necesaria entonces una aproximación espacial al crimen, en la que predomine una lectura comparada por zonas y en la que se tengan en cuenta las condiciones socioeconómicas predominantes para evaluar de manera confiable el impacto que se espera por la presencia de la fuerza pública⁴.

Sobre este particular es necesario tener presente que aunque evitar la criminalidad representa un beneficio transferible en

³ Recursos minerales o cultivos ilegales de exportación (Rangel, 2004).

⁴ Es la presencia de la fuerza pública el elemento disuasor considerado, en la eficiencia misma de su accionar, como una variable independiente que aunque debe tener un impacto sobre la senda de expansión de actividades criminales, no necesariamente influye en la percepción (Restrepo y Moreno, 2007).

términos económicos, el hecho es que la provisión de seguridad por parte del Estado es un bien público y tiene costo, que se incrementa a medida que la autoridad quiera garantizar una mayor presencia (Revelle, 2001).

El dilema propuesto se puede representar en términos de la figura 1, en la cual se indaga sobre el número óptimo de estaciones de policía cuando el costo de sufragar un número mayor de estas se incrementa, a la vez que disminuye a tasa marginal decreciente el tiempo de reacción ante emergencias en cada estación cuando estas son más numerosas.

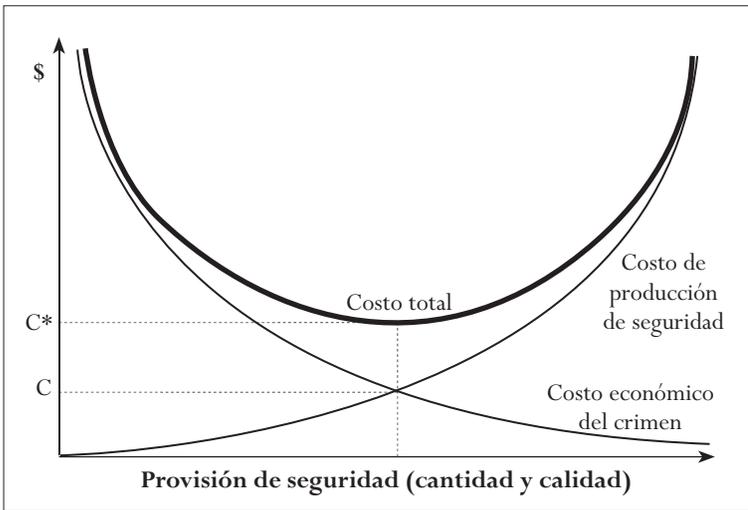


Figura 1: Trade-off entre provisión de seguridad y costo

En la toma de decisiones, la provisión y localización de bienes públicos involucra que no se pueden sujetar únicamente al problema de presencia y/o accesibilidad, pues debe tomarse en cuenta la problemática de la eficiencia social, en el sentido del mínimo coste de prestación de los servicios.

Para el caso de la figura 1, la idea expuesta es que servicios de seguridad como los que presta la Policía, puesto que no tienen un precio de mercado, deben ser valorados según los ahorros en términos de costos que prestan a la comunidad.

El costo total para la sociedad se expresa como el costo promedio de los delitos que se cometen: ante la presencia de la autoridad, medida en términos del número de los CAI, responden de manera negativa, mientras que su incremento eleva al mismo tiempo el costo del bien público.

Por ejemplo, para el caso de la ciudad de Bogotá se presentaron mejoras en seguridad en el sentido propuesto, puesto que disminuyó el tiempo de respuesta para los requerimientos ciudadanos: de 20 a 5 minutos en promedio (Acero, 2003), mientras que aumentó el correspondiente presupuesto.

El análisis de la figura 1 puede ser entendido también como un mayor gasto comprometido en el incremento de la cobertura para las estaciones existentes; allí se expresa que el costo promedio total de cada emergencia que se presenta incluye los daños materiales directamente causados por el delito, así como los gastos estatales comprometidos en la intención de evitarlo o castigarlo una vez que se presenta.

3. ANÁLISIS ESPACIAL GENERAL

Las características espaciales del fenómeno del homicidio en la ciudad para el período 2002 - 2008 presentan claros rasgos de segregación, con una marcada diferencia territorial en donde el centro y barrios aledaños, así como la zona suroccidental, tienen tasas extremadamente elevadas cuando se les compara con los registros alcanzados en el resto de la urbe.

El mapa 1 representa las tasas de homicidio por 1.000 habitantes que predominan en todos los barrios del distrito de Barranquilla; se caracterizan dos zonas altamente influenciadas por el fenómeno: el centro y el suroccidente de la ciudad, con niveles importantes en los corredores viales de la carrera 46 y de la antigua carretera de la Cordialidad.

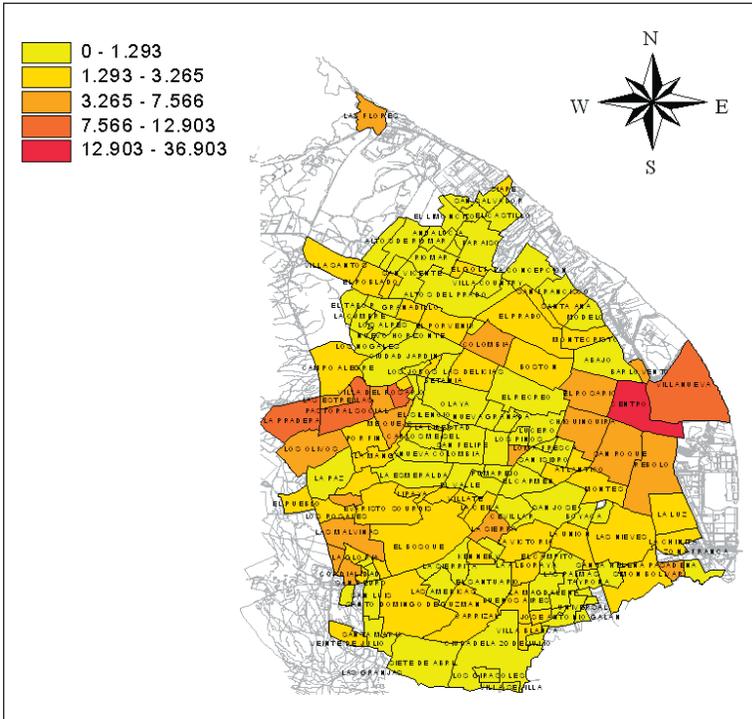
Esta estructura tiene importantes implicaciones para el análisis propuesto, ya que se encuentra claramente segregada y, en consecuencia, un análisis estadístico de corte transversal a los datos es insuficiente para explicar la dinámica de la violencia homicida en la ciudad, dado que el control espacial es una variable importante en cualquier ejercicio de caracterización⁵.

Para realizar el ejercicio, se avanza a una interpretación dicotómica de la probabilidad de entrar en situaciones de violencia cuando se tienen barrios en las vecindades que puedan ser consideradas violentas, según el análisis del mapa 1; en efecto, se adjunta el mapa 2 que caracteriza todos los barrios que alcanzaron una tasa de homicidios superior al promedio de la ciudad.

Como era de esperarse, los barrios del suroccidente, del centro, el corredor vial de la 46, el borde sur de la Cordialidad, la salida a Santa Marta y el barrio Las Flores tienen tasas de homicidio superiores al promedio de la ciudad y puede considerárseles en este sentido barrios violentos.

⁵ El grado de correlación espacial y el consecuente sesgo de especificación se manifiestan como agrupamientos de información (*clusters*) que impiden la lectura comparada.

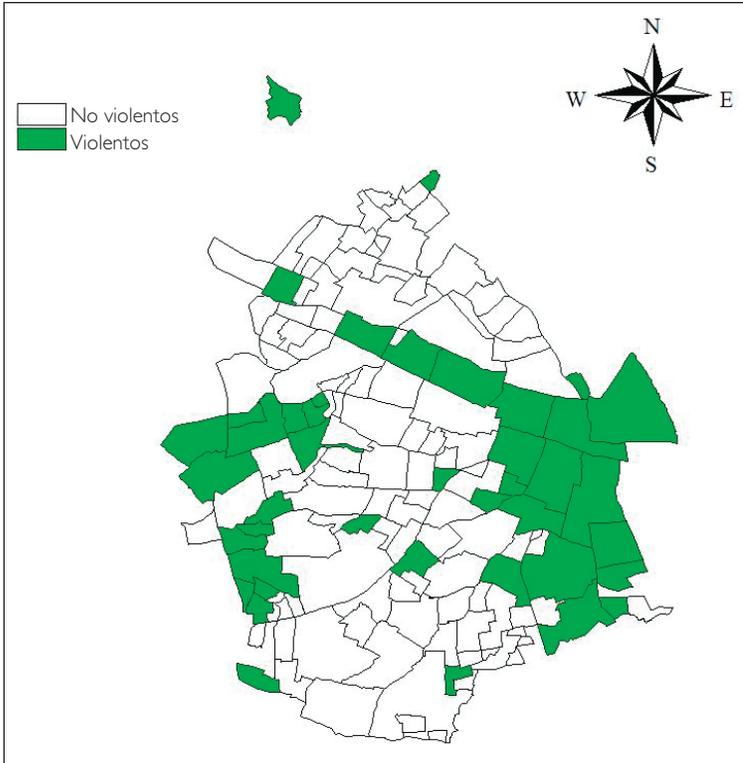
Mapa I: Tasa de homicidio en Barranquilla por barrios y esquema cartográfico de soporte*



* Por cada 1.000 habitantes

Fuente: Elaboración propia con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio.

Mapa 2: Barrios con tasa de homicidio superior al promedio

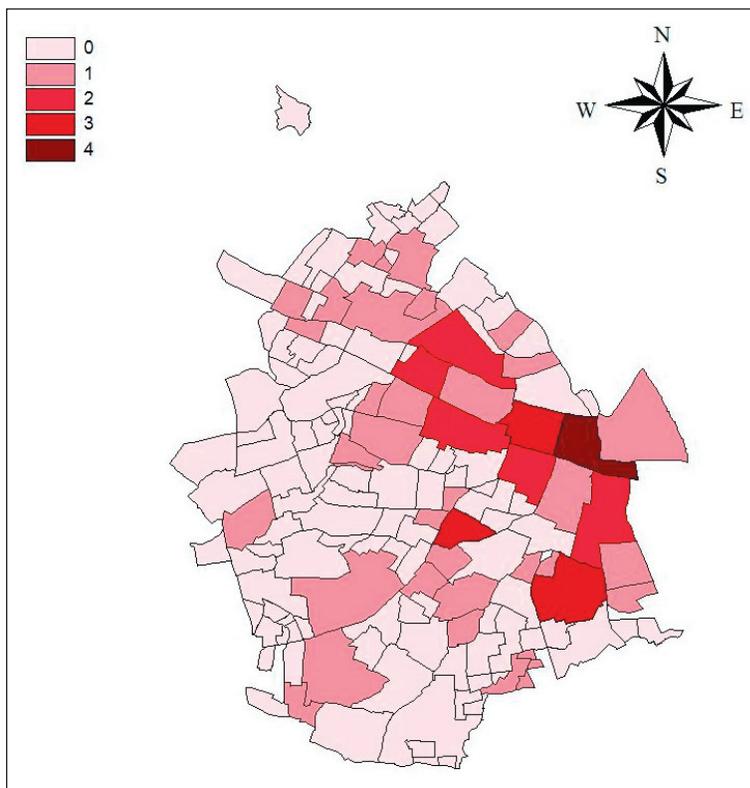


Fuente: Elaboración propia con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio.

