



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE POSGRADO EN ECONOMÍA

FACULTAD DE ECONOMÍA ♦ DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**La pobreza como determinante de la criminalidad en los departamentos
de Colombia, 2016-2021**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

Maestra en Economía

PRESENTA:

Daniela Esther Peña Oquendo

TUTOR:

Dr. Roldán Andrés Rosales

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM

MIEMBROS DEL JURADO:

Dr. Miguel Ángel Hilario Mendoza González

Facultad de Economía, UNAM

Dr. Roberto Ramírez Hernández

Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM

Dr. Carlos Bustamante Lemus

Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM

Mtro. Bernardo Hernández Cruz

Facultad de Economía, UNAM

Ciudad Universitaria, Cd. Mx.

Marzo, 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Quiero agradecerles a mis padres por su apoyo incondicional en esta experiencia tan importante y enriquecedora de mi vida. A mi prometido por ser tan especial y acompañarme en cada momento. A mis hermanas por su complicidad. A mi abuela por mantenerme en sus oraciones. A Carlos por impulsarme a presentar mi postulación al programa. A Andrea por su compañía y buenas charlas. A la UNAM por acogerme. A México y a su gente querida por hacerme sentir como en casa.

Le agradezco a mi tutor el Dr. Roldán Andrés Rosales por la disposición, la paciencia y el apoyo brindado a lo largo de este proyecto. A los miembros del jurado, les extiendo mis agradecimientos por sus amables recomendaciones.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por brindarme apoyo financiero durante mis estudios. Y por último, pero no menos importante, al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM IN303821 titulado “Análisis espacial prospectivo de la potencialidades productivas. Una visión desde la economía social para impulsar la producción agrícola y disminuir la pobreza en las principales zonas rurales de México, 1980-2035”.

Índice

Introducción	5
1. La criminalidad en Colombia: problemática	7
1.1. Planteamiento del problema	7
1.1.1. Problema de investigación	7
1.1.2. Justificación de la investigación	8
1.1.3. Preguntas de investigación	8
1.1.4. Hipótesis	9
1.1.5. Objetivos de la investigación	9
1.1.6. Metodología	10
2. Perspectivas teóricas sobre la criminalidad: una revisión de factores socioeconómicos.....	12
2.1. Crimen y criminalidad	12
2.2. Un recorrido por algunas de las principales teorías sobre criminalidad	13
2.3. Teorías que estudian la criminalidad	21
2.3.1. Teorías que vinculan la criminalidad y la economía (racionalidad económica)	21
2.3.2. Teorías que vinculan la criminalidad y la privación económica	25
2.3.3. Teorías que vinculan la criminalidad y el espacio	26
2.4. Estudios empíricos	32
2.4.1. Espaciales	32
2.4.2. No espaciales	36
3. Marco metodológico	39
3.1. La criminalidad en Latinoamérica	40
3.2. La criminalidad en Colombia	43

3.3.	Metodología.....	46
3.3.1.	Análisis exploratorio de datos espaciales	46
3.4.	Variables y fuentes de información	59
3.5.	Análisis exploratorio de datos espaciales	60
3.5.1.	Estadísticas básicas de indicadores.....	60
3.5.2.	Índice de correlación de Pearson de la variable endógena respecto a cada exógena.....	87
3.5.3.	Construcción y análisis de la matriz de vecinos	89
3.5.4.	Análisis con estadísticos de Moran.....	90
3.5.5.	Análisis de dependencia local (LISA)	96
4.	Resultados.....	102
4.1.	Análisis de efectos espaciales (directo, indirecto y total).....	113
5.	Conclusiones.....	120
	Referencias	122

Introducción

La criminalidad representa para la sociedad que la percibe uno de los problemas más graves, pues distorsiona su orden y estructura política, social y económica. Este fenómeno genera consecuencias directas para la calidad de vida, como la reducción en la esperanza de vida, una sensación generalizada de inseguridad y un cambio en el comportamiento debido a la disminución del tiempo en las calles. También existe el desperdicio social derivado del valor de bienes perdidos y destruidos, así como de los gastos públicos y privados en prevención, y los costos relacionados con el sistema de justicia penal y prisiones. Además, de manera menos evidente, el crimen tiene importantes consecuencias no monetarias para el bienestar, posiblemente reduciendo la productividad y acortando los horizontes de planificación en inversiones en capital físico y humano (Soares y Naritomi, 2010).

Varios son los factores que se han relacionado con este fenómeno: la pobreza, la desigualdad de ingresos, el desempleo, la migración, la educación, el entorno familiar, el contexto social, entre otros. A este respecto, muchas investigaciones han buscado arrojar evidencia empírica sobre la dirección de tal relación entre todas estas variables y la criminalidad, para diversos países. Dentro de esta gama de trabajos, resaltan los enfocados en la región latinoamericana, considerada una de las más peligrosas del mundo dadas sus altas tasas de criminalidad.

De acuerdo con Jaitman y Ajzenman (2016), la región de Latinoamérica y el Caribe alberga a menos del 9% de la población mundial, pero representa el 33% de los homicidios del mundo. Si bien este porcentaje es apenas superado por África (37%), la tasa de homicidios de Latinoamérica es casi el doble de la de África. Esta situación le genera costos económicos a la región cercanos al 3% de su PIB (Jaitman y Ajzenman, 2016). No obstante, este fenómeno parece estar concentrado en ciertos países. Uno de ellos es Colombia, el cual se ubica en el primer lugar dentro de los países suramericanos con mayor tasa de homicidios.

En Colombia, aunque la tasa de homicidios ha descendido con respecto a las de las décadas más violentas, se siguen manteniendo altos niveles en varios departamentos del país. Antioquia y Valle del Cauca, son claros ejemplos de la persistencia de la criminalidad a través de los años. Estos departamentos continúan siendo afectados por el fenómeno de los grupos armados irregulares y el narcotráfico. De acuerdo con el Ministerio de Defensa Nacional (2019), Antioquia, ha

experimentado incrementos en la tasa de homicidios debido a la presencia de Grupos Delictivos Organizados y de cultivos ilícitos. En contraste, otros departamentos como Boyacá y Cundinamarca mantienen bajas tasas cercanas a 9 homicidios por cada 100,000 habitantes. Esto resalta la necesidad de implementar políticas de seguridad ciudadana diferenciadas y diseñadas, teniendo en cuenta las características de cada departamento (MinDefensa, 2019).

En cuanto a delitos como los hurtos comunes y las extorsiones, es notable el incremento en los últimos años. La tasa de hurto común paso de 415 a 697 por cada 100,000 habitantes entre 2016 y 2021; es decir, se incrementó en un 68%, mientras que la tasa de extorsiones creció en un 56%. En este contexto, Bogotá, D.C. presenta la mayor variación en términos de hurto común. Estos pasaron de 45,993 casos a 127,689 casos, entre 2016 y 2021. Un panorama similar ocurre con la tasa de extorsiones, la cual pasó de 6 a 22 casos por cada 100,000 habitantes en esta misma ciudad. En contraste, otros departamentos como Córdoba, registran tasas de hurto común por debajo de 170 casos por cada 100,000 habitantes y tasas de extorsiones cercanas a los 5 casos por 100,000 habitantes en 2021. Esto refleja las divergencias entre departamentos en términos de criminalidad.

A partir de esta situación surgen los siguientes interrogantes que serán abordados en la presente investigación: ¿cuál es el patrón de la criminalidad en los departamentos de Colombia entre 2016 y 2021? ¿Qué factores socioeconómicos podrían estar correlacionados con los niveles de criminalidad en los departamentos del país? Estas preguntas emergen a la luz de las dificultades que se viven en términos sociales y económicos: en 2021, el país se ubicó en el cuarto lugar dentro de las naciones con mayor pobreza extrema de América Latina, superada apenas por Honduras, Nicaragua y Guatemala. Asimismo, su PIB per cápita se encuentra por debajo del promedio latinoamericano (CEPAL, 2023).

El documento se divide en cinco secciones. En la primera se expone la problemática de la criminalidad en el país y los objetivos que guiarán la presente investigación; en la segunda, se muestra el marco teórico sobre el cual se sostienen las hipótesis planteadas en el presente documento; en la tercera, se desarrolla el marco metodológico que se utilizará para dar respuesta a los interrogantes expuestos en el párrafo anterior; en la quinta se muestran los resultados de las estimaciones de los modelos econométricos propuestos desde la econometría espacial; y por último, se presentan las principales conclusiones derivadas del análisis.

1. La criminalidad en Colombia: problemática

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Problema de investigación

La criminalidad ha sido el común denominador entre los departamentos de Colombia a lo largo de los años. Aunque este fenómeno ha cambiado de forma, sigue afectando a comunidades enteras y generando consecuencias negativas para el crecimiento del país. Esta situación plantea interrogantes acerca de los factores subyacentes que contribuyen a que este fenómeno permanezca hoy en día en muchas regiones.

La falta de acceso a oportunidades económicas, junto con la desigualdad social, la presencia de grupos armados ilegales y la corrupción, se ha señalado como posibles causas que explican la persistencia de la criminalidad a lo largo del tiempo en Colombia. No obstante, la complejidad inherente a este fenómeno ha complicado la identificación de sus causas fundamentales, dificultando así la erradicación completa de este problema. Es importante subrayar que el impacto de la criminalidad en Colombia no solo se evidencia en las cifras de víctimas y desplazados, sino también en la desconfianza generalizada hacia las instituciones, la erosión del tejido social y la limitación del desarrollo en diversas regiones del país.

Paralelamente, se erige otra problemática de gran trascendencia: la pobreza. La coexistencia de la criminalidad y la pobreza da origen a un círculo vicioso, donde ambas problemáticas parecen retroalimentarse mutuamente, dificultando la superación de los desafíos que enfrenta el país. Las comunidades más afectadas por la violencia suelen ser las mismas que experimentan altos niveles de pobreza, generando un ciclo de privación y marginación difícil de romper.

Aunque la relación entre criminalidad y pobreza no es explícita, se ha argumentado que la pobreza puede explicar la criminalidad, no siendo una causa suficiente para explicarla. La criminalidad, por un lado, genera costos económicos directos en una sociedad al provocar la pérdida de capital físico, humano y recursos naturales, generando incertidumbre que desestimula la actividad productiva (Trujillo y Badel, 1997). Por otro lado, la pobreza, al restringir la movilidad social y limitar el acceso a oportunidades educativas y laborales, contribuye a la proliferación de

actividades delictivas. Esta compleja interacción entre criminalidad y pobreza subraya la necesidad de un análisis más profundo sobre sus dinámicas en la sociedad colombiana.

1.1.2. Justificación de la investigación

En Colombia, la mayor parte de los estudios sobre criminalidad han abordado un análisis exhaustivo de los factores que influyen en este fenómeno desde una dimensión temporal. Aunque estas investigaciones han arrojado luz sobre la dinámica criminal a lo largo del tiempo, se destaca una notable carencia en la literatura al no considerar la dimensión espacial. Esta omisión limita la comprensión completa de la complejidad de la criminalidad, ya que factores como la distribución de recursos, la presencia de grupos delictivos, la infraestructura local y las características socioeconómicas específicas de diversas áreas geográficas pueden ser determinantes cruciales que afectan la prevalencia y naturaleza de la criminalidad en el país.

Esta investigación se justifica por la necesidad de abordar la brecha existente en la literatura reciente al respecto, con el objetivo de proporcionar una visión más completa y holística de la dinámica criminal en Colombia, integrando factores socioeconómicos relevantes como la pobreza a través de un análisis espacial. La imperiosa necesidad de abordar esta laguna en la literatura no solo se sustenta en la falta de una comprensión integral, sino también en la importancia de identificar posibles disparidades y desigualdades que requieren atención específica. De este modo, se pretende ofrecer una base más sólida para el diseño de estrategias efectivas de prevención y control del crimen.

1.1.3. Preguntas de investigación

1.1.3.1 Pregunta descriptiva

¿Cuál es el patrón de la criminalidad en los departamentos de Colombia durante el periodo 2016-2021?

1.1.3.2 Pregunta explicativa

¿Cuál es la influencia de variables socioeconómicas, como la pobreza, en la criminalidad en los departamentos de Colombia durante el periodo 2016-2021?