En el mapa 3 se representa el número de los CAI presentes en cada barrio, tomando en cuenta que los que están ubicados en “frontera” se consideran valiosos desde el punto de vista de la cercanía de fuerza pública para los dos barrios vecinos.

Como se puede apreciar en el mapa 3, hay una amplia presencia de los CAI en la zona céntrica de la ciudad y en los corredores viales de la carrera 46 y de la calle 45 o Murillo.

Mapa 3: Cantidad de CAI por barrio



Fuente: Elaboración propia con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio.

Dicha distribución no es aleatoria y surge precisamente porque la autoridad detecta las mayores necesidades de presencia de la fuerza pública en estos barrios.

Se puede decir entonces que la presencia de la autoridad en los barrios en los que se siente con mayor fuerza el fenómeno de violencia homicida no puede asociarse de manera directa en sentido estadístico; esta es, precisamente, la importancia que

tiene la utilización de la variable espacial del mapa 2 dentro del análisis.

Como complemento de los resultados presentados, se puede realizar una primera aproximación espacial exploratoria de la información disponible

4. PRESENTACIÓN GENERAL DEL FENÓMENO Y LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

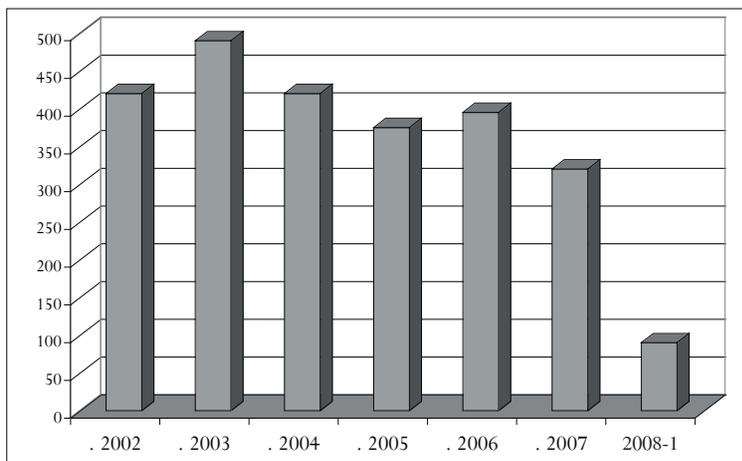
La conformación socioespacial de una ciudad está muy relacionada con la incidencia del crimen en la misma. En otras palabras, la ubicación espacial de los diversos grupos poblacionales incide sobre la ocurrencia de crímenes de diversa índole en un territorio. Naturalmente, existen otras variables que se pueden relacionar con la criminalidad como son la pobreza, la desigualdad, ausencia o escasez de personal policivo, presencia de grupos armados ilegales, actividades relacionadas con el narcotráfico, bajos niveles de educación, exclusión, desempleo, etc.

Todas estas variables socioeconómicas y demográficas y su relación con el espacio son susceptibles de un análisis estadístico que tenga en cuenta cómo interactúan y el papel que juega la ubicación geográfica en la determinación de patrones de comportamiento en el interior de la ciudad.

El objetivo fundamental de este trabajo consiste en destacar la importancia del análisis espacial y de la presencia policial en la ocurrencia de los homicidios en la ciudad de Barranquilla durante el período 2002-2008 (primer semestre).

Se trabaja sobre la tasa de homicidios teniendo en cuenta que este delito constituye una expresión clásica de la inseguridad en una ciudad y porque, generalmente, ocasiona gran despliegue de los medios de comunicación y la opinión pública.

Como primera aproximación a la cuestión, se aporta el gráfico 1 sobre ocurrencia de homicidios en cada año del período estudiado (2008 apenas hasta el primer semestre). Se aprecia una reducción a partir del máximo alcanzado en 2003; en ese año ocurrieron 483 homicidios de los 2.480 que se presentaron durante todo el período.



Fuente: Elaboración propia con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio.

Gráfico 1: Número de homicidios ocurridos en cada año del período

Puesto que el tope se presenta en un año inicial dentro de la serie, se puede argumentar que se cuenta con un conjunto de datos que representa un ciclo descendente dentro de la problemática y homogéneo desde el punto de vista del cambio estructural.

Ahora bien, puesto que el interés de este trabajo es realizar una lectura espacial del fenómeno, es importante tener

presente que en tal circunstancia, la tendencia de la serie para la totalidad de barrios (la ciudad) no tiene por qué representar un problema interpretativo.

En cuanto a la tasa, la evolución temporal de todas maneras no es una variable confiable debido a los problemas de difusión y estandarización que ha venido presentando en el censo del 2005; sin embargo, con base en las proyecciones de población del DANE⁶ se elaboró la tabla 1.

Tabla 1

Población y tasa de homicidios en Barranquilla 2005-2008-I

	2005	2006	2007	2008-I
Población	1.146.359	1.154.642	1.163.007	1.171.180
Tasa de homicidios*	32	33	28	6

* Por cada 100.000 habitantes.

En la tabla 2 se puede observar la distribución del delito por localidades. El mayor número de casos durante el período se presentó en las localidades Suroriente y Suroccidente de la ciudad.

Es importante, para efecto del presente estudio, tener presente que la totalidad de los eventos no han podido ser clasificados en términos espaciales; por tal razón aparecen 592 casos en los que no se logra determinar la localidad. Se tiene entonces la delicada implicación de que la información período a período escasea, mientras que el análisis puramente espacial en términos estructurales para la totalidad del período aparece como relevante en este contexto.

⁶ Los datos de población provienen del documento *Proyecciones municipales de población 2006-2020, metodología*, disponible en el sitio web del DANE.

Tabla 2
Distribución del homicidio por localidad

Localidad	Homicidios
Metropolitana	295
Norte - Centro histórico	383
Riomar	53
Suroccidente	417
Suroriente	740
(en blanco)	592
Total	2.480

Fuente: Elaboración propia con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio.

Precisamente, las ausencias por localidades se hacen evidentes en la información barrial, que tiene 593 ausencias.

Teniendo en cuenta la salvedad ya planteada, que además avala la necesidad de un análisis desagregado, se puede mencionar que los barrios con mayor número de homicidios durante el período fueron: Rebolo (150), San Roque (127), Centro (112), El Bosque (65), Chiquinquirá (58), Las Nieves (58), Santo Domingo de Guzmán (57).

También es relevante aclarar que los barrios que alcanzan un alto número de homicidios no necesariamente tienen una alta representación en la tasa de homicidio para cada 1.000 habitantes durante el período completo en el mapa 1, pues pueden ser demográficamente grandes (como el caso de Rebolo); de esta manera este barrio no reporta una tasa tan dramática como la que se presenta en el Centro y Barranquillita (Villanueva) en dicho mapa.

Desde el punto de vista de la hora de ocurrencia, el 60% de los homicidios sucedieron entre las 6 de la tarde y las 6 de

la mañana; sin embargo, esta información no es concluyente debido a que 606 casos no reportaron este dato.

Desde el punto de vista de la tipología del delito, con base en la clasificación internacional sugerida por Douglas et al. (1992), los homicidios se distribuyen según categorías motivacionales; se encuentra que el 44.3% corresponden a empresas criminales (sicariato, atraco y terrorismo), 18.5% ocurrieron por conflictos fuera del hogar (riñas entre personas y entre pandillas), el 2.4% corresponden a enfrentamientos con la fuerza pública.

El 31.8% de los 2.480 homicidios no reporta modalidad; sin tener en cuenta esos datos, el 90.7% de los casos restantes corresponden a la modalidad de sicariato (46.7%), riña (25.8%) y atraco (18.2%).

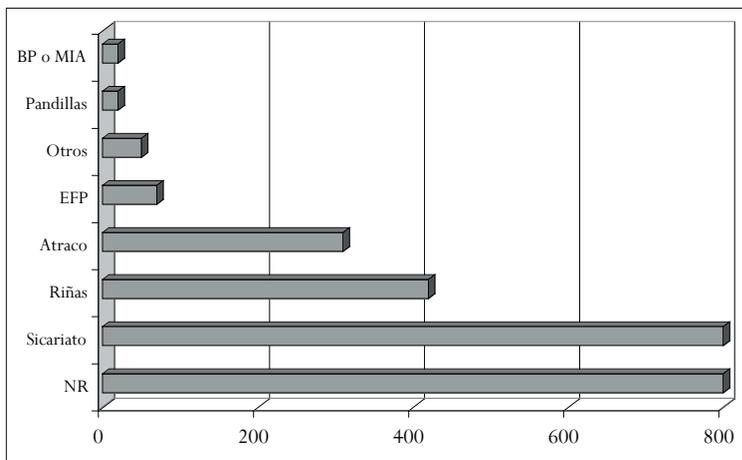
Esta información permite entonces construir el gráfico 3 en el que se aprecia el predominio evidente de las modalidades sicariato, riñas y atraco dentro del total de eventos en el período. Por tal razón, estas tres categorías serán analizadas de manera detallada en la sección 5 con la intención de plantear un esquema general de optimización del esfuerzo que realiza la fuerza pública en la ciudad, en términos de la presencia de los CAI por barrio.

Tabla 3

Clasificación internacional según el motivo

Clasificación por categorías motivacionales	Homicidios	Porcentaje
Empresa criminal	1.100	44.35
Homicidios domésticos	24	0.97
Ocurridos en ocasiones de conflicto fuera del hogar	460	18.55
No reportados y en blanco	788	31.77
Enfrentamiento con la fuerza pública	59	2.38
Otros	49	1.98
Total	2.480	100.00

Fuente: Elaboración propia con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio.



BP: bala perdida; MIA: manejo inadecuado de armas; EFP: enfrentamientos con la fuerza pública; NR: no registra modalidad.

Fuente: Elaboración propia con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio.

Grafico 3. Cantidad de homicidios por modalidad

En cuanto a las ocupaciones de las víctimas, una vez excluidos los casos que no reportan ocupación o que aparecen en blanco (996), se halla que el 27.3% se encontraban desempleados, el 11.5% eran vendedores ambulantes, 8.8% comerciantes, 4.9% empleados, y el 3.5% albañiles.