1.1.4. Hipótesis

- Hipótesis sobre la pregunta descriptiva: La distribución de la actividad criminal en los departamentos de Colombia no es uniforme durante el periodo 2016-2021. Ciertos departamentos exhiben niveles de criminalidad más altos que otros, y se postula la existencia de un posible patrón de expansión de la criminalidad desde áreas con mayores índices criminales hacia los departamentos adyacentes, generando así una propagación de este fenómeno desde los núcleos centrales hacia la periferia.
- Hipótesis sobre la pregunta explicativa: Existe una asociación significativa entre las variables socioeconómicas, como la pobreza, y los niveles de criminalidad en los departamentos de Colombia durante el periodo 2016-2021. Se sugiere que los departamentos con niveles más elevados de pobreza probablemente experimenten un aumento en los índices criminales. Esto se fundamenta en la premisa de que la pobreza y la falta de oportunidades económicas podrían incentivar la participación en actividades ilegales para subsistir. Por lo que, resultaría necesario implementar políticas públicas que aborden simultáneamente la pobreza y la criminalidad. Esto podría incluir programas de desarrollo económico local, acceso equitativo a la educación y servicios básicos, fortalecimiento de la seguridad comunitaria y reformas en el sistema de justicia penal.

1.1.5. Objetivos de la investigación

1.1.5.1 Objetivo general

Comprender el patrón de la criminalidad en los departamentos de Colombia durante el periodo 2016-2021, así como investigar la influencia de variables socioeconómicas, como la pobreza, en los niveles de criminalidad en dichos departamentos.

1.1.5.2 Objetivos específicos

- Analizar la distribución espacial de la criminalidad y determinar si existe un patrón de expansión desde áreas con mayores índices criminales hacia departamentos adyacentes.
- Examinar la asociación entre las variables socioeconómicas, como la pobreza, y los niveles de criminalidad en los departamentos de Colombia durante el periodo de estudio.

- Identificar factores adicionales que puedan estar asociados con la criminalidad en los departamentos.
- Proponer recomendaciones basadas en los hallazgos para abordar la relación multifacética entre las variables socioeconómicas y la criminalidad en Colombia.

1.1.6. Metodología

En el marco de la presente investigación, se han implementado las técnicas de econometría espacial para abordar las interrogantes planteadas anteriormente. Esta metodología se ha incorporado debido a su capacidad para reconocer y considerar los efectos espaciales que podrían influir en los patrones de criminalidad en los departamentos de Colombia durante el periodo 2016-2021.

En este contexto, para abordar la pregunta descriptiva, se ha llevado a cabo un análisis descriptivo espacial que no solo tiene como objetivo caracterizar los niveles de criminalidad en cada departamento, sino también identificar posibles patrones de expansión o concentración que podrían escapar completamente a la captura por parte de enfoques analíticos convencionales. Se empleó el Índice de Moran para contrastar la presencia o ausencia de autocorrelación espacial, y se recurrió al análisis LISA para investigar la existencia de clústeres significativos de criminalidad en los departamentos de Colombia.

En relación con la segunda pregunta, se emplearon modelos econométricos espaciales para analizar la relación entre diversos factores y la incidencia de la criminalidad en los departamentos mencionados. La criminalidad se introdujo como variable endógena, y se midió a través de un índice que abarca nueve tipos de delitos de alto impacto en el país, y a través de la tasa de homicidios. Estos modelos no solo consideraron las variables tradicionales asociadas a la criminalidad, como el nivel socioeconómico y la densidad poblacional, sino que también incorporaron la influencia espacial, permitiendo así capturar la interdependencia entre regiones.

En la ejecución de este análisis, se procedió a la estimación de modelos panel tanto clásicos como espaciales, tales como el modelo pool, el modelo de rezago espacial (SAR), el modelo de error espacial (SEM), el modelo Durbin espacial (SDM) y el modelo de rezago y error espacial (SARAR). En este proceso se consideraron tanto efectos fijos como aleatorios para abordar la heterogeneidad transversal. Además, se llevó a cabo el cálculo de los efectos espaciales directos, indirectos y totales para los modelos SAR, SARAR y SDM. Como parte integral de la

metodología, se aplicaron diversas pruebas de Hausman y una prueba de pooling, que junto con los resultados de los efectos espaciales, fueron fundamentales para la elección del mejor modelo.

2. Perspectivas teóricas sobre la criminalidad: una revisión de factores socioeconómicos

Desde diversas disciplinas como la antropología, la sociología, la criminología, la psicología, la economía, entre otras, se ha buscado explicar el crimen y el comportamiento criminal. Muchas han sido las preguntas relacionadas con el crimen que los expertos en estos campos han tratado de responder: ¿por qué las personas cometen crímenes? ¿Qué factores motivan los comportamientos criminales? ¿Cómo influyen los aspectos sociales y ambientales como la pobreza, la desigualdad, el entorno familiar y la educación en la criminalidad? ¿Cuál es el papel de los factores individuales como la personalidad, la genética y la psicología en el comportamiento criminal? entre otras.

Las teorías que abordan estas cuestiones hacen parte de diferentes contextos y momentos de la historia. Sin embargo, todas comparten la intención de explicar y contribuir a la reducción del fenómeno criminal. Una revisión de las teorías que vinculan la criminalidad con las condiciones económicas y sociales, será el objetivo de este capítulo. Para ello, una adecuada clasificación de las teorías a la hora de entender el fenómeno criminal resultará de gran importancia. En el presente capítulo, esta clasificación se realiza a partir de los fundamentos, del nivel de análisis y de los factores que utilizan las teorías para explicar el fenómeno. Un elemento crucial en esta clasificación radica en la inclusión de la dimensión espacial por parte de algunas teorías al momento de comprender el problema de la criminalidad.

El capítulo está dividido en cuatro secciones. En la primera se muestran los principales conceptos que aborda la tesis; en la segunda, se explora la evolución de la teorías sobre la criminalidad que son relevantes para la presente investigación; en la tercera, se analizan detalladamente los enfoques teóricos sobre la criminalidad desde una perspectiva económica y social, dividiéndolos en tres tendencias; y, en la cuarta, se elabora una breve reseña de las investigaciones empíricas que han estudiado la relación entre criminalidad y factores socioeconómicos desde un enfoque tradicional y desde un enfoque espacial.

2.1. Crimen y criminalidad

El crimen, según la Real Academia Española (RAE, 2023), es definido como un delito de naturaleza grave.

A pesar de que este término ha sido comúnmente utilizado de manera indistinta al de delito, es crucial reconocer sus distinciones (Martínez, 2022). La diferenciación habitualmente se establece considerando criterios tanto cuantitativos como cualitativos, los cuales están vinculados con la gravedad de la pena. Sin embargo, es importante destacar que estos criterios no son siempre suficientes para establecer una diferenciación clara, ya que lo que puede considerarse como delito o crimen puede variar significativamente de un país a otro, e incluso entre diferentes ciudades o estados dentro de un mismo país (Martínez, 2022).

En el contexto colombiano, el Código Penal (Ley 599 de 2000) clasifica las conductas punibles únicamente en delitos y contravenciones (Martínez, 2022). Esta clasificación bipartita, originada en el Código austriaco de 1803, define el delito como una conducta típica, antijurídica y culpable, en tanto que, la contravención se considera una infracción de menor gravedad a la norma (Martínez, 2022). Aunque el Código Penal colombiano no adopte oficialmente la distinción entre delito y crimen, y este criterio sea en esencia arbitrario, para los propósitos prácticos de la presente investigación, se utilizará el término "crimen" en referencia a aquellos delitos que, de acuerdo con las penas establecidas en años por el Código Penal, representen un impacto considerable para la sociedad.

Por su parte, el término criminalidad también ha sido usado de manera indistinta (erróneamente) al de delincuencia, no obstante existen notables diferencias entre ellos (Martínez, 2022). En lo que respecta a la criminalidad, esta se ha definido desde diversas perspectivas. Sin embargo, en el presente documento se adopta la definición propuesta por Rico (1998), quien la define como “aquel fenómeno de masas constituido por el conjunto de las infracciones que se cometen en un tiempo y lugar dados” (p. 32). Existen otras interpretaciones, como la de Cid y Larrauri (2001), quienes la conciben como la motivación a delinquir presente en ciertas personas. Pero, esta visión tiende a enfocarse en aspectos individuales y motivacionales, mientras que la perspectiva adoptada busca abordar la criminalidad como un fenómeno más amplio y colectivo.

2.2. Un recorrido por algunas de las principales teorías sobre criminalidad

En la última mitad del siglo XVIII surge en Inglaterra e Italia una escuela que posteriormente recibió el nombre de escuela clásica de la criminología. Esta escuela nace como un intento de reformar el sistema penal tradicional de la época y de proteger al acusado de acciones duras y

arbitrarias por parte del Estado (Jeffery, 1959). Sus principales representantes, Cesare Beccaria ([1764] 2015) y Jeremy Bentham ([1789] 1962), grandes pensadores de la *Ilustración jurídica*, consolidaron la idea de que las penas tienen un efecto disuasorio y que han de ser proporcionales a los delitos¹. Estos autores, partidarios del utilitarismo, contrario al sistema penal tradicional de su época no relacionaban el delito con el pecado (Simon, 2009), sino con el daño social (Cid y Larrauri, 2001).

Beccaria, en su obra magna, *Tratado de los delitos y de las penas* publicada en 1764, plantea que la razón de imponer penas corresponde a la necesidad de defender el depósito del bien público de las usurpaciones de los particulares. Estas acciones opuestas al bien público es lo que él denomina delito y señala que para impedirlos, se deben decretar penas útiles, prácticas y justas a los individuos que los cometen, acorde al grado del daño que le hacen a la sociedad. Bentham, por su parte, afirmaba que el valor de la pena no debe ser inferior en ningún caso a lo que sea suficiente para superar el beneficio del delito. En su análisis, parte de la distinción entre el placer y el dolor, con miras a valorar las acciones de los individuos a través del principio de utilidad y hace énfasis en que el motivo para castigar a un delincuente, por la comisión de un delito que le trae beneficios, se encuentra en los dolores que le genera su acto a la comunidad.

Otros autores como Verri ([1777] 2006), Voltaire (1778) y Filangieri ([1780-91] 2018), también hicieron parte de la corriente de la *Ilustración jurídica* (Paganelli y Simon, 2022). Sus trabajos, fundados sobre la idea de la razón, fueron esenciales para las transformaciones de los sistemas jurídicos existentes en su época. Al igual que Beccaria y Bentham, además de proponer una concepción diferente del delito y la pena, y del criterio para juzgar a los delincuentes, forjaron un

¹ Esta idea sobre la proporcionalidad entre los delitos y las penas, ya había sido expuesta por Montesquieu en 1748 en su libro *El espíritu de las leyes*. Este filósofo y jurista francés destacaba la importancia de establecer penas conforme a la naturaleza particular de cada delito, ya que es grave que se imponga la misma pena al que roba en los caminos públicos que al que roba y asesina (Montesquieu, 1906). Lo que realiza Beccaria, y luego Bentham, es profundizar en esta interpretación naturalista que le da Montesquieu a la proporcionalidad y la amplían en una doble dirección matemática y utilitaria (Hernández Marcos, 2009).

cambio en la forma cómo era visto el hombre. Este pasó de ser una criatura a la que se le debía infligir temor para su corrección, a ser un ente racional (Simon, 2009).

Para los autores, en discrepancia con Adam Smith ([1759] 2004), un individuo elige racionalmente cometer un delito cuando el valor esperado del mismo es mayor al coste esperado de sus consecuencias legales. De ahí que, la reforma al sistema penal implicara modificar los costes y los beneficios esperados para disuadir ese tipo de comportamientos (Paganelli y Simon, 2022).

Estos planteamientos de la escuela clásica influenciaron algunas teorías criminológicas posteriores como la teoría de la elección racional y la teoría de las actividades rutinarias (Cid y Larrauri, 2001). La primera perspectiva teórica se basa en el principio de utilidad esperada de la teoría económica. Principio que establece que las personas tomarán decisiones racionales basadas en la maximización de sus ganancias o beneficios y en la minimización de sus costes o pérdidas (Akers, 1999). Akers (1999) señala que la teoría de la elección racional se introdujo en la criminología, principalmente a través de los análisis de la delincuencia por parte de economistas como Gary Becker. De acuerdo con Cid y Larrauri (2001), fue principalmente su artículo de 1968 que influyó en el desarrollo de la teoría de la elección racional de Clarke y Cornish (1985).

Becker (1968), inspirado en los trabajos de Beccaria y Bentham busca explicar el comportamiento de los delincuentes, asumiendo que estos son racionales. En su famoso artículo *Crime and Punishment: An Economic Approach*, catalogado como uno de los aportes más prominentes en la rama del análisis económico del derecho penal, trata al crimen como un problema de asignación óptima de recursos. En este documento busca minimizar la pérdida social por delitos conformada por la suma de daños netos sufridos por las víctimas, los costos de aprehensión, condena, y los costos de llevar a cabo las penas impuestas² (Becker, 1968).

La segunda corriente teórica surgida a partir de las premisas de la escuela clásica de la criminología es la teoría de las actividades rutinarias de Cohen y Felson (1979), que “implícitamente asume un delincuente racional que actúa en función de los costes y beneficios” (Cid y Larrauri, 2001, p. 47).

² Skogh (1973) señala que una de las fallas del modelo de Becker es la no inclusión de los costes en medidas preventivas en que incurren las potenciales víctimas dentro de la optimización de los costos sociales.

Cohen y Felson (1979) plantean que la delincuencia puede ser explicada a partir de los cambios estructurales en los patrones de las actividades rutinarias. De acuerdo con estos autores, las actividades rutinarias que realizan las personas, cada vez más orientadas hacia afuera de sus hogares, permiten que converjan en el tiempo y en el espacio los factores que consideran mínimos para que ocurra un delito: delincuentes motivados, objetivos adecuados y ausencia de guardias capaces de prevenirlo (Cohen y Felson, 1979). Este enfoque es ampliado por Paul y Patricia Brantingham en su libro *Patterns in Crime* de 1984 y su artículo *Environment, Routine, and Situation: Toward a Pattern Theory of Crime* de 1993, en donde intentan explicar con su teoría de los patrones delictivos la falta de uniformidad y de aleatoriedad que caracteriza el suceso delictivo en el entorno urbano (Wortley y Townsley, 2017). Un elemento central de este enfoque es el principio de que los movimientos diarios de delincuentes y no delincuentes están dominados por la necesidad de viajar hacia y desde el trabajo, la escuela y ciertos lugares comunitarios o recreativos. Argumentan que el delito ocurre en lugares predecibles definidos por la intersección de los espacios que frecuentan los individuos y las oportunidades de delito (Wortley y Townsley, 2017).

Estas últimas dos teorías encontraron su auge en el ocaso del positivismo luego del aumento de los índices de criminalidad y del escaso efecto de sus programas de rehabilitación del delincuente. Cabe resaltar que el positivismo nace como una crítica a la escuela clásica de la criminología en el siglo XIX, en un intento de aplicar métodos científicos al estudio del criminal (Jeffery, 1959). Sus grandes representantes, Cesare Lombroso, Raffaele Garofalo y Enrico Ferri, argumentan que antes de poder entender el delito, primero se debe entender al delincuente (Cullen y Wilcox, 2010a), y para lograr esto, la clave se encuentra en el determinismo biológico (Gibson, 2002). Por un lado, Lombroso sugería que los delincuentes se distinguen de los no delincuentes por la manifestación de múltiples anomalías físicas de origen atávico o degenerativo (Wolfgang, 1961), anomalías que eran un signo de peligro social, de ahí que abogara por que el castigo sea proporcional a la peligrosidad del delincuente, y no al delito cometido como tal (Cullen y Wilcox, 2010b).

Para Ferri (1968), el delito no es resultado del libre albedrío y del pensamiento racional del individuo como señalaba la escuela clásica, sino de las condiciones internas y externas que

experimenta el delincuente, por lo que la única forma de disminuir el comportamiento delictivo es determinar las condiciones que causan tal conducta y tratar de mejorarlas o eliminarlas (Cullen y Wilcox, 2010a). Garofalo (1890), por su parte, se preocupó por fijar una definición de delito, pues observó que los naturalistas hablaban del delincuente pero omitieron exponer qué entendían por la palabra “delito”. Propuso entonces el concepto de “delito natural”, como aquel acto que ofende los sentimientos morales básicos de piedad y probidad de la comunidad, de modo que para él, el verdadero criminal, contra el cual la sociedad debe defenderse, es del que carece de una o de estas dos capacidades morales esenciales (Allen, 1955).

Taylor *et al.*, (1973) mencionan que los primeros intentos por superar científicamente el problema del delito fueron sociales y no biológicos. En efecto, después de la escuela clásica, y coincidiendo con el surgimiento del positivismo, florecieron dos escuelas con un enfoque social del crimen: la escuela cartográfica y la escuela socialista de la criminología (Sutherland y Cressey, 1978). La primera, liderada por Adolphe Quetelet y André-Michel Guerry, se concentró en examinar la relación entre la delincuencia y las condiciones sociales (Courtright y Mutchnick, 2002). A través de mapas ecológicos, estos autores, analizaron la distribución de los delitos en ciertas áreas y descubrieron que tal distribución no era uniforme: los delitos se encontraban agrupados geográficamente junto a otros factores sociales observables, como la pobreza y los niveles de educación (Vold *et al.*, 1998; Courtright y Mutchnick, 2002; Friendly, 2007).

Por un lado, Guerry (1833) puso a prueba la creencia de que el crimen estaba asociado con la pobreza. Descubrió que las regiones más ricas de Francia tenían tasas más altas de delitos contra la propiedad, posiblemente porque había más y mejores cosas por robar (Vold *et al.*, 1998; Courtright y Mutchnick, 2002). Una de las conclusiones a las que llega Guerry, es que la pobreza en sí misma no causa los delitos contra la propiedad, para él, el factor principal es la oportunidad (Vold *et al.*, 1998). Quetelet (1844), por su parte encontró que algunas personas eran más propensas a cometer delitos, en especial, si eran jóvenes, hombres, pobres, desempleados y subeducados (Vold *et al.*, 1998). De acuerdo con su análisis, los lugares con más hombres jóvenes tendían a tener más delitos, mientras que aquellos lugares que contaban con más pobreza y desempleo tendían a tener menor delincuencia, ya que los pobres y los desempleados se inclinaban a delinquir en lugares donde había mucha gente rica y empleada (Vold *et al.*, 1998). Vold *et al.*,

(1998) subrayan que, para Quetelet, al igual que Guerry, las oportunidades podrían tener algo que ver con la explicación de ese patrón criminal. Según Courtright y Mutchnick (2002), estos planteamientos se encuentran inmersos en los trabajos de los teóricos de la escuela ecológica de Chicago y en el enfoque teórico propuesto por Cohen y Felson (1979).

La segunda escuela, la socialista de la criminología, estuvo basada en los escritos de Karl Marx y Friedrich Engels y se enfatizó en el determinismo económico (Sutherland y Cressey, 1978). Aunque ni Marx ni Engels, desarrollaron una teoría sistemática del crimen, sí proporcionaron un paradigma que sirvió de base para el desarrollo de teorías específicas en la criminología (Matthews y Chambliss, 2014). Este paradigma marxista no buscaba explicar por qué los individuos cometen delitos, sino buscaba explicar por qué los diferentes tipos de crímenes se sitúan en ciertas partes de la estructura social, y por qué los diferentes sistemas económicos producen diferentes tipos y tasas de delitos (Matthews y Chambliss, 2014).

La idea básica de Marx era que la desigualdad y la pobreza resultan de la propiedad privada de los medios de producción, un sistema que explota a las clases trabajadoras (Sutherland y Cressey, 1978). Este planteamiento significó para los criminólogos, la asociación de la desigualdad y la pobreza con el crimen, lo que los llevó a probar la hipótesis de que las tasas de delincuencia se ven afectadas por las condiciones económicas, como las fluctuaciones en el ciclo económico (Sutherland y Cressey, 1978).

Algunos trabajos que buscaron relacionar la tasa de actividades ilegales con las condiciones económicas, son los de William Bonger y Emile Durkheim, los cuales, según Mansfield *et al.*, (1974), no tuvieron un éxito completo. Bonger (1916) se basó en la preocupación de Marx y particularmente de Engels por el empobrecimiento que el capitalismo trae a la sociedad (Lanier y Stuart, 2010). Este autor señala que el capitalismo no solo trajo consigo la miseria del empobrecimiento sino que también promovió el egoísmo, lo que favorece el pensamiento criminal (Lanier y Stuart, 2010). Así, para Bonger el delito proviene de dos factores: de la necesidad económica de los sectores pobres de la sociedad y, de los sentimientos como la ambición, que se generan en sociedades capitalistas (Cid y Larrauri, 2001).

Emile Durkheim ([1893] 1984), por otro lado, intentó explicar cómo la sociedad podía pasar de la estabilidad de su orden preindustrial al caos potencial que podía producir el sistema capitalista

(Lanier y Stuart, 2010). Según Durkheim, en tiempos de cambios rápidos, la regulación moral del comportamiento se ve quebrantada por divisiones estructurales y por un culto al individuo que promueve aspiraciones ilimitadas, las cuales pueden involucrar conductas delictivas (Lanier y Stuart, 2010). Cuando la conciencia colectiva no es capaz de regular los apetitos del hombre o el culto del individuo es fomentado más de lo necesario, menciona Durkheim, surge la anomia y el egoísmo, respectivamente, fenómenos que pueden resultar en desviaciones de la conducta (Taylor *et al.*, 1973). Esta situación anómico-egoísta, según Durkheim, desaparecería (se reducirían los delitos) si se consolidara la división espontánea del trabajo, se abolieran las herencias y se formaran asociaciones profesionales (Taylor *et al.*, 1973). De acuerdo con Taylor *et al.* (1973) los investigadores de la escuela ecológica de Chicago, al igual que Robert Merton, resultaron influenciados por las ideas de este autor.

En efecto, Vold *et al.* (1998) afirman que, el argumento de Durkheim, sobre que el rápido cambio social estaba asociado con aumentos en el crimen por la ruptura de los controles sociales, fue uno de los tantos que utilizaron los sociólogos de la escuela ecológica de Chicago. La diferencia radicó en que estos últimos no se enfocaron en los cambios rápidos en sociedades enteras sino en los cambios rápidos en vecindarios (Vold *et al.*, 1998). En particular, sus representantes más conocidos, Robert Park y Ernest Burgess se interesaron por investigar las consecuencias sociales que sufrió Chicago a raíz de su rápido crecimiento urbano, luego del proceso de industrialización que tuvo lugar (Cid y Larrauri, 2001).

Chicago, después de resultar afectada por el Gran Incendio de 1871, evidenció un importante auge económico que estuvo acompañado de un crecimiento demográfico por la llegada masiva de inmigrantes. Este proceso representó una alteración en la organización social de la ciudad, la cual fue objeto de estudio de los sociólogos de la escuela de Chicago, entre ellos destacan Clifford Shaw, Henry McKay, Ernest Burgess y Robert Park.

En primer lugar, Park (1925) en *The city: Suggestions for Investigation of Human Behavior in the Urban Environment* empieza refiriéndose a la ciudad como un producto de la naturaleza humana que posee vida propia. Menciona que la ciudad, además de ser una unidad geográfica y geológica, es una unidad económica que debe su existencia al mercado, y que en ella, las costumbres, tradiciones e intereses definen la organización y distribución de la población. En esta organización,

la vecindad constituye la base de las formas más elementales de asociación, la cual resulta modificada por fenómenos como la migración y la accesibilidad a los medios de transporte y de comunicación (Park, 1925).

En todo este engranaje, juegan un papel muy importante las instituciones como la familia, la iglesia y la escuela, ya que ejercen un control social sobre los habitantes. Estas instituciones, afirma Park (1925), también han resultado transformadas por la influencia disgregadora de la vida urbana. Dado que sobre ellas reposa la organización social, su debilitamiento, aunada a otros factores, son en gran medida los responsables del aumento de la criminalidad y el vicio en las grandes ciudades (Park, 1925).

Burgess (1925), al igual que Park, centra su atención en el crecimiento de las grandes ciudades y en las variaciones en la composición de la población. Se interesa en analizar los procesos de expansión, de metabolismo y de movilidad urbanos ocasionados por el crecimiento urbano excesivo. A través de su modelo de círculos concéntricos, ilustra el proceso de expansión radial de la ciudad, donde una población busca tomar el relevo de la otra. Con este modelo se muestra de manera simple cómo las estructuras sociales urbanas se desarrollan alrededor del centro de la ciudad. El modelo consistía en dividir esta última en una serie de anillos concéntricos o zonas: en el centro, Zona I, se ubica el distrito comercial e industrial; alrededor estaba la Zona II, donde los ciudadanos más pobres vivían en casas viejas y en ruinas (zona de transición); seguida a esta se encuentra la Zona III, donde los trabajadores vivían en casas modestas; en la Zona IV hubo un escalón más en la escala social; y finalmente en la Zona V residía la clase relativamente acomodada (Wortley y Townsley, 2017).