5. PATRÓN ESPACIAL DE DIFUSIÓN DEL HOMICIDIO

Haciendo uso de la información representada en los mapas 1, 2 y 3 se avanza hacia una interpretación del patrón espacial de difusión del homicidio en la ciudad, que atiende a su carácter claramente determinado (segregado) dentro de la trama urbana.

Para tal efecto se practica un análisis de asociación espacial (LISA) a fin de detectar *clusters* de barrios según la semejanza que representen en términos de los niveles con todos y cada uno de los vecinos correspondientes.

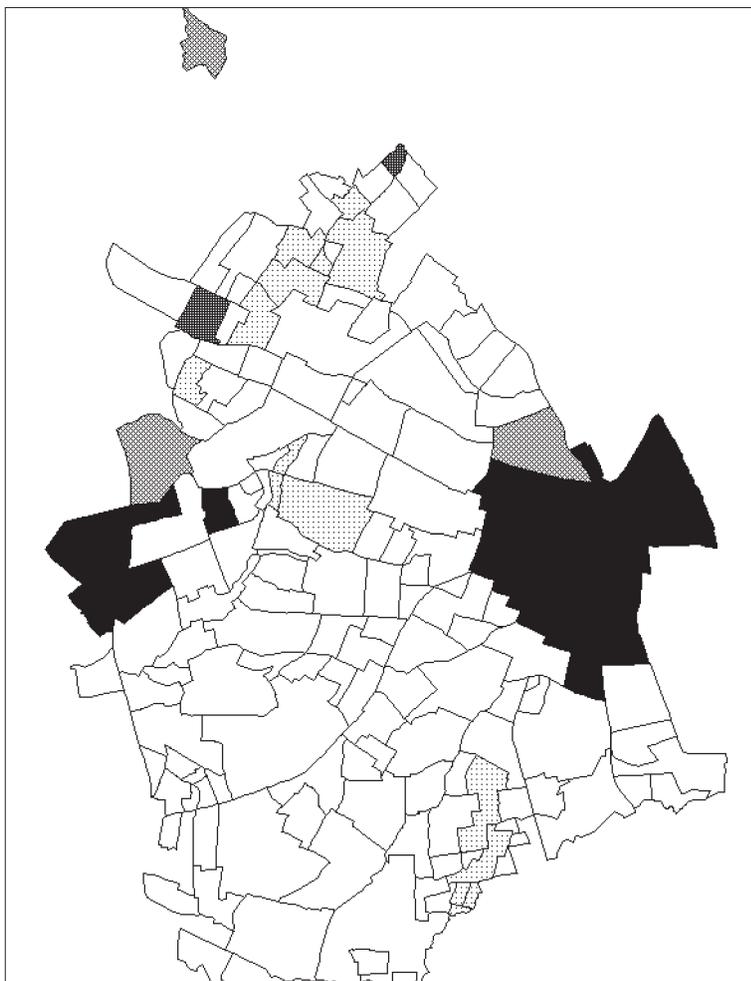
Este tipo de metodología se describe con mayor profundidad en el apéndice I. En este punto basta aclarar que permite conformar agrupaciones naturales de las unidades geográficas según las variables que se encuentren bajo estudio.

Una composición con los mapas 4, 5, 6 y 7 se presenta a continuación, en donde se aprecia el grado de semejanza espacial por barrios para dos variables consideradas clave dentro del análisis: la tasa de homicidio y el carácter superior a la tasa promedio de la ciudad para cada barrio (barrios violentos).

La clave de observación de los mapas es la siguiente:

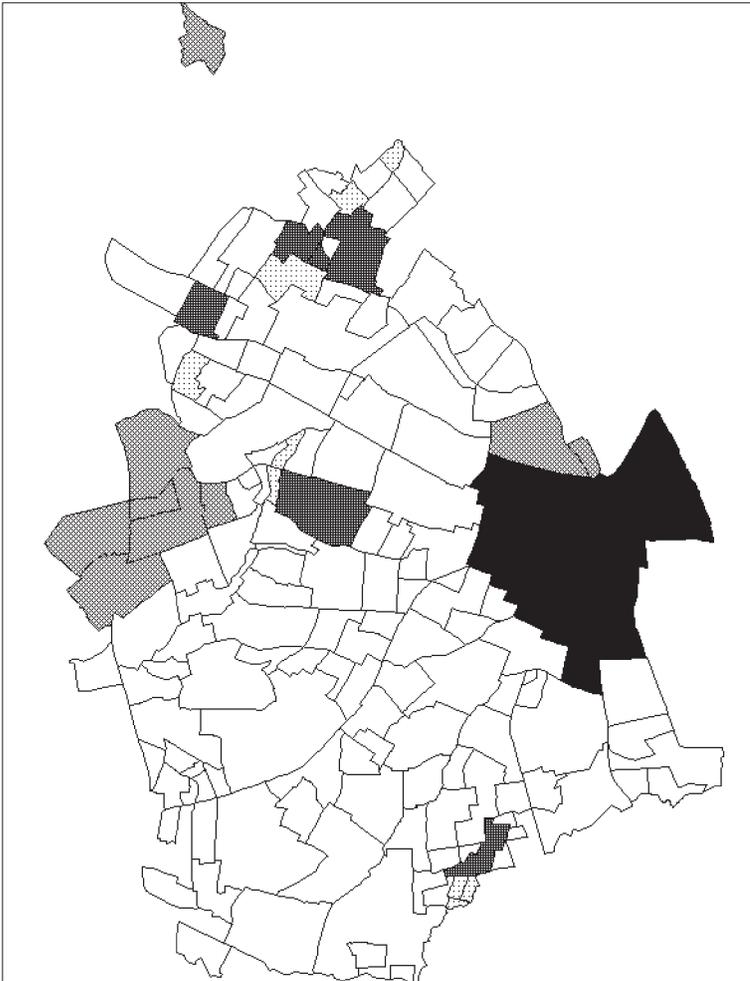
- El color negro representa un alto grado de semejanza (y disimilitud con el resto de la ciudad) debido al alto valor de la variable.
- El relleno de puntos representa un alto grado de semejanza (y disimilitud con el resto de la ciudad) debido al bajo valor de la variable.
- El color negro con punteado blanco representa un alto grado de semejanza (y disimilitud con el resto de la ciudad) debido a los bajos valores de la variable, pero límite con barrios que tienen altos valores de la variable.
- El color blanco con punteado negro representa un alto grado de semejanza (y disimilitud con el resto de la ciudad) debido a los altos valores de la variable, pero límite con barrios que tienen bajos valores de la variable.

Mapa 4: LISA de la tasa de homicidio
Índice de Moran: 0.2903
Desv. Std: 0.0524



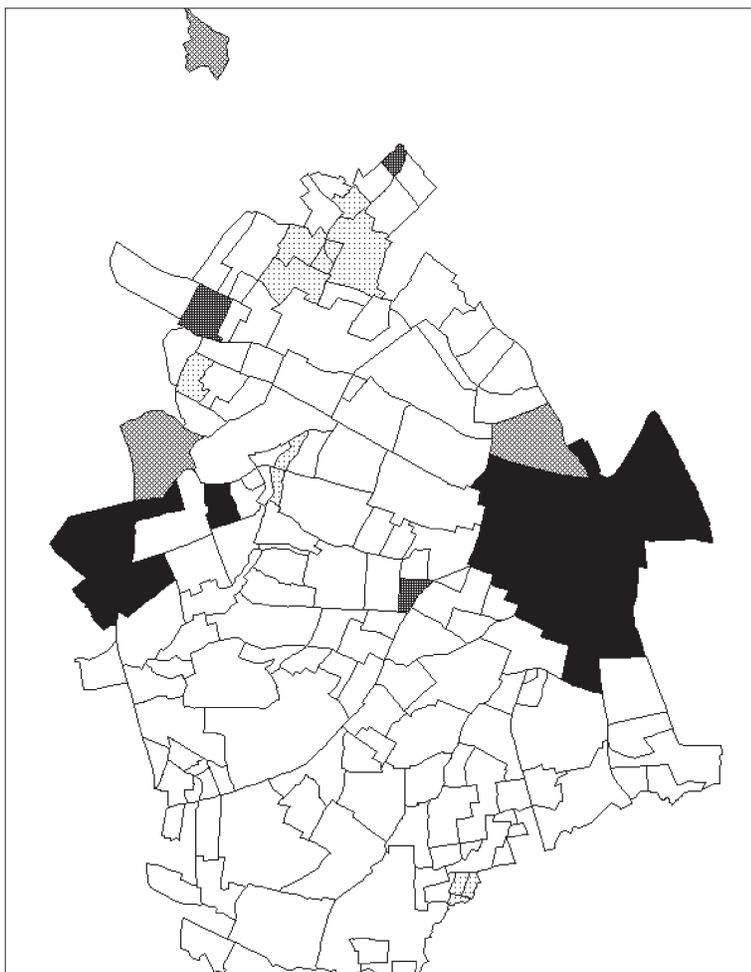
Fuente: cálculos propios con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio.

Mapa 5: LISA de tasa de homicidio y CAI
Índice de Moran: 0.0746
Desv. Std: 0.0396



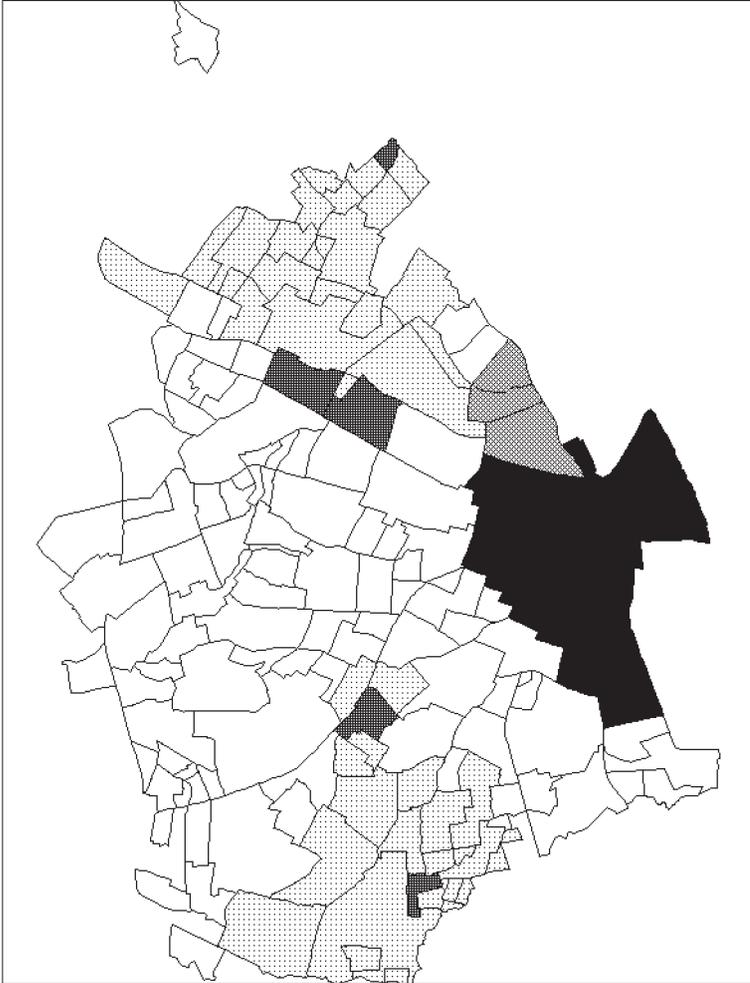
Fuente: cálculos propios con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio.

Mapa 6: LISA de tasa de homicidio y vecinos violentos
Índice de Moran: 0.2903
Desv. Std: 0.0524



Fuente: cálculos propios con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio.

Mapa 7: LISA de vecinos violentos
Índice de Moran: 0.3135
Desv. Std: 0.0419



Fuente: cálculos propios con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio.

Los mapas 4, 5, 6 y 7 permiten confirmar la observación inicial de que la problemática más grave se vive en la zona céntrica, específicamente, los barrios: El Centro, Rosario, Chiquinquirá, San Roque, Rebolo, Villanueva (Barranquillita) y Barlovento.

De otra parte, el *cluster* de alta violencia del suroccidente de la ciudad se ve confirmado en los mapas 4 y 6, específicamente los barrios: Los Olivos, La Pradera, Las Estrellas y Las Terrazas. Esta zona de la ciudad se caracteriza por asentamientos precarios de carácter espontáneo, en los cuales ha sido tradicionalmente escasa la presencia estatal como se pudo apreciar en la nula presencia de CAI, según el mapa 3, y la correspondiente ausencia de alguna relación de semejanza en el mapa 5⁷.

Ahora bien, el mapa 5 permite detectar la relación positiva entre el número de los CAI y las tasas de homicidio ya comentada y esperada. Esta situación no debe prestarse a una incorrecta interpretación en términos del orden de causalidad; debe ser discernida a la luz de un modelo econométrico con control por la ya detectada similitud espacial.

Otra particularidad de la información procesada consiste en que en la zona suroriental y en la zona norte se configuran dos *clusters* de baja tasa de homicidio con baja presencia de CAI, lo cual podría parecer sorprendente, teniendo presente el argumento principal del trabajo, sin embargo, no lo es tanto cuando se tiene en cuenta que la principal modalidad de homicidio en la ciudad es el sicariato y no el atraco⁸.

⁷ En estos barrios predomina una consolidación del fenómeno de informalidad urbana en el largo plazo (Ospino, 2000).

⁸ Ya que esta modalidad puede predominar en el caso que el crimen se asocie a la «*esperanza del pago por el botín*» Según la lógica de análisis de la microeconomía del crimen de autores como Becker (1968).

Se tienen además algunas particularidades como, por ejemplo, el hecho de que los barrios Abajo y Barlovento limitan con barrios extremadamente violentos (por encima del promedio), con los que configuran agrupación desde abajo; mientras que Colombia y El Porvenir tienen tasas elevadas comparados con sus vecinos, con los que configuran agrupación desde arriba.

Las agrupaciones norte y suroriental de bajas tasas de homicidio y las evaluaciones que tienen los vecinos por debajo del promedio de la ciudad son pequeñas. Se tienen en esta categoría los barrios:

- *En el norte:* Paraíso, Las Tres Avemarías, Andalucía, Solaire, Riomar, San Vicente y Villa del Este.
- *En el suroriental:* El Milagro, Los Laureles, José Antonio Galán, Las Palmas, Villa del Carmen.

Un análisis detallado de estos sectores es una oportunidad interesante para detectar modificaciones de tendencia hacia un escenario de menor complejidad delictiva, por lo que es necesario aproximarlos a la lógica del escape a determinismos geográficos o socioeconómicos.

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

Con el fin de estimar los efectos que pueden tener la presencia policial y la ubicación geográfica sobre la tasa de homicidios de cada barrio de la ciudad se estima un modelo *logit*. Este modelo permite calcular la probabilidad de que un barrio tenga la tasa de homicidios por encima del promedio para la ciudad;

en otras palabras, el modelo tiene la capacidad de clasificar a cada barrio de la ciudad según su tasa de homicidios.

La característica binomial para efectos del presente ejercicio es el hecho de que un barrio sea violento, en el sentido de una tasa de homicidio superior al promedio de la ciudad. Como variable independiente se utiliza el número de Comandos de Atención Inmediata (CAI) como una aproximación a la presencia policial en cada barrio. Esta variable se tomó como categórica ya que sus valores representan niveles de presencia policial y no un número de agentes de Policía⁹.

El efecto de la ubicación geográfica se incluye a través de una segunda variable independiente, esta variable se constituye por el número de barrios vecinos que presentan una tasa de homicidios superior al promedio. La inclusión de esta variable se realiza debido a la importancia que representa en la correlación espacial con la tasa de homicidio.

La estructura del modelo es la siguiente:

$$p(y = 1) = \left(\frac{1}{1 + e^{-(\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2)}} \right)$$

Donde:

- p representa la probabilidad de que un barrio sea violento¹⁰; puede tomar valores entre 0 y 1.

⁹ Es deseable contar con información detallada de los montos de recursos (humanos y operativos) con los que cuenta cada CAI, ya que de esa manera se aproxima la presencia de la fuerza pública con mayor precisión.

¹⁰ En adelante la expresión barrio violento hace referencia al hecho de que dicho lugar haya presentado una tasa de homicidios superior al promedio de la ciudad.

- X_1 es la cantidad de unidades policiales (CAI) en el barrio; puede variar entre 0 y 4.
- X_2 representa la presencia de barrios vecinos con una tasa de homicidios superior al promedio de la ciudad; toma valores entre 0 y 6. Esta variable juega el papel de control espacial del análisis.
- Los parámetros β_1 y β_2 miden el efecto sobre la variable p ante aumentos o disminuciones de los valores en las variables X_1 y X_2 , respectivamente.

Antes de llegar a este modelo se realizaron pruebas con otras variables independientes como controles espaciales y socio-económicos, por su valor explicativo de estas mismas dinámicas a nivel metropolitano:

- Número de colegios públicos: presencia pública tipo “zanahoria”, en contraposición a una presencia puramente represiva de la fuerza pública (Sánchez, Espinosa y Rivas, 2003).
- Número de colegios privados o públicos: otra medida “zanahoria”, pero que pondera intrínsecamente el nivel de ingreso (también puede ponderar la economía informal o la localización estratégica).
- Bloque de separación territorial por relieve e hidrografía: efecto de la geografía física sobre el patrón de segregación socioespacial, elemento de considerable importancia en el fenómeno de “favelización” o pérdida de gobernabilidad a escalas barrial y comunal.

Ninguna de estas variables resultó significativa dentro del modelo; sin embargo, no deben ser descartadas para futuras investigaciones, ya que el enfoque puramente estructural desestima los efectos temporales. Las variables pueden ser introducidas como indicadores per cápita o de coberturas, y el enfoque por barrios de la presente investigación descarta aproximaciones al nivel comuna o de manzana, que pueden ser más relevantes para la problemática estudiada.

El modelo de mejor ajuste desestimó la presencia del tercer y cuarto CAI como factores explicativos del aumento o disminución de la tasa de homicidios; por esta razón se decide eliminar del análisis los barrios que cuentan con 3 o 4 CAI para realizar un análisis diferente en ellos, teniendo en cuenta que las tasas de homicidios allí pueden estar explicadas por factores diferentes a la presencia policial (Levitt y Dubner, 2006).

Los barrios excluidos del análisis por la razón anterior fueron: El Carmen, El Rosario, Las Nieves y el Centro, lo que deja un total de 146 barrios como base del ejercicio de regresión.

El modelo definitivo se presenta en la tabla 4.

Tabla 4
Resultados del modelo Logit

	β	E.T.	Wald	g.l.	p-value	Exp(B)
VECIVOL	0.473	0.144	10.828	1	0.001	1.605
CAI			26.865	2	0.000	
CAI (1)	-1.301	0.278	21.899	1	0.000	0.272
CAI (2)	-1.512	0.438	11.903	1	0.001	0.220

Las variables de presencia policial X_1 y X_2 (CAI (1) y CAI (2)) resultaron significativas al 99%¹¹. Esto significa que la tasa de homicidios sí está relacionada con la presencia policial. El signo negativo de los coeficientes asociados a estas variables indica la eficacia de la presencia policial en la reducción de las tasas de homicidios, es decir, en la medida en que aumenta la presencia policial en un barrio, se reduce la probabilidad de que ese barrio sea violento.

En el caso de la variable X_3 , que mide la cantidad de vecinos violentos, se puede notar que es significativa y que incide sobre los homicidios a medida que a mayor número de vecinos violentos, mayor probabilidad de ser un barrio violento; esto es así por el signo (positivo) del coeficiente estimado para esta variable.

La séptima columna de la Tabla 4 presenta los e^{β_i} que dice cuanto cambia la probabilidad de convertirse en un barrio violento ante cambios de una unidad en cada variable independiente.

El parámetro cuantifica el riesgo, es decir, una proporción entre la probabilidad de que un barrio sea violento y la probabilidad de que no lo sea. En el caso de la variable CAI (1), por ejemplo, $e^{\beta_1} = e^{-1.301} = 0.272$ significa que un barrio que posee un CAI tiene un 72.8.% (100 – 27.2) menos de probabilidad de ser violento, frente a la probabilidad que tiene otro sin CAI.

Debe destacarse que el parámetro correspondiente a dos CAI tiene un menor efecto marginal en la tabla 7, es decir, que el “empinamiento” de la función es menos que proporcional al

¹¹ Observe el nivel de significancia < 0.01 en la sexta columna para todas las variables del modelo.

cambio en la presencia de la fuerza pública¹². Este es el tipo de estructura esperable a partir del análisis que se había realizado para la figura 1.

En el caso del riesgo de la variable X_3 (VECIVOL), se encuentra que un barrio sin presencia policial, por el simple hecho de tener un vecino violento, tiene 63% más de probabilidades de ser violento frente a otro barrio que no colinde con barrios violentos¹³.

Lo anterior demuestra que la presencia policial en los barrios disminuye la probabilidad de que la tasa de homicidios supere el promedio. Por otro lado, la cercanía a barrios violentos eleva esa misma probabilidad y sirve como control espacial efectivo al ejercicio general de evaluación del impacto de la presencia de fuerza pública.