A partir de la expansión de la ciudad, Burgess determina cómo ésta distorsiona el metabolismo urbano cuando hay más desorganización que organización y, cómo la movilidad urbana, relacionada con el mismo proceso de expansión, tiende a confundir y a desmoralizar a las personas. Cabe resaltar que las áreas con mayor movilidad estaban relacionadas con el vicio, la delincuencia, los divorcios, abandonos y otros males, las cuales, en el análisis de Burgess correspondían a las zonas de transición.

El modelo de círculos concéntricos de Burgess fue retomado por Shaw y McKay (1932), quienes demostraron que las altas tasas de delincuencia se localizaban en zonas deterioradas en transición,

próximas al distrito comercial e industrial (Taylor *et al.*, 1973; Byrne y Sampson, 1986). Encontraron que las tasas de delincuencia disminuían a medida que aumentaba la distancia desde el centro de la ciudad. De acuerdo con Byrne y Sampson (1986), estos hallazgos llevaron a Shaw y McKay a concluir que el comportamiento delictivo estaba estrechamente relacionado con los procesos de crecimiento de la ciudad, tal como lo delinearon Park (1925) y Burgess (1925).

En su trabajo posterior, Shaw y McKay ([1942] 1972) investigaron más a fondo la relación entre los sistemas sociales de los barrios y los procesos de crecimiento de la ciudad. Sostuvieron que los patrones de comportamiento delictivo y criminal se transmitían socialmente en áreas de desorganización social (Byrne y Sampson, 1986), por lo que la clave para combatir el crimen consiste en reducir los niveles de desorganización social (Kubrin, 2010).

2.3. Teorías que estudian la criminalidad

En el apartado anterior se hizo mención de los principales enfoques teóricos que abarcará la presente investigación. Una comprensión más detallada de dichos enfoques a la luz de sus supuestos y ámbitos de aplicación, será el objetivo de la presente sección. En primer lugar, se expondrán las teorías que vinculan la criminalidad con la economía. Estas teorías explican el fenómeno criminal a partir de la racionalidad económica. En segundo lugar, se muestran las teorías que vinculan la criminalidad y la privación económica, las cuales argumentan que la pobreza y la desigualdad económica pueden fomentar la criminalidad al crear sentimientos de frustración y desesperanza. Finalmente, se exponen las teorías que relacionan la criminalidad con el espacio. Estas teorías sostienen que el entorno físico y social de un área puede influir en las tasas de criminalidad.

2.3.1. Teorías que vinculan la criminalidad y la economía (racionalidad económica)

2.3.1.1 Teoría económica del crimen

Una de las teorías más citadas y que relaciona la criminalidad con la economía, es la teoría económica del crimen de Gary Becker, presentada en su artículo *Crime and Punishment: An Economic Approach* en 1968. En este artículo, Becker retoma las ideas de Beccaria y Bentham para desarrollar un modelo económico del crimen donde asume que los delincuentes son individuos racionales que actúan en función de los costos y beneficios que obtienen de sus

actividades como cualquier otra persona. En el modelo, los delincuentes pueden escoger entre dos tipos de actividades: legales o ilegales, y a cada una se les asocia una utilidad esperada. Esta utilidad está dada por la siguiente expresión $EU = pU(Y - f) + (1 - p)U(Y)$, donde el ingreso monetario que recibe el individuo por el delito está dado por Y , la probabilidad de ser condenado por p , el tamaño del castigo en caso de ser condenado por f y su función de utilidad por U .

Si se incrementan la probabilidad de condena y la severidad del castigo, la utilidad esperada se reducirá, y por consiguiente también lo hará el número de delitos cometidos por los individuos. De ahí que, un objetivo importante de su trabajo es la selección de la combinación óptima de p y f para desalentar a los delincuentes haciendo no redituable la actividad delictiva. De acuerdo con Becker, la sociedad debería intentar minimizar las pérdidas sociales derivadas del crimen seleccionando una combinación apropiada de p y f .

Para encontrar los valores óptimos de p y f , se debe diferenciar la función de pérdidas sociales dada por la siguiente expresión, $L(p, f) = D(O) + C(p, O) + bfpO$, donde L es la pérdida social derivada del crimen, D es el daño neto a la sociedad resultante del crimen, C es el costo de la aprehensión y la condena, O es el número de delitos cometidos, p es la probabilidad de detección/condena, f es el equivalente monetario del castigo por delito y b es la relación entre los costos sociales del castigo y los costos privados (Pyle, 1983).

Las condiciones de optimalidad de primer orden se muestran a continuación:

$$\frac{\partial L}{\partial f} = (D' + C_o)O_f + bfpO_f + bpO = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial L}{\partial p} = (D + C_o)O_p + C_p + bfO + bpfO_p = 0 \quad (2.2)$$

Becker asume que $O_f < 0$, $O_p < 0$, $C_o > 0$, $C_p > 0$ y $D' > 0$, es decir, que tanto una mayor severidad del castigo como una mayor probabilidad de detección/condena disuaden el delito, que los costos de aprehensión/condena aumentan con el número de delitos si se mantiene una determinada probabilidad de detección, que para un determinado número de delitos los costos de aprehensión aumentan a medida que la probabilidad de detección/condena aumenta, y, que el daño neto causado por los delitos aumenta a medida que aumenta el número de delitos (Pyle, 1983).

Reordenando los términos, y asumiendo que $b > 0$, se obtienen las siguientes expresiones:

$$D' + C_o = -bpf \left[1 - \frac{1}{\varepsilon_f} \right] \quad (2.3)$$

$$D' + C_o + C_p \frac{1}{O_p} = -bpf \left[1 - \frac{1}{\varepsilon_p} \right] \quad (2.4)$$

Donde

$$\varepsilon_f = -\frac{f}{O_f} \quad (2.5)$$

$$\varepsilon_p = -\frac{p}{O_p} \quad (2.6)$$

Teniendo en cuenta los signos asumidos por Becker, podemos ver que el lado izquierdo de la ecuación (2.3) es mayor que el lado izquierdo de (2.4) (Pyle, 1983), por lo tanto:

$$-bpf \left[1 - \frac{1}{\varepsilon_f} \right] > -bpf \left[1 - \frac{1}{\varepsilon_p} \right] \quad (2.7)$$

Simplificando resulta $\varepsilon_p > \varepsilon_f$. Esta condición implica que los delincuentes responden mejor a los cambios en la probabilidad de detección/condena que a los cambios en la severidad del castigo, en el nivel óptimo (Pyle, 1983), lo que indica que los delincuentes tienen preferencia por el riesgo, y por lo tanto que el delito no reditúa. En consecuencia, la perdida se minimiza si se escogen los valores de p y f de los lugares donde los delincuentes son tolerantes al riesgo (Becker, 1968). Los individuos que muestran preferencia por el riesgo aceptarán apuestas justas e incluso aceptarán algunas injustas. Como resultado, sus ingresos esperados de una actividad riesgosa serán inferior al que podría derivarse de realizar actividades con una cierta recompensa (Pyle, 1983).

Siguiendo una perspectiva similar a la de Becker, George Stigler (1970) postula que los infractores toman decisiones basadas en la lógica económica evaluando los costos y beneficios que anticipan derivados de sus acciones delictivas. Stigler (1970) destaca la importancia de que las autoridades encargadas de hacer cumplir la ley tengan en cuenta estos factores al determinar sus estrategias de aplicación de la legislación. Según este autor, el propósito de la aplicación de la ley no consiste en erradicar por completo la conducta delictiva, dado que esto resultaría costoso. En cambio, aboga por encontrar un nivel de aplicación de la ley que maximice la utilidad social.

En 1973, Isaac Ehrlich desarrolló un modelo teórico más sofisticado que el de Becker (Pyle, 1983) para comprender las decisiones criminales de los individuos. En su modelo, Ehrlich (1973) asume que los individuos pueden participar en dos actividades: una legal y la otra ilegal, en lugar de solo especializarse en una de ellas. Dentro de este modelo, los individuos están sujetos a dos estados alternativos, bajo los cuales obtienen una riqueza: a) cuando son detenidos y castigados con probabilidad (p), y b) cuando no son detenidos, y por lo tanto, no son castigados, con probabilidad ($1 - p$). Bajo este modelo, el individuo debe decidir cómo distribuye su tiempo entre actividades legales e ilegales para maximizar su utilidad esperada. Esto último sucede cuando el individuo iguala su tasa marginal de sustitución entre la riqueza en los estados a) y b), con su tasa marginal de transformación entre la riqueza en los estados a) y b) (Pyle, 1983).

Aparte de desarrollar un marco teórico, Ehrlich (1973) proporciona evidencia empírica para contrastar la hipótesis de que la actividad policial tiene un efecto disuasorio sobre los delincuentes. Realiza un estudio para los estados de E.E.U.U utilizando siete tipos de delitos. Uno de los resultados más llamativos de su investigación, es que la probabilidad de encarcelamiento tiene un efecto negativo en todos los tipos de delitos, lo que indica la relación negativa con las condenas fuertes y largas (Eide *et al.*, 2006). Encuentra además que el crimen está positivamente relacionado con el ingreso familiar mediano y el grado de desigualdad de ingresos de una comunidad (Ehrlich, 1973).

Tanto en el modelo de Becker como en el de Ehrlich, se les atribuye un valor monetario a los costos y beneficios de las actividades ilícitas, por lo que la decisión de cometer delitos se puede resumir en términos de su riqueza monetaria (Pyle, 1983). Block y Heineke (1975) a diferencia de estos autores, no asumen que todos los factores asociados con actividades legales e ilegales pueden ser monetizados, por lo que utilizan en su modelo funciones de utilidad donde las asignaciones de tiempo y sus atributos se introducen explícitamente (Eide *et al.*, 2006). En este modelo, no es posible decidir si la actividad criminal disminuirá o aumentará como resultado de cambios en la probabilidad de castigo, de cambios en los rendimientos de las actividades legales e ilegales y de cambios en el ingreso exógeno, a menos que se hagan suposiciones sólidas sobre las preferencias individuales (Eide *et al.*, 2006; Pyle, 1983). Un aumento en la probabilidad de arresto o condena

solo ejercerá un efecto disuasorio inequívoco si la participación en un delito puede considerarse como una actividad normal (Pyle, 1983).

2.3.2. Teorías que vinculan la criminalidad y la privación económica

Ramírez de Garay (2014) recoge las principales teorías que vinculan la criminalidad con la privación económica. La noción básica del concepto de privación económica es que la economía genera una diferenciación estructural en términos del acceso a oportunidades económicas. Bajo contextos agudos de privación la tasa de criminalidad tiende a ser mayor (Ramírez de Garay, 2014). Existen dos formas de privación: privación absoluta (o material), medida a través de la pobreza, y privación relativa (o subjetiva), medida a través de la desigualdad. En ambos casos, la conexión con la criminalidad depende de un desencadenante que convierte la privación en una motivación criminógena: sentimientos de frustración y hostilidad (Ramírez de Garay, 2014).

Dentro de las teorías que vinculan la privación absoluta (pobreza) y la criminalidad, destacan las teorías del conflicto, la teoría de la anomia, la teoría de la subcultura delictiva y la teoría del control social. En cuanto a las teorías del primer grupo, se menciona en Ramírez de Garay (2018) la teoría del conflicto expuesta por Vold (1958), quien considera el comportamiento ilegal una consecuencia del descontento ocasionado a la clase baja por el despojo de sus medios de supervivencia por parte del sistema capitalista. En contraste con las ideas positivistas, para Vold (1958), el crimen es un problema de control social y de organización política más que un problema de desarrollo de la personalidad. El crimen es visto por este autor como un producto del conflicto en el que varios grupos organizados se involucran en la lucha por el poder político.

En el segundo grupo se encuentra la teoría de la anomia de Robert Merton (Rodríguez de Garay, 2014). Merton (1938) influenciado por Durkheim, utiliza el concepto de anomia para explicar cómo las características estables de las sociedades contemporáneas influyen en el comportamiento criminal. Merton, se centra en una malintegración dentro y entre dos componentes fundamentales de la sociedad: la estructura cultural y la estructura social. Por un lado, la estructura cultural pone demasiado énfasis en el logro de objetivos, ejerciendo presión sobre todos los individuos para que luchen por el éxito económico, pero ejerciendo comparativamente poca presión sobre los individuos para que utilicen medios legítimos para lograr dicho éxito. Por lo tanto, hay más recompensas sociales por lograr el éxito económico que por seguir las reglas, lo que crea un

desequilibrio que a menudo alienta a los individuos a eludir los medios legítimos, es decir, a utilizar los medios más eficientes para lograr objetivos económicos, incluido el crimen (Gunnar, 2014).