6.1. Análisis por modalidades de homicidio

Teniendo en cuenta que el delito de homicidio se comete en diferentes circunstancias y por distintos motivos, como se apreció en la sección cinco, en este apartado se va a estimar el modelo para las modalidades de homicidio más frecuentes durante el período, es decir, sicariato, riña y atraco.

La metodología es análoga al caso anterior, la única diferencia es que aquí la variable dependiente va a ser la tasa de homicidio en cada modalidad por barrios. Los resultados se consignan en las tablas 5, 6 y 7.

¹² Pasar de 1 a 2 CAI implica un crecimiento del 100%, mientras que el parámetro pasa de 1.371 a 1.512 lo que implica un crecimiento de apenas 10%.

¹³ Tal y como había sido detectado en la sección precedente.

Tabla 5

Resultados del modelo para homicidio por sicariato

	β	E.T.	Wald	g.l.	p-value	Exp(B)
VECIVOL	0.377	0.142	7.064	1	0.008	1.457
CAI			30.649	2	0.000	
CAI(1)	-1.371	0.283	23.511	1	0.000	0.254
CAI(2)	-1.880	0.483	15.172	1	0.000	0.153

Tabla 6

Resultados del modelo para homicidio por riña

	β	E.T.	Wald	g.l.	p-value	Exp(B)
VECIVOL	0.345	0.146	5.592	1	0.018	1.413
CAI			37.181	2	0.000	
CAI(1)	-1.700	0.308	30.503	1	0.000	0.183
CAI(2)	-2.031	0.509	15.950	1	0.000	0.131

Tabla 7

Resultados del modelo para homicidio por atraco

	β	E.T.	Wald	g.l.	p-value	Exp(B)
CAI			26.252	2	0.000	
CAI(1)	-0.884	0.214	17.121	1	0.000	0.413
CAI(2)	-1.216	0.403	9.131	1	0.003	0.296

En todos los casos, la presencia policial resulta efectiva estadísticamente para reducir la tasa de homicidios en los barrios. En el caso de homicidios por atraco, la variable que recoge la presencia de vecinos violentos no es significativa¹⁴.

En consecuencia, teniendo en cuenta que la cercanía de vecinos violentos incrementa los niveles de criminalidad, la

¹⁴Ver Anexo estadístico.

presencia de la fuerza pública es una variable que logra disminuir la tasa de homicidios por barrios.

En los tres casos, el efecto marginal de dos CAI es menor que con uno, en consonancia con la teoría expuesta en la figura 1 y coincidiendo con lo alcanzado para la tasa general de homicidio en la sección precedente.

En el caso del homicidio por atraco, puesto que no se ajusta el control espacial (vecinos violentos) aunque el signo de los parámetros sea correcto, se tiene que esta modalidad delictiva tendría un accionar cuya distribución espacial no se encuentra claramente circunscrita.

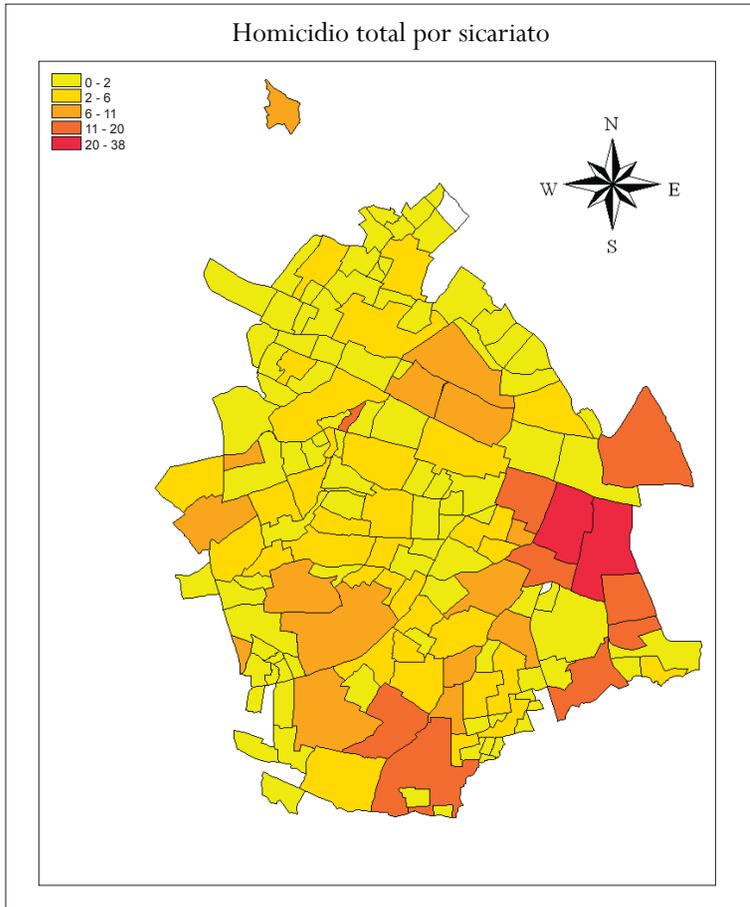
Como argumento para explicar esta situación se presenta el análisis espacial del homicidio según las tres modalidades; se destaca que el análisis LISA detecta *clusters* de asociaciones más evidentes para las modalidades sicariato (que además es la modalidad predominante) y riña, que para la modalidad homicidio por atraco.

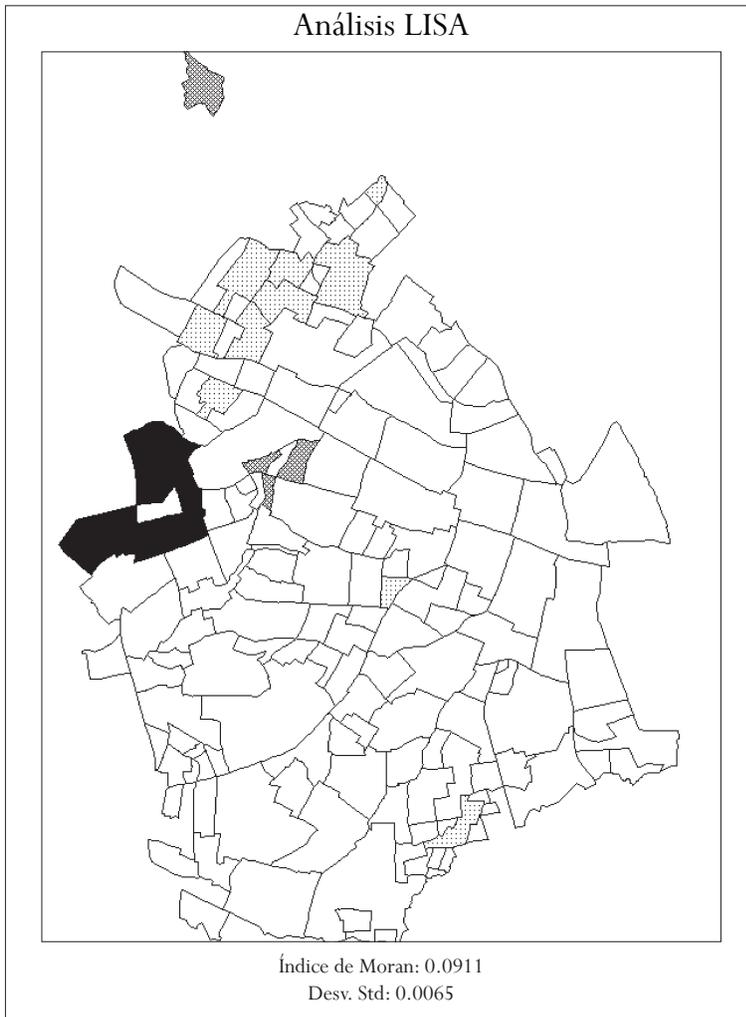
El hecho de que la desviación estándar asociada al Índice de Moran sea mayor que el índice mismo para el caso del homicidio por atraco implica una escasa asociación espacial; es evidente en el análisis LISA del mapa 8 y sustenta la no significancia y no inclusión del parámetro en la tabla 7. Caso contrario a los casos de sicariato y riña, en los que se puede establecer claramente intervalos de confianza que no incluyen el cero o nulidad del parámetro.

En el caso de los homicidios por riña, la presencia policial tiene mayor impacto según la tabla 6; esto se evidencia en el hecho de que los coeficientes que acompañan las variables de presencia policial son más altos que en los otros casos. Así mismo, este modelo es el de mejor ajuste¹⁵.

¹⁵ Ver anexo estadístico.

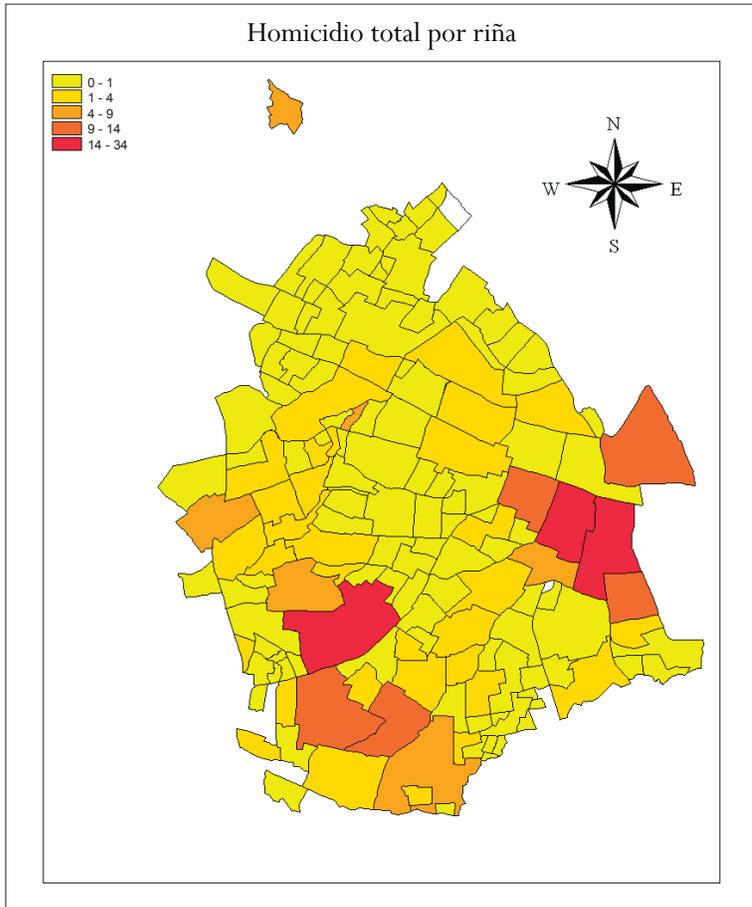
Mapa 8: LISA para la tasa de homicidio por sicariato y vecinos violentos

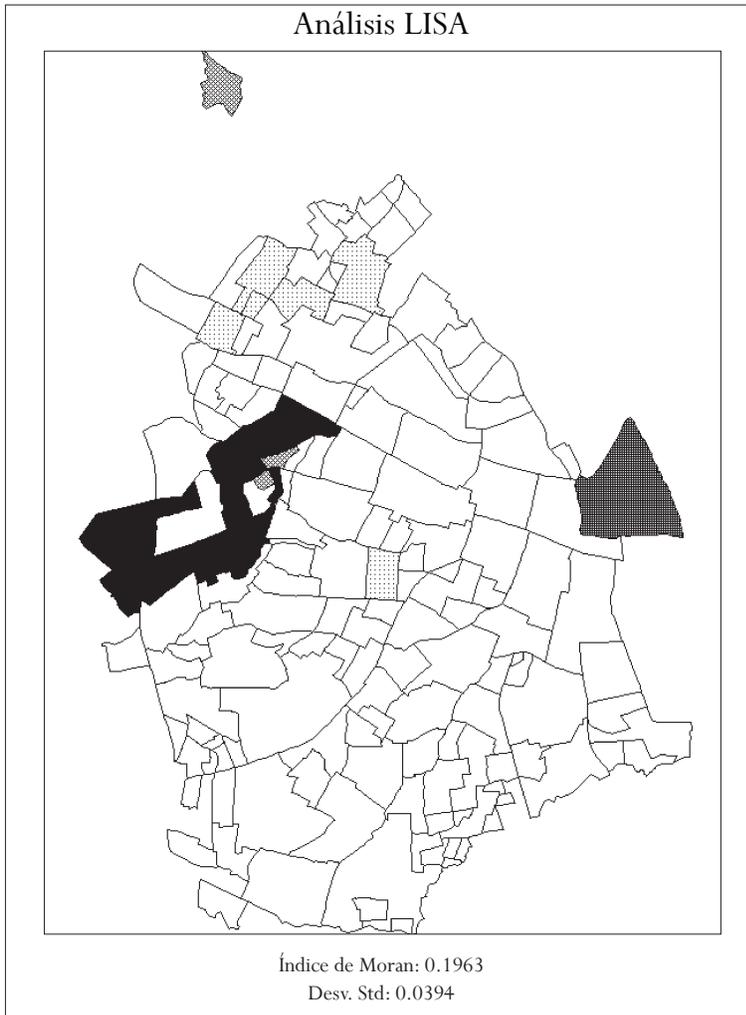




Fuente: Cálculos propios con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio

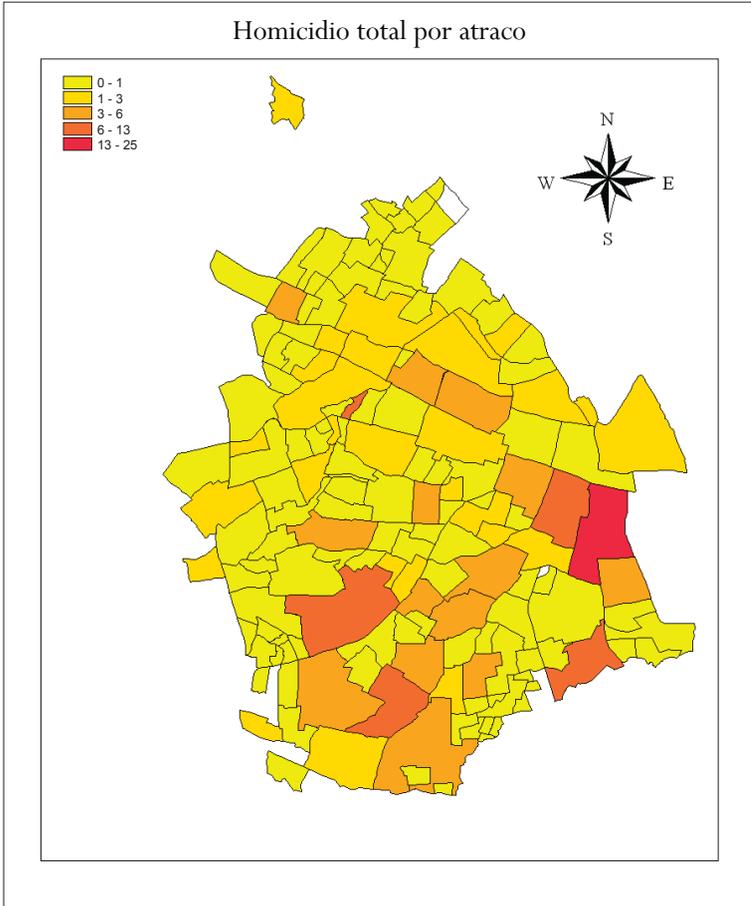
Mapa 9: LISA para la tasa de homicidio por riña y vecinos violentos

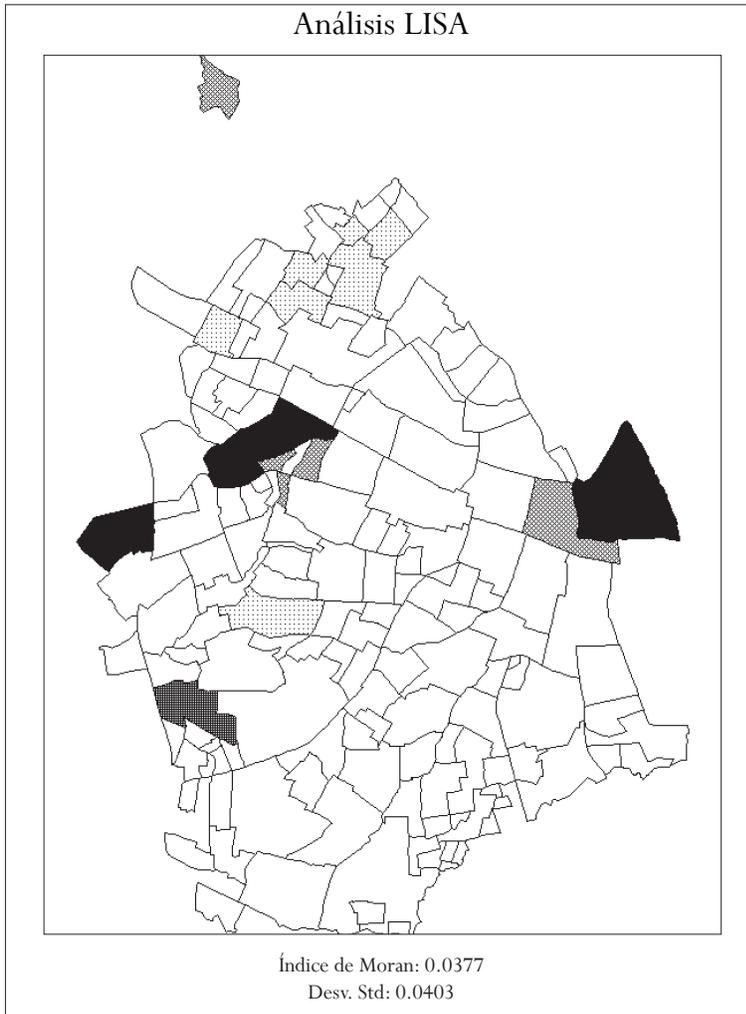




Fuente: Cálculos propios con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio.

Mapa 8: LISA para la tasa de homicidio por atraco y vecinos violentos





Fuente: Cálculos propios con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio.

7. ANÁLISIS DE SIMULACIÓN

Una de las utilidades del análisis econométrico realizado es que sirve para establecer prioridades en cuanto al aumento de la presencia policial en la ciudad, teniendo en cuenta la probabilidad que presenta cada barrio de ser o convertirse en un barrio violento (en los términos aquí definidos).

Para ilustrar esta idea, se aplica el modelo estimado a cualquier punto de la muestra, por ejemplo al barrio Barlovento, que tiene cero unidades policiales ($X_1 = 0, X_2 = 0$) y dos vecinos violentos ($X_3 = 2$), se obtiene:

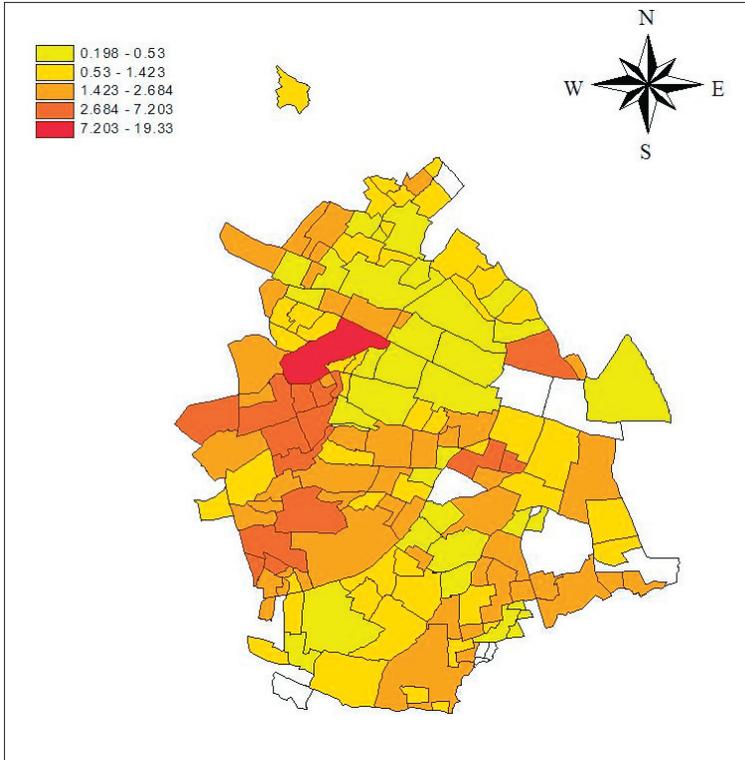
$$P(Y=1) \text{ Bar.} = \left(\frac{1}{1 + e^{(-1.301 \cdot 1 + 1.512 \cdot 0 - 0.473 \cdot 2)}} \right) = 0,3465$$

Teniendo en cuenta que la probabilidad oscila entre 0 y 1, y que 0 corresponde a la categoría no violento y 1 a la categoría violento, el modelo clasifica al barrio Barlovento como violento dadas las características particulares del sitio en cuanto a presencia policial y vecinos violentos.

La probabilidad de que este barrio no sea violento es $1 - 0.7285 = 0.2715$. La razón entre las probabilidades de ocurrencia o no es $0.7285/0.2715 = 2.6837$ que se interpreta de la siguiente forma: *La probabilidad de que el barrio Barlovento sea violento es casi 2.7 veces mayor que la probabilidad de que no lo sea.*

El nivel de riesgo relativo estimado de esta manera se representa en el mapa 9.

Mapa 9: Riesgo relativo por barrios*



* Los barrios en los que hay más de 3 CAI se excluyen del análisis por problema de endogeneidad y por la consecuente no-significancia estadística de los parámetros asociados.