En tercer lugar, se encuentran las teorías subculturales, como la de Cloward y Ohlin (1960), que sugieren que la pobreza puede dar lugar a la adopción de valores que favorecen la violencia y la ilegalidad. Esta subcultura, junto con la existencia de oportunidades ilegales, puede incitar al individuo a buscar mejorar su situación económica a través de acciones ilegales. Y, en cuarto lugar, se encuentra la teoría del control social de Hirschi (1969) que sostiene que las clases bajas en situación de privación son menos propensas a adherirse a los valores morales que podrían desalentar la comisión de actos criminales (Ramírez de Garay, 2014).

2.3.3. Teorías que vinculan la criminalidad y el espacio

2.3.3.1 Teoría de la desorganización social.

La teoría de la desorganización social fue desarrollada entre la década de 1920 y la década de 1940 por Clifford Shaw, Henry McKay, Ernest Burgess y Robert Park, investigadores de la escuela ecológica de Chicago. Esta teoría ofrece una explicación sobre la criminalidad basada en factores sociales. Encuentra sus fundamentos en los trabajos de la escuela cartográfica de André Guerry y Adolphe Quetelet, así como en las ideas de Emile Durkheim (Taylor *et al.*, 1973; Vold *et al.*, 1998). De Guerry y Quetelet adoptaron la premisa de que las características sociales y geográficas de un área pueden influir en las tasas de criminalidad y comportamientos desviados. Por otro lado, de Durkheim, incorporaron la noción de anomia, sosteniendo que la carencia de cohesión social y el debilitamiento de normas en una comunidad pueden ser factores que contribuyan al aumento de la criminalidad y la desviación.

Inicialmente Burgess (1925) y Park (1925) elaboraron todo un análisis centrado en los cambios que sufrió la organización social de Chicago por el rápido crecimiento urbano que tuvo lugar después del Gran Incendio de 1871. Sus trabajos fueron retomados por Clifford Shaw y Henry McKay unos años más tarde, quienes consolidaron la teoría aquí expuesta. En su libro de 1942 titulado *Juvenile Delinquency and Urban Areas* realizan un análisis de la distribución espacial de la delincuencia juvenil en Chicago y otras ciudades de Norte América para tres periodos 1900-6, 1917-23 y 1927-33. Descubren que la delincuencia no está uniformemente distribuida en la ciudad. Por el contrario, sigue patrones que están estrechamente relacionados con las condiciones

económicas y sociales dominantes en cada área geográfica que la componen. Con base en esto, su propósito es determinar hasta qué punto las diferencias entre áreas (producto del proceso de crecimiento de las ciudades) se corresponden con variaciones en las tasas de delincuencia.

Utilizando el modelo de círculos concéntricos de Burgess y Park, Shaw y McKay ([1942] 1972), encuentran que la delincuencia se concentra en las áreas adyacentes al centro de la ciudad, donde se encuentra el distrito industrial y comercial. Estas áreas se caracterizan por reunir a la parte de la población con menor estatus económico, generalmente conformada por inmigrantes recientes y población negra. Estos son precisamente los factores que consideran Shaw y McKay como determinantes de la desorganización social de las ciudades: bajo estatus socioeconómico, heterogeneidad étnica y movilidad residencial. De ahí que, las zonas de la ciudad con altos niveles de estos factores tienen más probabilidad de registrar una mayor desorganización social.

Señalan que, en estas áreas, existe una gran diversidad de normas y estándares de conducta que permiten la existencia de un sistema de valores que apoya el comportamiento criminal. En consecuencia, estas áreas son las que más producen delincuentes, y en las que más se concentran las actividades delictivas a través de los años, ya que aquí las tradiciones delincuenciales se transmiten entre generaciones. En contraste con estas áreas, las ubicadas en la periferia de la ciudad, reúnen a la población de mayor estatus económico cuyo sistema de valores convencionales resulta ser suficiente para controlar las vidas de la mayoría de niños y jóvenes, consecuentemente, la delincuencia es mucho menor.

Estas diferencias, en términos de estatus económico se convierten en las más importantes, pues a raíz de la necesidad de adquirir bienes materiales (esenciales para mantener el estatus en la sociedad), los jóvenes de las áreas pobres encuentran en el delito una forma de alcanzarlo, de ahí que los delitos contra la propiedad sean los más numerosos. Para contrarrestar esta situación, los autores proponen que se deben realizar mejoras en las condiciones económicas y sociales que rodean a los jóvenes en aquellas áreas con altas tasas de delincuencia. En otras palabras, para solucionar el problema de la delincuencia, la atención se debe centrar en el entorno en que esta surge y no en el delincuente individual.

En 1989, Sampson y Groves ampliaron el modelo de Shaw y McKay ([1942] 1972) al distinguir entre fuentes endógenas y exógenas de desorganización social. En su ampliación, identificaron

como características exógenas (variables estructurales) la urbanización y la disrupción familiar, añadiendo al grupo de características propuestas por Shaw y McKay ([1942] 1972): bajo estatus económico, heterogeneidad racial y movilidad residencial. Respecto a las características endógenas, propusieron como determinantes las redes de amistades locales, el control de grupos de adolescentes en las esquinas de las calles y los niveles de participación cívica (Vilalta *et al.*, 2016). Los resultados de sus investigaciones sugieren que las comunidades que no pueden (1) controlar a los grupos de adolescentes mediante el control social colectivo, (2) formar redes informales de amistad locales y (3) proporcionar oportunidades de participación en organizaciones formales y voluntarias, experimentarán altas tasas de criminalidad y delincuencia. Los autores descubrieron que las características estructurales predicen niveles de desorganización, y a su vez, las comunidades con una organización deficiente presentan tasas más elevadas de criminalidad (Parker y Stansfield, 2014).

En esta misma línea de estudio, Sampson *et al.*, (1997) conceptualizaron los lazos comunitarios de manera ligeramente diferente, al incluir la incapacidad de los residentes para mostrar confianza colectiva y abordar problemas (como adolescentes problemáticos o consumo de drogas) mediante la eficacia colectiva. Han demostrado que la eficacia colectiva actúa en gran medida como mediador en la relación entre desventaja estructural y delincuencia. Esta nueva línea de investigación no solo explica por qué los problemas varían entre vecindarios, sino que también demuestra que los vecindarios con problemas son menos capaces de resolverlos (Parker y Stansfield, 2014).

2.3.3.2 Teoría de las actividades rutinarias

Otra corriente teórica que retoma los postulados de los grandes representantes de la escuela clásica de la criminología es la teoría de las actividades rutinarias de Cohen y Felson (1979), ya que “implícitamente asume un delincuente racional que actúa en función de los costes y beneficios” (Cid y Larrauri, 2001, p. 47). Cohen y Felson (1979) plantean que la delincuencia puede ser explicada a partir de los cambios estructurales en los patrones de las actividades rutinarias. De acuerdo con estos autores, las actividades rutinarias que realizan las personas, cada vez más orientadas hacia afuera de sus hogares, permiten que converjan en el tiempo y en el espacio los

factores que consideran mínimos para que ocurra un delito: delincuentes motivados, objetivos adecuados y ausencia de guardias capaces de prevenirlo (Cohen y Felson, 1979).

Con el fin de explicar los cambios en las tendencias de la tasa de delincuencia en Estados Unidos, luego de la Segunda Guerra Mundial, Cohen y Felson (1979) desarrollan esta teoría cuestionándose por qué las tasas de delincuencia seguían en aumento entre la década de los 60 y los 70, aun cuando las condiciones económicas y sociales (que se suponían eran las causas del delito) habían estado mejorando. Proponen que dicha tendencia puede ser explicada por los cambios estructurales en los patrones de las actividades rutinarias, debido a que afectan la convergencia en el espacio y el tiempo de los tres elementos mínimos para que ocurra un delito (en particular, aquel que requiere de contacto directo entre la víctima y el delincuente): delincuentes motivados, objetivos adecuados y ausencia de guardianes capaces de prevenirlo.

Según este enfoque, las actividades rutinarias son todas aquellas actividades recurrentes predominantes que satisfacen las necesidades básicas de la población y de los individuos, tales como el trabajo formalizado, provisión de alimentos, vivienda, crianza de los hijos, etc. Sin embargo, los autores también califican como actividades rutinarias a las actividades delictivas porque comparten atributos y son interdependientes con otras actividades rutinarias. Por ejemplo, muchos de los avances tecnológicos diseñados para propósitos legítimos, incluidos el automóvil, las armas, las carreteras, los teléfonos, etc., pueden permitir a los delincuentes realizar su propio trabajo (Cohen y Felson, 1979). Por esa razón afirman que el comportamiento ilegal se alimenta de las actividades rutinarias, y de ahí que estas sean una buena fuente para explicar las tendencias de las tasas de criminalidad.

Dichas actividades rutinarias pueden ocurrir en el hogar, en trabajos fuera del hogar y en otras actividades fuera del hogar. A partir de estos planteamientos, la hipótesis que buscan comprobar es que los cambios en la estructura hacia actividades (legítimas) fuera del hogar, aumentan la probabilidad de cometer un delito, ya que confluyen en el espacio y el tiempo un objetivo adecuado (que resulta atractivo por su idoneidad) y una reducción de la vigilancia, lo que genera índices de delincuencia más altos. En otras palabras, las tasas de delincuencia se incrementan porque las personas tienden más a trabajar fuera de sus hogares, lo que los vuelve más vulnerables ante los delincuentes por la falta de vigilancia a los bienes que por su valor, tamaño, accesibilidad etc.,

puedan ser objetivo de traslado ilegal. En efecto, encuentran que existe una relación positiva entre las cinco tasas de delincuencia que utilizan (homicidio, violación forzada, asalto agravado, atraco y robo con allanamiento) y la tasa de actividad del hogar tanto a nivel macro como micro.

Piscitelli y Doherty (2018) estudian los vínculos entre la teoría de las actividades rutinarias y la teoría de la desorganización social. Los autores afirman que hay dos vínculos claves entre estos dos enfoques teóricos: las desventajas ecológicas y los delincuentes motivados. La desventaja ecológica propone que los delincuentes elijen objetivos basándose en las ventajas específicas que brindan las ubicaciones. Los delincuentes motivados son el segundo vínculo entre la teoría de la desorganización social y la de las actividades rutinarias. La teoría de la desorganización social postula que los barrios transmiten valores desviados. Estos valores desviados transmitidos de adultos a jóvenes crean un círculo vicioso que aumenta el número de personas dispuestas y motivadas a cometer delitos (Piscitelli y Doherty, 2018).

Un estudio que recoge las pruebas empíricas de la teoría de las actividades rutinarias a nivel macro es el de Pratt y Cullen (2005). En esta investigación señalan que en los estudios empíricos generalmente se involucran dos conjuntos de variables: uno relacionado con la presencia/ausencia de guardianes y otro con los objetivos potenciales y delincuentes. Los autores mencionan que, dentro de la literatura criminológica del periodo 1960-1999, la medida más común de ausencia de guardianes fue el índice de actividad del hogar. Mientras que, la presencia de delincuentes motivados a menudo se midió mediante la tasa de desempleo, la cual sigue siendo muy utilizada en estudios más recientes (Boivin, 2018). Descubren que el tamaño medio del efecto es mayor para el índice de actividad de los hogares que para la tasa de desempleo, pero ambas medidas son predictores de delincuencia a nivel macro moderadamente (Boivin, 2018). Pratt y Cullen (2005) concluyen que el estatus empírico de la teoría de la actividad rutinaria es incompleto y exigen un escrutinio empírico adicional porque la literatura analizada se centró en gran medida en sólo una de las dos facetas (la presencia de guardianes) de la teoría (Boivin, 2018).