Fuente: Cálculos propios con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio.

El modelo permite simular una situación en la cual aumente la presencia policial, por ejemplo, mediante la instalación de un CAI en el barrio Barlovento; en este nuevo caso, la probabilidad de que el barrio sea violento se reduce a 34.65% y la razón de riesgo pasa a 0.53, es decir, que con la presencia de un CAI en este barrio la probabilidad de que Barlovento sea violento es únicamente la mitad de la probabilidad de que no lo sea.

$$P(Y=1)_{Bar.} = \left(\frac{1}{1 + e^{(-1.301-1+1.512-0-0.473-2)}} \right) = 0,3465$$

$$1 - P = 0.6535, \text{ Razón de riesgo} = 0.3465 / 0.6535 = 0.5302$$

De la misma manera se pueden simular los efectos de una redistribución de la actual fuerza policial para que se reduzca al máximo el riesgo de que la ciudad en su conjunto supere sus propios promedios. Esto es posible ponderando la probabilidad individual de cada barrio por su tamaño, en términos de población; así se obtiene un promedio ponderado de la probabilidad de ser una ciudad violenta (superar sus promedios actuales).

Para realizar el análisis se siguen estos pasos:

- Se calcula la “masa” de probabilidad de superación del promedio de la ciudad.
- Se correlacionan los estimados por barrios con todas las combinaciones de valores para la variable independiente X_1 .
- Se resuelve el sistema, asumiendo que el número total de barrios con presencia de un CAI se mantiene constante (el total de CAI contados en la información del mapa 3 es igual a 35). Para este procedimiento se utiliza la herramienta *Solver* del *Excel*¹⁶.

¹⁶ En el Apéndice metodológico II se presenta en detalle el proceso analítico y de resolución del problema de optimización propuesto, así como la redistribución por barrios propuesta.

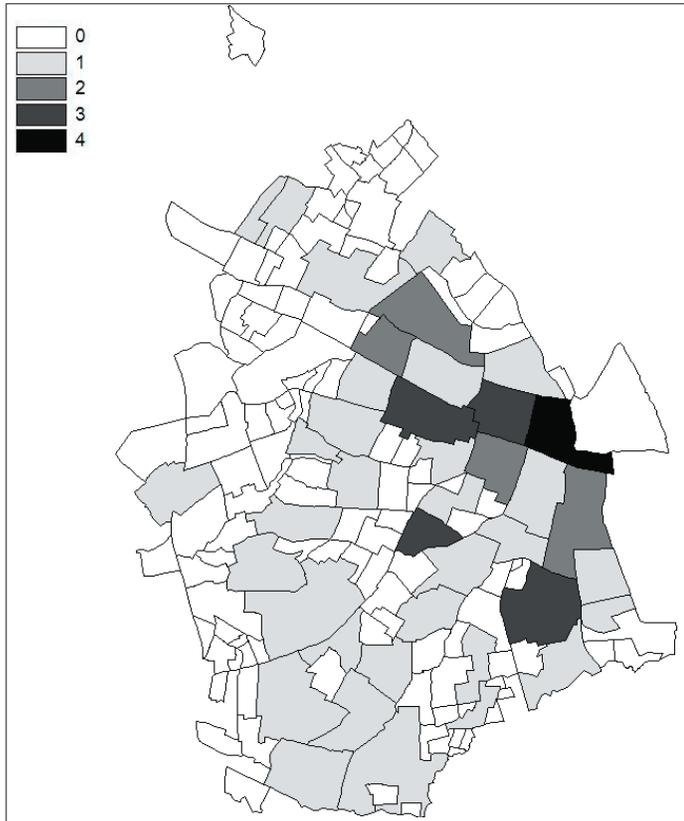
Puesto que los efectos de vecindad ya han sido incorporados en el análisis por medio de la variable de control vecinos violentos en la tabla 7, es claro que el ejercicio de optimización de localización de CAI por zonas ya incluye este efecto de equilibrio general; en ese orden de ideas, es razonable practicar dicha simulación. Los resultados se reportan en el mapa 10 de localización optimizada de CAI.

El resultado general de probabilidad ponderada en la ciudad descende en el escenario optimizado desde 0.5472 hasta 0.4589, lo que permite inferir que una redistribución espacial de la misma cantidad de fuerza policial en la ciudad¹⁷ disminuye en un 16% la probabilidad de que la tasa de homicidio crezca a partir de los 25.47 por cada 100.000 habitantes anual que caracteriza el período en estudio.

No sobra mencionar que el ejercicio de simulación se ha planteado en un contexto donde solamente se administra una de las variables (la presencia de 1 CAI), dejando todo lo demás constante. También vale la pena aclarar que puesto que el algoritmo de optimización de Excel puede tener fallas en el proceso de simulación, que encuentra un óptimo local y no un óptimo global, el ejercicio se practicó repetidas veces para comprobar la estabilidad de la respuesta alcanzada.

¹⁷ Medida por el número de CAI localizados de a uno por barrio.

Mapa 10: Localización optimizada de CAI
(presencia de la fuerza pública)



Fuente: Elaboración propia con base en información del Observatorio de Seguridad de la Cámara de Comercio.

8. CONCLUSIONES

Con los resultados se deduce un importante efecto de la presencia policial sobre la reducción de la tasa de homicidio en el caso de la tasa que combina todas las modalidades, aunque

en mayor medida en el caso de la tasa que corresponde con homicidios relacionados con el atraco.

Cuando un barrio tiene vecinos cuyas tasas de homicidio están por encima del promedio, aumenta su probabilidad de ser catalogado como barrio violento; dicha particularidad es evidente en mayor medida en el caso de la tasa general de homicidios que en los casos de las diferentes modalidades.

El hecho de que la vecindad con barrios que tengan tasas de homicidio por encima del promedio tenga un efecto sobre la propia tasa, se evidencia por medio un análisis LISA que permite construir *clusters* de barrios que se igualan o difieren de manera evidente por la tasa reportada.

Con ayuda de los resultados econométricos alcanzados se practicó un análisis de simulación de escenarios de localización de CAI. Este análisis permitió optimizar la distribución espacial para alcanzar una disminución del 16% en la probabilidad de que aumente la tasa de homicidio en la ciudad, manteniendo constante la cantidad de los CAI.

El modelo estimado sirve como herramienta auxiliar para la toma de decisiones acerca de la ubicación geográfica de las unidades policiales y debe ser complementado con análisis en los que las unidades geográficas se analicen de manera más precisa, mientras que la presencia de la fuerza pública debe ser correctamente especificada en términos de cobertura y/o capacidad operativa.

Los mencionados trabajos de investigación pueden proyectar escenarios de actuación, útiles en la perspectiva de la toma pública de decisiones sobre seguridad, y en orden a alcanzar un mayor nivel de eficiencia en la utilización de los recursos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acero, Hugo (2003). *Violencia y delincuencia en contextos urbanos*. Secretaría de Gobierno de Bogotá.
- Anselin, Luc (1995). Local Indicators of Spatial Association. En: *Geographical Analysis*, 27 (2). Ohio State University Press.
- Becker, Gary (1968). Crime and punishment: An economic approach. En: *Journal of Political Economy*, 76 (2).
- Borrero, Querubin (2003). *Crecimiento departamental y violencia criminal en Colombia*. Documentos CEDE, 12. Universidad de los Andes, Bogotá.
- Douglas, J., Burgess, A., Burgess, A. & Ressler, R. (1992). *Crime Classification Manual - A Standard System for Investigating and Classifying Violent Crimes*. Lexington Books, New York.
- Formisano, Michel (2002). *Econometría espacial: características de la violencia homicida en Bogotá*, Documento CEDE, 10. Universidad de los Andes, Bogotá.
- Levit, Steven & Stephen Dubner (2006). *Freakonomics*. Ediciones B, Grupo Z, Barcelona.
- Levitt, Steven (2004). Understanding why crime fell in the 1990s: Four factors that explain the decline and six that do not. En: *Journal of Economic Perspectives*, 18 (1).
- Moreno, Álvaro (2005). Impacto de Transmilenio en el crimen de la Avenida Caracas y sus vecindades. Documento CEDE, 55. Universidad de los Andes.
- Ospino, Porfirio (2000). El desarrollo urbano de Barranquilla y su dinámica regional 1777-1993. *Barranquilla: Lecturas Urbanas*, Cartagena: Observatorio del Caribe Colombiano - Universidad del Atlántico.
- Rangel, Alfredo (2004). *Naturaleza y dinámica de la guerra en Colombia*. En: Cárdenas, Martha y Manuel Rodríguez (Eds), *Guerra, sociedad y medio ambiente*. Foro Nacional Ambiental, Bogotá: Ecofondo -

GTZ - Fescol - Uniandes.

Restrepo, Elvira & Álvaro Moreno (2007). Bogotá: ¿Más crimen? ¿Más miedo? *Desarrollo y Sociedad*, 59, Universidad de los Andes.

Revelle, Charles (2001). Urban Public Facility Location. En: *Handbook of Regional and Urban economics II*. North-Holland.

Rusche, Karsten (2008). Quality of life in the regions: An exploratory spatial data analysis for West Germany Labor Markets. En: *Munich Personal RePec Archive* 13459, febrero 2009.

Sánchez, Fabio y María del Mar Palau (2006). Conflict, decentralisation and local governance in Colombia 1974 - 2004. Documento *CEDE*, 20. Universidad de los Andes, Bogotá.

Sánchez, Fabio; Silvia Espinosa & Angela Rivas (2003). ¿Garrote o zanahoria? Factores asociados a la disminución de la violencia homicida y el crimen en Bogotá 1993 - 2002. Documento *CEDE*, 27. Universidad de los Andes, Bogotá.

Anexo estadístico 1

Ejercicio con tasa general de homicidios

Resumen del procesamiento de los casos

Casos no ponderados ^a		N	Porcentaje
Casos seleccionados	Incluidos en el análisis	146	100,0
	Casos perdidos	0	,0
	Total	146	100,0
Casos no seleccionados		0	,0
Total		146	100,0

a. Si está activada la ponderación, consulte la tabla de clasificación para ver el número total de casos.

Codificaciones de variables categóricas

	Frecuencia	Codificación de parámetros	
		(1)	(2)
CAIS 0	106	1,000	,000
1	35	,000	1,000
2	5	,000	,000

Pruebas omnibus sobre los coeficientes del modelo

		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Paso 1	Paso	58,254	3	,000
	Bloque	58,254	3	,000
	Modelo	58,254	3	,000

Resumen de los modelos

Paso	-2 log de la verosimilitud	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	144,145	,329	,439

Tabla de clasificación^a

Observado			Pronosticado		
			RIÑA		Porcentaje correcto
			0	1	
Paso 1	RIÑA	0	111	4	96,5
		1	29	2	6,5
Porcentaje global					77,4

a. El valor de corte es ,500

Anexo estadístico 2

Ejercicio con tasa de homicidio por sicariato

Resumen del procesamiento de los casos

Casos no ponderados ^a		N	Porcentaje
Casos seleccionados	Incluidos en el análisis	146	100,0
	Casos perdidos	0	,0
	Total	146	100,0
Casos no seleccionados		0	,0
Total		146	100,0

a. Si está activada la ponderación, consulte la tabla de clasificación para ver el número total de casos.

Codificaciones de variables categóricas

	Frecuencia	Codificación de parámetros	
		(1)	(2)
CAIS 0	106	1,000	,000
1	35	,000	1,000
2	5	,000	,000

Pruebas omnibus sobre los coeficientes del modelo

		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Paso 1	Paso	41,582	3	,000
	Bloque	41,582	3	,000
	Modelo	41,582	3	,000

Resumen de los modelos

Paso	-2 log de la verosimilitud	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	160,817	,248	,330

Tabla de clasificación^a

Observado			Pronosticado		
			SICARIAT		Porcentaje correcto
			0	1	
Paso 1	SICARIAT	0	100	5	95,2
		1	37	4	9,8
Porcentaje global					71,2

a. El valor de corte es ,500

Anexo 3

Ejercicio con la tasa de homicidios por atraco

Resumen del procesamiento de los casos

Casos no ponderados ^a		N	Porcentaje
Casos seleccionados	Incluidos en el análisis	146	100,0
	Casos perdidos	0	,0
	Total	146	100,0
Casos no seleccionados		0	,0
Total		146	100,0

a. Si está activada la ponderación, consulte la tabla de clasificación para ver el número total de casos.

Codificaciones de variables categóricas

	Frecuencia	Codificación de parámetros	
		(1)	(2)
CAIS 0	106	1,000	,000
1	35	,000	1,000
2	5	,000	,000

Pruebas omnibus sobre los coeficientes del modelo

		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Paso 1	Paso	29,980	3	,000
	Bloque	29,980	3	,000
	Modelo	29,980	3	,000

Resumen de los modelos

Paso	-2 log de la verosimilitud	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	172,419	,186	,248

Tabla de clasificación^a

Observado			Pronosticado		
			ATRACO		Porcentaje correcto
			0	1	
Paso 1	ATRACO	0	102	2	98,1
		1	39	3	7,1
Porcentaje global					71,9

a. El valor de corte es ,500

Anexo 4

Ejercicio para la tasa de homicidios por atraco sin la variable espacial

Codificaciones de variables categóricas

	Frecuencia	Codificación de parámetros	
		(1)	(2)
CAIS 0	106	1,000	,000
1	35	,000	1,000
2	5	,000	,000

Pruebas omnibus sobre los coeficientes del modelo

		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Paso 1	Paso	29,721	2	,000
	Bloque	29,721	2	,000
	Modelo	29,721	2	,000

Resumen de los modelos

Paso	-2 log de la verosimilitud	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	172,678	,184	,246

Tabla de clasificación^a

Observado		Pronosticado		
		ATRACO		Porcentaje correcto
		0	1	
Paso 1	ATRACO	0	1	
		102	2	98,1
		39	3	7,1
	Porcentaje global			71,9

a. El valor de corte es ,500

Anexo 5

Ejercicio para la tasa de homicidio por riña

Resumen del procesamiento de los casos

Casos no ponderados ^a		N	Porcentaje
Casos seleccionados	Incluidos en el análisis	146	100,0
	Casos perdidos	0	,0
	Total	146	100,0
Casos no seleccionados		0	,0
Total		146	100,0

a. Si está activada la ponderación, consulte la tabla de clasificación para ver el número total de casos.

Codificaciones de variables categóricas

	Frecuencia	Codificación de parámetros	
		(1)	(2)
CAIS 0	106	1,000	,000
1	35	,000	1,000
2	5	,000	,000

Pruebas omnibus sobre los coeficientes del modelo

		Chi-cuadrado	gl	Sig.
Paso 1	Paso	58,254	3	,000
	Bloque	58,254	3	,000
	Modelo	58,254	3	,000

Resumen de los modelos

Paso	-2 log de la verosimilitud	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	144,145	,329	,439

Tabla de clasificación^a

Observado		Pronosticado		
		RIÑA		Porcentaje correcto
		0	1	
Paso 1	RIÑA 0	111	4	96,5
	1	29	2	6,5
Porcentaje global				77,4

a. El valor de corte es ,500

Apéndice metodológico I

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ESPACIAL DE MORAN Y

ANÁLISIS DE ASOCIACIÓN ESPACIAL LOCAL (LISA)

Para proceder a una comparación sistémica en términos espaciales y temporales se recurre a la herramienta de análisis propuesta por Moran, conocido como el test de contraste espacial. Esta prueba intenta evidenciar las dependencias espaciales y se calcula de la siguiente manera (Anselin, 1995):

$$I = \frac{N}{S_0} \frac{\sum_{ij} w_{ij} [x_i - \bar{x}] [x_j - \bar{x}]}{\sum_{i=1}^N [x_i - \bar{x}]^2}; i \neq j$$

Donde: N es el tamaño de la muestra; w_{ij} es una matriz que confronta todas las zonas en estudio asignando el número uno a las posiciones correspondientes a cada zona j con frontera a la zona i y cero al resto de casos; a esta se le denomina matriz de pesos espaciales; X es la variable que se estudia en términos espaciales que para el caso es la tasa de homicidio por barrio; $S_0 = \sum_i \sum_j w_{ij}$.

Puesto que el indicador como tal solamente representa un punto de referencia consigo mismo en otros períodos, es necesario calcular los estadísticos que permiten inferir su grado de significancia, la media y la desviación estándar.

$$\text{Media: } \mu(I) = -1/(N-1)$$

$$\text{Desviación estándar: } \delta(I) = \sqrt{\frac{N[(N^2 - 3N + 3)S_1 - NS_2 + 3S_0^2] - b_2[(N_2 - N)S_1 - 2NS_2 + 6S_0^2]}{(N-1)(N-2)(N-3)S_0^2}}$$

Donde: $b_2 = m_4 / m_2^2$; $m_4 = \frac{\sum z_i^4}{N}$; $m_2 = \frac{\sum z_i^2}{N}$; $S_1 = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j (w_{ij} + w_{ji})^2$; $S_2 = \sum_i \sum_j (w_i + w_j)^2$; $w_i = \sum_{j=1}^N w_{ij}$; es la variable X menos su media sobre su desviación estándar.

La propuesta de Anselin para evaluar de manera local (cada barrio contra sus vecinos) la asociación espacial, haciendo uso del hecho de que se ha encontrado asociación espacial global (cada barrio contra todos y cada uno de los demás barrios de la ciudad), es que se evalúe en términos de diferencias cuantitativas ponderadas por la matriz de pesos espaciales:

$$I_i = \frac{X_i - u}{m_0} \sum_j w_{ij} (X_j - u)$$

$$\text{Donde: } m_0 = \sum_i \frac{(X_i - u)^2}{n}$$

X_i es la observación de tasa de homicidio por cada barrio; u es la tasa promedio para la ciudad, w_{ij} es la matriz pesos espaciales; X_j es todos y cada uno de los demás barrios que tengan límite con el barrio i ; el denominador m_0 permite poner en términos porcentuales el grado de ocurrencia de similitudes o diferencias espaciales, además de agregar de esa manera un grado a la relación para datos altos o bajos. Cuando el indicador I_i es positivo, se tiene clustering de tasas similares; cuando el indicador es negativo, se tiene clustering de tasas disimiles. El nivel alto o bajo de la relación lo ha puesto su tamaño (convertido a términos positivos todo con el cuadrado) en m_0 . Como herramienta de estandarización se utiliza la desviación estándar del Índice de Moran, lo que permite establecer intervalos de confianza, que para efecto del presente documento siempre se siguen a más del 95%¹⁸.

Apéndice metodológico II

PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN Y RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Se tiene que la función logística asociada a la presencia de 1 CAI (X_1), dos CAI (X_2) y la cantidad de barrios vecinos con tasa por encima del promedio de la ciudad (vecinos violentos X_3) tiene la siguiente forma:

$$P(Y=1) = \left(\frac{1}{1 + e^{-(1.301 \cdot X_1 + 1.512 \cdot X_2 - 0.473 \cdot X_3)}} \right)$$

El número total de los CAI en barrios con presencia de uno es 35: $\sum_{i=1}^{147} X_i = 35$

Donde: i es cada barrio de la ciudad.

La suma de las probabilidades para cada barrio de encontrarse por encima del promedio de la ciudad multiplicado por la participación poblacional en la ciudad del respectivo barrio (P_i/P) es igual 0.5472 y es la cantidad objetivo de la minimización.

El programa queda planteado así:

$$\begin{aligned} \min : & \sum_{i=1}^{147} \left(\frac{1}{1 + e^{-(1.301 \cdot X_i + 1.512 \cdot X_2 - 0.473 \cdot X_3)}} \right) \left(\frac{P_i}{P} \right) \\ \text{s. r.} & \sum_{i=1}^{147} X_i = 35 \\ \text{s. r.} & i = 0,1 \end{aligned}$$

La tabla reproduce los barrios en los que se practicaría la hipotética reubicación optimizadora:

BARRIO	ENTRA	SALE	SIGUE
Abajo	entra		
Altos de Riomar	entra		
Altos del Limón	entra		
Altos del Prado			sigue
Boston			sigue
Boyacá		sale	
Buenos Aires	entra		
Carrizal	entra		
Cevillar		sale	
Chiquinquirá	entra		
Ciudadela de la Salud		sale	
Ciudadela 20 de Julio	entra		
El Bosque			sigue
El Limón		sale	
El Poblado		sale	
El Recreo	entra		
El Santuario	entra		
El Silencio			sigue
Evaristo Sourdis	entra		
José Antonio Galán			sigue
La Alboraya		sale	
La Campiña		sale	
LA Chinita			sigue
La Concepción	entra		
La Esmeralda	entra		
La Libertad		sale	
La Luz			sigue
La Paz		sale	
La Sierra		sale	
La Sierrita	entra		
La Victoria			sigue
Las Delicias			sigue
Las Palmas	entra		
Los Olivos	entra		
Los Trupillos		sale	
Lucero	entra		
Montecristo		sale	
Montes	entra		
Olaya			sigue
Paraíso		sale	
Pumarejo		sale	
Rebolo	entra		
San Felipe	entra		
San Isidro	entra		
San José	entra		
San Roque			sigue
San Vicente		sale	
Santa Ana		sale	
Santa María		sale	
Santo Domingo de Guzmán			sigue
Siete de Abril	entra		
Sinmón Bolívar	entra		
Universal		sale	
Villa Country		sale	
Villa del Este		sale	
Villanueva		sale	
Conteo	23	21	12