De la misma forma, Boivin (2018) busca proporcionar evidencia sobre la relación entre la delincuencia y el tamaño de la población. Este autor se basa en la formulación macrosociológica de la teoría de la actividad rutinaria de que una mayor presencia humana en un área determinada está asociada tanto con un aumento como con una disminución de la actividad criminal. De acuerdo

con Boivin (2018) se espera que las áreas con grandes poblaciones, ya sean residenciales, de visita o una combinación de ellas, experimenten más delitos porque una mayor población proporciona más objetivos potenciales y delincuentes, pero también que grandes poblaciones estén involucradas en menos delitos porque un mayor número de individuos proporciona una mayor vigilancia. El autor encuentra una relación positiva entre la delincuencia y la población en muchas zonas; sin embargo, también encuentra apoyo empírico para la proposición opuesta de que poblaciones más grandes están (a veces) asociadas con menos criminalidad. Esto es especialmente cierto en áreas que reciben visitas principalmente para ir de compras, ir a la escuela y trabajar.

2.3.3.3 Teoría de los patrones criminales

La teoría del patrón del crimen de Paul y Patricia Brantingham combina elementos de la perspectiva de la elección racional, la teoría de las actividades rutinarias y la psicología ambiental, para explicar la variación en la distribución espacio-temporal del crimen. Establece que los delincuentes racionales se dan cuenta de los objetivos adecuados en ausencia de guardias capaces mientras realizan sus actividades y rutinas diarias. Los delincuentes pueden explotar estas oportunidades inmediatamente o volver a explotarlas más tarde. El delito, entonces, es el resultado de las interacciones entre los delincuentes motivados y su entorno físico y social (Vandeviver y Bernasco, 2017).

De acuerdo con Brantingham y Brantingham (1993), ni los delincuentes motivados ni las oportunidades para cometer delitos están distribuidos uniformemente en el espacio y el tiempo. Los tipos específicos de delitos tienden a estar estrechamente relacionados con la ubicación de los objetivos y los patrones de viaje habituales de los posibles delincuentes. La ubicación de los objetivos y de los posibles delincuentes suele variar según la hora del día, las características de los objetivos específicos y el sitio y la situación que rodean a los objetivos.

Lo interesante es entender cómo un individuo decide que se puede obtener algún valor al cometer un delito. Lo que es particularmente importante señalar es la centralidad de la oportunidad combinada con la ausencia de restricciones formales o informales a la acción. Los individuos simplemente están llevando a cabo sus acciones actuales, generalmente actividades rutinarias, y se topan con un evento desencadenante. Este evento desencadenante conduce entonces a una búsqueda mínima o más amplia de algún tipo de objetivo. Si la búsqueda es mínima, el evento

desencadenante probablemente sea un individuo o un grupo de individuos que encuentran una oportunidad, mientras que una búsqueda más amplia probablemente comenzará después de que un individuo o grupo haya tomado la decisión de buscar un objetivo (Brantingham *et al.*, 2017).

La comisión exitosa de delitos refuerza los modelos delictivos y los patrones delictivos existentes. Es probable que la falta de éxito tenga poco efecto la primera vez. Pero si persiste la falta de éxito, es probable que algo cambie. Los individuos pueden adaptarse de diversas maneras: pueden cambiar la forma en que cometen un delito para superar los factores que han dificultado su comisión exitosa; pueden modificar su modelo de delito sobre el dónde o el cuándo de un delito; o pueden adaptarse participando en actividades no delictivas. De manera similar, la comisión exitosa de un delito que se cometió dentro de actividades rutinarias reforzará esas actividades rutinarias; sin embargo, si se estuvieran realizando actividades no rutinarias, entonces esas actividades pueden volverse rutinarias debido a la comisión exitosa de un delito (Brantingham *et al.*, 2017).

2.4. Estudios empíricos

2.4.1. Espaciales

Múltiples autores han abordado el análisis espacial de la criminalidad, explorando este fenómeno en diversas regiones del mundo. Algunos trabajos como los de Jaitman y Ajzenman (2016), y Vilalta *et al.*, (2016) se centran en comprender los patrones delictivos en áreas urbanas de América Latina. Por una parte, el estudio de Jaitman y Ajzenman (2016) se enfoca en analizar los patrones delictivos de varias ciudades de cinco países latinoamericanos para validar la hipótesis de que los crímenes se encuentran concentrados en un área pequeña a nivel de calles. Utilizando información para todos los tipos de delitos disponibles para las ciudades de Bogotá, D.C. (Colombia), Montevideo (Uruguay), Belo Horizonte (Brasil), Zapopan (México) y Sucre (Venezuela), encuentran que el crimen se concentra en una pequeña proporción de segmentos de calle, con el 50% de los delitos concentrados entre el 3% y el 7.5% de dichos segmentos. Asimismo, descubrieron que aunque hay áreas donde prevalece el crimen, hay otras donde los puntos calientes o *hot spots* aparecen o desaparecen, sugiriendo adaptaciones racionales de los criminales a las acciones policiales. Un estudio que analiza los efectos de la intervención policial en los puntos calientes a nivel de calles, es el de Collazos *et al.*, (2019) quienes demuestran que para Medellín

(Colombia) a diferencia de otras ciudades como Bogotá, D.C., la intervención de la policía no tiene efectos directos sobre los delitos, con excepción del hurto de vehículos.

Por su parte, el estudio de Vilalta *et al.*, (2016) ofrece evidencia empírica sobre la capacidad predictiva de la teoría de la desorganización social en relación con los patrones espaciales de la delincuencia, tanto a nivel intraurbano como interurbano. A nivel interurbano, analizaron tres categorías delictivas: delitos contra la propiedad, lesiones y homicidios. Mientras que a nivel intraurbano estudiaron robos, lesiones, homicidios y el total de delitos. Los autores, emplean un enfoque de regresión MCO tradicional para el análisis interurbano y, para el intraurbano, un enfoque combinado de regresión de Poisson y regresión ponderada geográficamente. Sus principales resultados revelan que los factores asociados a la teoría de la desorganización social tienen influencia en la ocurrencia delictiva, especialmente a nivel intraurbano. Encuentran que comunidades con recursos económicos limitados presentan mayores dificultades para controlar su entorno y prevenir la delincuencia. Asimismo, señalan que el desempleo y la marginalidad socioeconómica contribuyen al aumento de la delincuencia, aunque esta relación no es uniforme en todos los lugares ni para todos los tipos delictivos. Mencionan además que se puede anticipar un mayor índice delictivo en áreas urbanas donde los habitantes poseen niveles educativos más altos.

En este contexto, Escobar (2012) investiga los vínculos entre crimen y desorganización social a nivel de barrio en Bogotá, D.C. (Colombia) para el periodo 2003-2005, utilizando la tasa de homicidios. Al igual que Vilalta *et al.*, (2016), sus resultados sostienen (parcialmente) la teoría de la desorganización social, pues encuentra que la concentración de desventajas sociales y el desorden social parecen predecir altos índices de homicidios, sin embargo, la disponibilidad de servicios públicos muestra un efecto negativo sobre los homicidios. Adicional a esto, señala que la presencia de unidades de policía predice altos niveles de homicidios, mientras que la proporción de jóvenes de sexo masculino y la densidad de la población suponen bajos índices de delincuencia.

Otros autores como Pires *et al.*, (2014), Loaiza (2012) y Sánchez *et al.*, (2012) se enfocan en estudiar las distribuciones espaciales de diferentes delitos en Colombia. Pires *et al.*, (2014) examinan los secuestros entre 2002 y 2011, para determinar si estos muestran concentraciones similares según el marco del triángulo del crimen (víctimas, delincuentes y lugares). Sus resultados

sugieren que los secuestros efectivamente presentan concentraciones espacio-temporales. La investigación de Loaiza (2012) analiza la distribución espacial de los homicidios en las comunas de Cali-Colombia. Este autor encuentra que a medida que la ciudad se extiende hacia las periferias la probabilidad de ocurrencia de los homicidios va aumentando. Por su parte, Sánchez *et al.*, (2012) analiza la evolución de la estructura geográfica de la tasa de homicidios a nivel municipal entre 2003 y 2010. Encuentra que en Colombia hay una tendencia persistente a la aglomeración de municipios pacíficos y violentos, que está ligada a la presencia de grupos irregulares que desencadenan disputas por el control territorial para la producción y tráfico de drogas.

Álvarez y González (2012), también realizan un análisis espacial de la violencia homicida a nivel municipal en Colombia, pero solo teniendo en cuenta municipios de los departamentos de Valle del Cauca, Cauca y Nariño, entre 2000 y 2010. Su investigación confronta la hipótesis de que la violencia homicida se distribuye aleatoriamente en los departamentos en cuestión. Los autores revelan la existencia de *hot spots* altamente contagiosos en términos de violencia. Identificaron zonas donde estos actos violentos persistieron durante el periodo de estudio, resaltando al Valle del Cauca como un clúster significativo de violencia. Asimismo, analizan la asociación de la pobreza y la violencia a través del índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI). Mediante el cálculo del índice de Moran Bivariado muestran que la pobreza no determina la violencia homicida en términos espaciales.

Un análisis para Bélgica lo realizan Hooghe *et al.*, (2011) quienes investigan el impacto de los indicadores de privación sobre la delincuencia en 589 municipios belgas durante el periodo 2001-2006. Mediante un análisis de regresión espacial demuestran que el desempleo tiene un impacto fuerte y significativo en las tasas de criminalidad, y este efecto es más fuerte que el efecto de los niveles de ingreso. La desigualdad de ingresos tiene un impacto positivo significativo en las tasas de delitos contra la propiedad, pero un impacto negativo en los delitos violentos. Agregan que, la delincuencia está fuertemente concentrada en los centros urbanos de Bélgica. Asimismo, la estructura demográfica no estuvo relacionada con los niveles de criminalidad, mientras que el análisis espacial muestra que hay un efecto indirecto en las comunidades vecinas por los delitos contra la propiedad, pero no por los delitos violentos.

El vínculo entre violencia y pobreza también es abordado por Formisano (2002) y Tapias (2017) quienes exploran la relación entre ambos fenómenos para Colombia. Tapias (2017) analiza la distribución espacial de la violencia y la pobreza en la Región Caribe colombiana, a través del Índice de Condiciones de Vida. Al igual que el estudio de Álvarez y González (2012), su enfoque fue principalmente exploratorio. Aun así, su investigación evidenció la variabilidad entre municipios caribeños en términos de pobreza y violencia. Utilizando conglomerados de variables que representan distintas manifestaciones de violencia, como tasas de homicidios, desplazamientos por cada 100,000 habitantes y acciones armadas por grupos como FARC, ELN y autodefensas por kilómetro cuadrado, Tapias (2017) identificó zonas donde coexisten pobreza y violencia, pero enfatizan que la presencia de la pobreza no implica necesariamente la existencia de violencia. Mencionan que la medición de las condiciones de vida varía según el tipo de violencia presente, sugiriendo la necesidad de abordajes diferenciados por área.

Finalmente, el estudio de Formisano (2002) contiene un análisis causal de la violencia homicida en Bogotá, D.C. En línea con las anteriores investigaciones, el autor también encuentra que la tasa de homicidios en Bogotá, D.C. no se distribuye de manera uniforme, al contrario, presenta una alta concentración en pocas zonas de la ciudad (específicamente en el centro). Esta concentración, se acompaña de alta persistencia en el tiempo y de un patrón de difusión contagiosa, donde sectores con altas tasas de homicidios tienden a contagiar a sus vecinos cercanos. Este patrón de expansión que generan los homicidios se explican por la tasas de homicidios per se y no por las características de cada sector. De manera que, al disminuir la tasa de homicidio del sector más caliente, se disminuirían consecuentemente los homicidios de sus vecinos, sin atacar directamente la violencia homicida de cada sector. En este mismo análisis encuentra que variables socioeconómicas como el Gini, la tasa de desempleo, la cobertura educativa, entre otras, no tienen poder explicativo sobre la tasa de homicidios, por lo que tampoco será necesario modificar las características socioeconómicas de cada sector. En cambio, si encuentra una estrecha relación entre la intensidad de la violencia y la presencia de estructuras criminales; por lo que, la recomendación del autor es que los esfuerzos en combatir el crimen estén encaminados hacia políticas focalizadas en las zonas más violentas y orientarse a combatir la presencia de estructuras criminales mediante una mayor presencia y actividades de la policía.

2.4.2. No espaciales

La investigación de Pratt y Cullen (2005) presenta un exhaustivo análisis de la literatura criminológica cuantitativa, examinando las variables propuestas por diversas teorías para explicar la criminalidad entre 1960 y 1999. Destacan que, a nivel macro, la heterogeneidad racial, la pobreza y la desintegración familiar, sugeridos por la teoría de la desorganización social y la privación económica, son los predictores más sólidos y consistentes de la delincuencia. En contraste, los factores relacionados con el sistema de justicia penal, como los efectos policiales o las políticas de endurecimiento, exceptuando el efecto del encarcelamiento, se encuentran entre los predictores más débiles del crimen, propuestos por las teorías de disuasión/elección racional. En este sentido afirman que las tasas de criminalidad pueden verse más directamente influenciadas por el alivio de las condiciones de privación económica que en el endurecimiento de castigos (Boivin, 2018).

De manera similar, Heinemann y Verner (2006) exponen la literatura sobre las causas del crimen en América Latina y el Caribe, subrayando que el elevado nivel de violencia en la región está más ligado a la desigualdad que a los niveles generales de desarrollo. Además, identifican múltiples factores de riesgo para comportamientos violentos y delictivos, como la falta de educación, el desempleo, la urbanización caótica, la escasez de capital social y los sistemas de justicia penal ineficientes, sugiriendo intervenciones enfocadas en reducir la desigualdad y garantizar un acceso más equitativo a la educación y la justicia, y fomentar la creación de capital social.

En 1998, Fajnzylber, Lederman y Loayza llevaron a cabo una investigación sobre los factores económicos que influyen en el crimen en América Latina, utilizando indicadores como la tasa de homicidios y la tasa de robos. A través de un análisis de regresión utilizando el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) con datos de corte transversal, llegaron a la conclusión de que la desigualdad de ingresos, y no simplemente los ingresos, desempeña un papel crucial en la motivación del crimen. Asimismo, destacaron que los cambios en la distribución del ingreso, en lugar de los cambios en los niveles absolutos de pobreza, están más vinculados a las variaciones en las tasas de delitos violentos. Ampliaron su análisis realizando estimaciones de modelos de datos panel empleando el Método Generalizado de Momentos (GMM), de los cuales extraen la conclusión de que la desaceleración de la actividad económica conduce a un aumento en las tasas

de homicidios y robos, y que un mayor grado de desigualdad de ingresos contribuye al incremento en la incidencia de ambos delitos.

Un estudio realizado en 2001 por Sánchez y Núñez para las siete ciudades principales de Colombia y para 711 municipios entre 1980 y 1998, refleja que dentro de los determinantes del crimen violento medido por la tasa de homicidios, para las ciudades de Bogotá, D.C., Medellín, Cali, Barranquilla, Bucaramanga, Pasto y Manizales, se encuentra principalmente la densidad del narcotráfico y en menor medida los problemas del sistema judicial. Los autores también utilizan un panel de datos para identificar los determinantes de la tasa de homicidios a nivel municipal. Encuentran una conexión entre esta última y diversos factores, como la pobreza, la desigualdad, la exclusión política, la presencia de actores armados, el narcotráfico y la eficiencia del sistema judicial.

El trabajo de Sandoval *et al.*, (2009) estudia la relación entre la criminalidad y la pobreza en los departamentos de Colombia entre 2003 y 2007. Mediante un análisis multivariado de covarianza (MANCOVA) evalúan si variables relacionadas con la pobreza como educación, transferencias del gobierno central al gobierno departamental, índice de densidad industrial, población en edad de trabajar, tasa de empleo y de desempleo, junto con factores de carácter institucional como juzgados y estaciones de policía, influyeron en los niveles de criminalidad medidos a través de delitos que afectan la seguridad democrática y la seguridad ciudadana como el hurto común, los homicidios, los secuestros, la extorsión y el terrorismo. Los autores identifican que la presencia institucional, tanto en juzgados municipales como de circuito, afecta la delincuencia en los departamentos, sugiriendo que el control por parte de las fuerzas públicas podría mitigar la actividad delictiva. Además, se observó que el desarrollo industrial y la generación de empleo tienen un impacto directo en el comportamiento delictivo en dichos departamentos.

Otras investigaciones sobre los determinantes de la criminalidad también han sido realizadas para otros países como México y Brasil (Nateras y Zaragoza, 2017; Ervilha y De Lima, 2019). Nateras y Zaragoza (2017) en su artículo buscan analizar en qué medida los índices de pobreza influyen en los niveles de delincuencia organizada en distintas entidades mexicanas de 2009 a 2013. Utilizando tres grupos de entidades de acuerdo a su grado de bienestar socioeconómico, identifican de manera descriptiva que los delitos relacionados con el narcotráfico, el robo de autos y la

extorsión son más propensos en entidades con mayor riqueza. Mientras que las entidades con mayor pobreza cuentan con un número más elevado de delitos relacionados con el porte de armas de fuego, lo cual se ve reflejado en el número de homicidios por habitante. Dado que las entidades con los índices de pobreza más elevados del país, presentan una tendencia menor a la ocurrencia de varios tipos de delitos, afirman que el paradigma que establece la relación entre pobreza y delincuencia es erróneo y limitado. Por lo tanto, los factores socioeconómicos no deben ser considerados como el único detonador de la violencia y la delincuencia.

En un estudio para Brasil, Ervilha y De Lima (2019), investigan mediante la metodología de datos panel si las heterogeneidades en los municipios de Minas Gerais ejercen influencia en los indicadores de criminalidad desde 2000 hasta 2014. El estudio revela que los resultados varían según el tipo de delito analizado. Por ejemplo, en el caso de los delitos contra el patrimonio, se encontró una relación positiva entre el PIB per cápita y las tasas de delitos, lo que sugiere que el desarrollo económico puede influir en este tipo de delitos. Por otro lado, en el caso de los delitos de menor potencial ofensivo, se observó que variables como el empleo formal, la razón de dependencia y el gasto per cápita en seguridad están relacionados con menores niveles de estos delitos.

3. Marco metodológico

En el capítulo anterior, se exploraron distintos enfoques teóricos relevantes para comprender la criminalidad, cada uno de los cuales aporta diversos factores para explicar este fenómeno complejo. Por ejemplo, la teoría económica del crimen propone abordar esta problemática mediante políticas disuasorias, como el incremento de penas, una mayor vigilancia y la aplicación rigurosa de la ley. Estos argumentos pueden ser incorporados al análisis a través de indicadores como la tasa de capturas, condenas, el gasto público en fuerzas policiales y judiciales, así como la cantidad de policías en servicio, entre otros. Asimismo, las explicaciones que relacionan la criminalidad con la privación económica pueden manifestarse a través de indicadores como la incidencia de la pobreza o el índice de Gini. Mientras que, las teorías que vinculan la criminalidad con el espacio, abordan la criminalidad desde una perspectiva geográfica, sugiriendo que el entorno físico y social puede influir en las tasas de criminalidad. Estas teorías pueden ser evaluadas a través de indicadores como la densidad poblacional, la desorganización comunitaria, la calidad de la infraestructura urbana, entre otros.

Al integrar estos enfoques, es posible desarrollar un marco de análisis multidimensional que permita capturar la complejidad inherente de la criminalidad. En el presente capítulo, se examinan algunos de los factores propuestos en el marco teórico para abordar el problema de la criminalidad en los departamentos de Colombia entre 2016 y 2021. Estos son incluidos en el análisis a raíz de su relevancia empírica para explicar este fenómeno en otras regiones del mundo y en Colombia, y por la disponibilidad de información a nivel departamental. Se propone la creación de un índice departamental como medida de la criminalidad y se introducen técnicas de econometría espacial para tratar el fenómeno criminal.

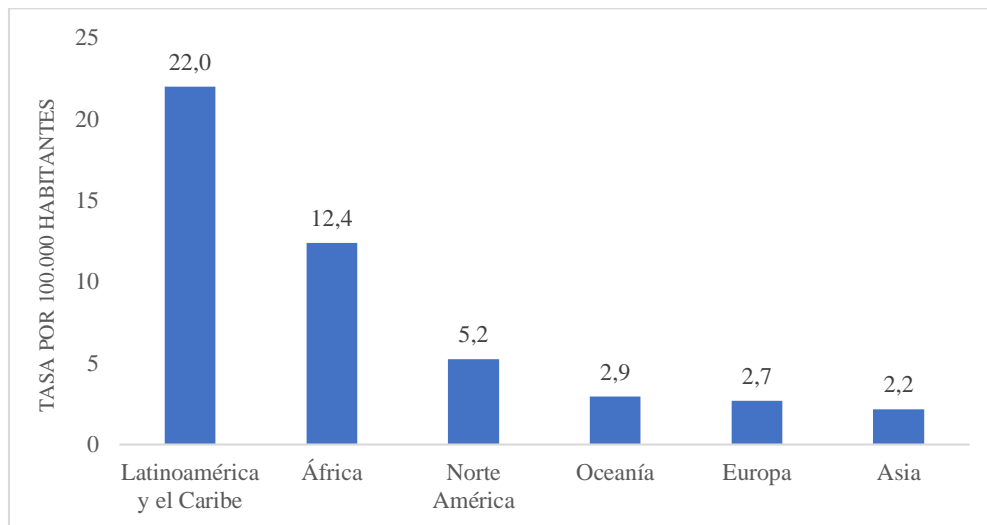
El capítulo está dividido en cinco secciones. En la primera y la segunda se muestra un panorama de la violencia en Latinoamérica y en Colombia, respectivamente. En la tercera, se desarrolla la metodología a implementar para analizar la criminalidad y los factores asociados a ella, desde un enfoque espacial; en la cuarta, se exponen las variables a utilizar y las fuentes de información; y por último, en la quinta, se realiza un análisis exploratorio de datos espaciales para las variables consideradas.

3.1. La criminalidad en Latinoamérica

América Latina y el Caribe ha sido históricamente considerada una región del mundo caracterizada por su alta incidencia de violencia. Según cifras de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) (2023), en el año 2021, ocho de los diez países con las tasas de homicidio más altas del mundo se encontraban en esta región, lo cual genera una profunda preocupación. A pesar de representar menos del 9% de la población mundial, América Latina y el Caribe concentra el 33% de los homicidios a nivel global, situándola como la región más violenta (Jaitman y Ajzenman, 2016).

La tasa de homicidios estimada promedio entre los años 2016 y 2021 para esta región asciende a 22 por cada 100,000 habitantes, superando de manera significativa las tasas registradas en otras partes del mundo. En comparación con diversas regiones, la región Latinoamericana y del Caribe presenta una tasa 1.78 veces mayor que la de África, 4.2 veces mayor que la de América del Norte, 7.5 veces mayor que la de Oceanía, 8.14 veces mayor que la de Europa y 10 veces mayor que la de Asia (ver figura 3.1). Sin embargo, al analizar la distribución global de las víctimas de homicidio entre 2016 y 2021, se observa que África representa el 37% de los homicidios del mundo, América Latina y el Caribe el 32%, Asia el 22%, Europa el 4%, América del Norte el 4%, y Oceanía menos del 1% del total.

Figura 3.1. Tasa de homicidios por regiones del mundo, promedio 2016-2021



Fuente: Elaboración propia con cifras de UNODC.

Es relevante señalar que el fenómeno del homicidio no constituye necesariamente un problema que afecte a toda la región, ya que se concentra en algunos países con características particulares (Hernández, 2021). Un vistazo a la figura 3.2 muestra que Jamaica, Santa Lucía, Honduras, Belice, San Vicente y las Granadinas, San Cristóbal y Nieves, Trinidad y Tobago, Bahamas, México y Colombia se encuentran entre los 10 países con la mayor tasa de homicidios, ubicándose en el tercil superior con un promedio de 33 homicidios por cada 100,000 habitantes. Mientras que países como Chile, Argentina y Bolivia se sitúan en los últimos lugares, con tasas que no superan los 5 homicidios por cada 100,000 habitantes.

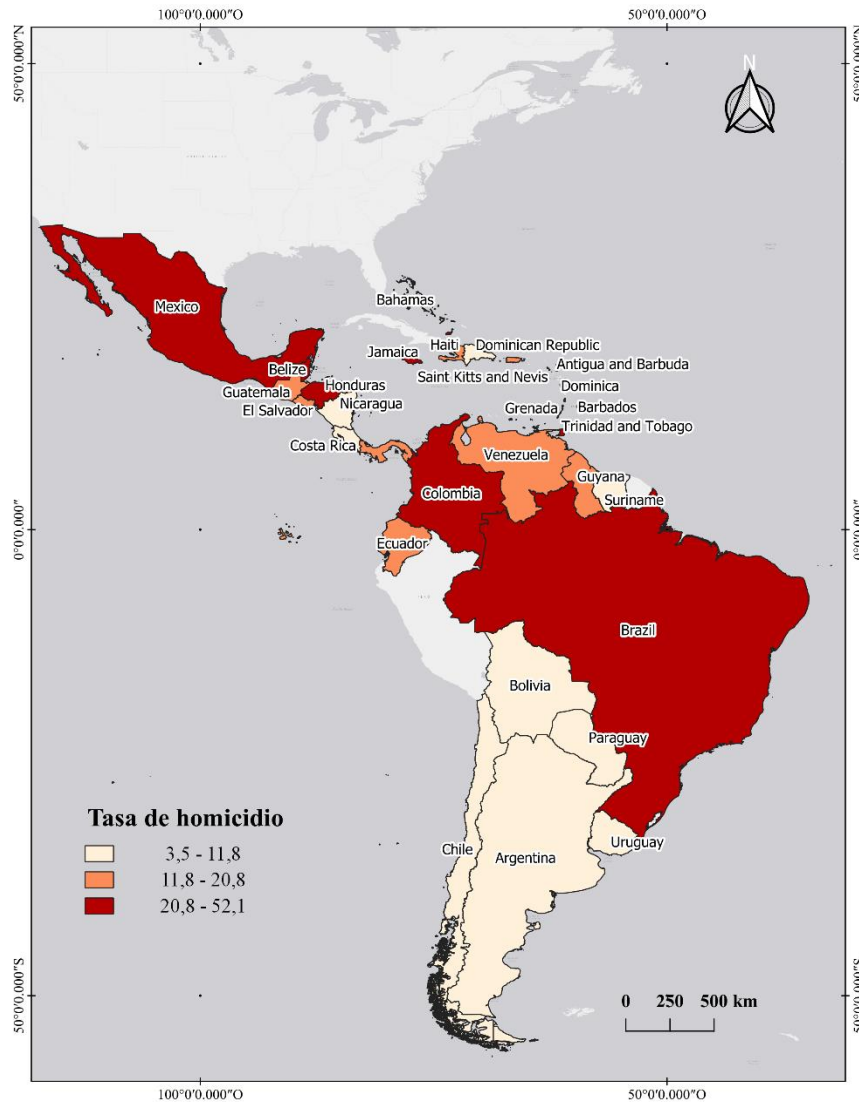
Un análisis del comportamiento de este fenómeno en 2021 por subregiones revela que el Caribe es la subregión con la mayor tasa de homicidios (21.8), seguida de Centroamérica (21.2) y América del Sur (12.6). En el Caribe, destaca la tasa asociada a este delito en Jamaica, que registra el valor máximo dentro de toda la región Latinoamericana y del Caribe con 52.1 homicidios por cada 100,000 habitantes. En Centroamérica, Honduras permanece en el primer lugar con una tasa de 38.2 homicidios, mientras que en América del Sur, Colombia repunta como el país con el mayor nivel de homicidios (25.7 por cada 100,000 habitantes).

En la subregión de Suramérica, la tasa de homicidios ha experimentado una tendencia a la baja desde 2017. Esta disminución se atribuye principalmente a una reducción en el número anual de homicidios registrados en Brasil, el país más poblado de la subregión, que pasaron de 63,000 en 2017 a menos de 46,000 en 2021. Perú y la República Bolivariana de Venezuela también han experimentado una disminución en los homicidios anuales en los últimos años. Sin embargo, en contraste, países como Colombia y Ecuador experimentaron aumentos considerables de la violencia homicida entre finales de 2020 y finales de 2021, que en el caso de Ecuador puede atribuirse al crimen organizado y la violencia relacionada con las pandillas (UNODC, 2023).

Aunque se han propuesto diversos factores para tratar de explicar este fenómeno en la región, hasta el momento no se ha alcanzado un consenso sobre las razones que subyacen a esta problemática (Soares y Naritomi, 2010). No obstante, la persistencia de niveles elevados de violencia en la región se atribuye a dinámicas complejas relacionadas con grupos criminales que compiten por el control de los mercados ilegales. Además, destacan problemas estructurales como un sistema legal frágil, desigualdad social, desempleo juvenil y factores como la producción récord de drogas y

armas de fuego (UNODC, 2023), así como el proceso de urbanización experimentado por los países (Muggah, 2012).

Figura 3.2. Terciles de la tasa de homicidio por 100,000 habitantes en Latinoamérica y el Caribe, 2021



Fuente: Elaboración propia con datos de UNODC y cartografía de Eurostat

Un aspecto importante que afecta considerablemente a las economías latinoamericanas es el costo asociado al crimen. Este fenómeno absorbe al menos el 3% de la producción económica de la región, cifra que resulta equiparable al gasto anual en infraestructura en la misma región en 2014

(Jaitman y Ajzenman, 2016). Es relevante señalar que, en algunos países, especialmente en Centroamérica, los costos del crimen superan el promedio regional, duplicándolo, mientras que en otros son notablemente inferiores, llegando a ser menos de la mitad (Jaitman y Torre, 2017). Estos costos durante la década de los noventa se estimaban en 7.1% del Producto Interno Bruto (PIB), en los cuales se incluían factores intangibles como la disminución de la productividad, el impacto en el consumo y la afectación de la fuerza laboral (Londoño y Guerrero, 1999). Bajo estas estimaciones de Londoño y Guerrero (1999), Colombia se situó como el país con los costos más elevados del crimen, representando alrededor del 11% del PIB. Este periodo coincide con una etapa crítica en la historia colombiana, caracterizada por una intensa violencia impulsada por guerrillas y paramilitares (Jaitman y Torre, 2017).

3.2. La criminalidad en Colombia

Colombia figura dentro del grupo de naciones más violentas del mundo. En el estudio más reciente sobre homicidios realizado por UNODC (2023), el país se ubicó en el primer lugar entre las naciones suramericanas con la tasa de homicidios más alta, registrando 25.7 por cada 100,000 habitantes en 2021. Esto evidencia una marcada diferencia en comparación con países como Bolivia, quien se encuentra en el último lugar del ranking, y cuya tasa de homicidios es ocho veces menor a la de Colombia.

Aunque no existe consenso sobre cuáles son las causas de esta violencia en Colombia, hay visiones que van desde atribuirla a los conflictos partidistas, la lucha de clases y la debilidad institucional, mientras que otras enfatizan en la injusticia social, marcada por la histórica inequidad en la distribución de tierras y el colapso parcial del Estado, entre otros factores (González y Molinares, 2010). Lo que sí es claro es que la violencia en el país ha cambiado de forma y ha transformado su estructura de acuerdo al contexto en el que se encuentre.

Antes de 1965, la violencia se caracterizaba principalmente por ser de carácter político. Luego de ese año, la violencia general se empezó a desligar de la violencia política a medida que fueron surgiendo grupos armados ilegales, y se expandiera el fenómeno del narcotráfico durante la década de 1970. Esta transición condujo a que la violencia en las décadas posteriores, especialmente en los años 80 y 90, estuviera profundamente vinculada al negocio de las drogas, un fenómeno que

hasta entonces se había mantenido mayormente en el ámbito de la violencia privada (Cubides *et al.*, 1998).

Asimismo, es importante destacar que la violencia no se ha manifestado de manera uniforme ni con la misma intensidad en todas las regiones del país. Por ejemplo, entre 1984 y 1991, considerado el periodo más violento de Colombia, las zonas asociadas al narcotráfico experimentaron tasas de homicidios significativamente más altas. En 1991, la tasa alcanzó el punto máximo registrado durante la segunda mitad del siglo XX, con 86 homicidios por cada 100,000 habitantes, siendo los departamentos de Antioquia y Arauca los más afectados, con tasas superiores a 200 y 500 homicidios por cada 100,000 habitantes, respectivamente (Cubides *et al.*, 1998).

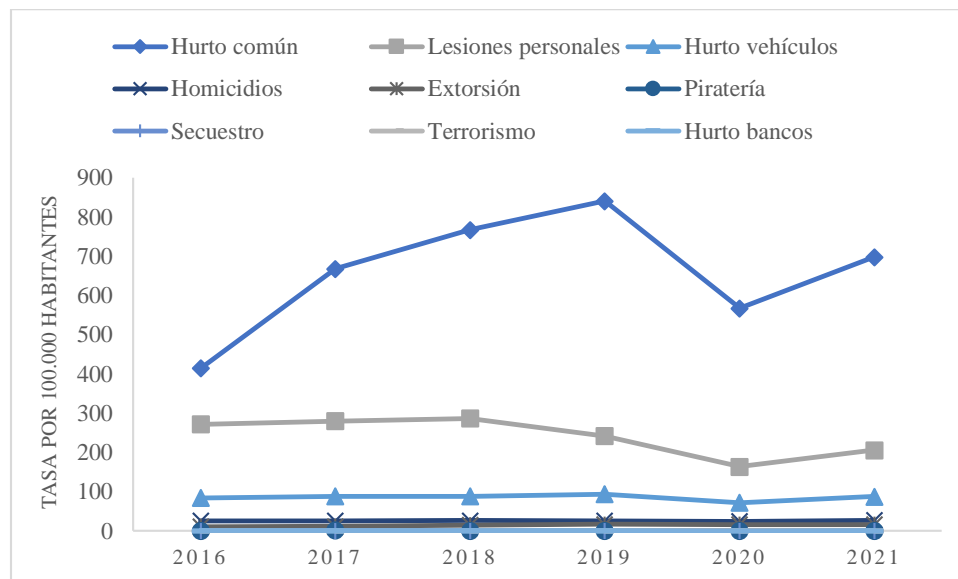
En las décadas siguientes, a pesar de la desaparición de algunos grupos armados ilegales y la lucha contra el narcotráfico, la dinámica de la violencia ha persistido en varias regiones colombianas. Nuevos actores han emergido, manteniendo una presencia significativa en actividades criminales, como el narcotráfico, el control territorial y otras formas de delincuencia organizada. Estos factores han contribuido a mantener altos índices de violencia en el país. Entre 2016 y 2021, la tasa de homicidios promedio fue de 26 por cada 100,000 habitantes, mientras que delitos como el hurto común, las lesiones personales, el hurto de vehículos y las extorsiones han presentado tasas cercanas a los 659, 242, 86 y 14 por cada 100,000 habitantes, respectivamente en el periodo en cuestión.

En la figura 3.3 se puede observar que el comportamiento de los delitos de alto impacto en el país ha sido relativamente estable entre los años analizados. En el caso del hurto común, que comprende los hurtos a personas, a comercio y a residencias, registró su máximo en el 2019, al igual que el hurto de vehículos (hurto de automotores y motocicletas). Por su parte, el hurto a bancos y las lesiones personales tuvieron sus picos en 2018. En cuanto a los homicidios, se registró un aumento en 2021, siendo este el año con el valor más alto en el periodo analizado.

Es importante señalar que en 2020 la mayoría de los delitos, a excepción del terrorismo, el secuestro, y en menor medida la extorsión, tuvieron descensos en sus tasas (25% en promedio). Esto se debió al impacto significativo, aunque corto, que tuvo la pandemia del COVID-19 en las tendencias delictivas del país (UNODC, 2023). La mayor reducción se evidenció en los hurtos comunes que pasaron de 840 a 567 por cada 100,000 habitantes entre 2019 y 2020. Entre tanto,

los homicidios registraron una disminución de 6% entre 2019 y 2020 para volver a incrementarse en 2021 en un 13%. De acuerdo con UNODC (2023), una dinámica de violencia visible durante la pandemia de COVID-19 en Colombia fue un aumento en los homicidios de líderes sociales y grupos vulnerables en 2020, posiblemente porque los recursos policiales y el acceso al apoyo fueron limitados durante la pandemia. En este año, 2020, el departamento de Antioquia, a pesar de representar la mayor parte de la disminución de homicidios en el país, continuó viendo operaciones activas por parte de varios grupos criminales, lo que refleja los esfuerzos de estos grupos por mantener el control y el dominio incluso durante la pandemia (UNODC, 2023).

Figura 3.3. Tasas delictivas en Colombia, 2016-2021



Fuente: Elaboración propia con estadísticas delictivas de la Policía Nacional de Colombia.

Al igual que en las décadas anteriores, la dinámica criminal se sigue distribuyendo de forma no uniforme en el país. En el transcurso del 2021, se evidenció una disparidad notable en los tipos de delitos predominantes en distintas regiones de Colombia. Los registros muestran que los homicidios y los secuestros se concentraron principalmente en la región Pacífica, situada al occidente del país. Por otro lado, el hurto común tuvo una mayor incidencia en la región Andina, mientras que el hurto de vehículos predominó tanto en departamentos específicos de la región Caribe, como en algunos de la región Pacífica. Las lesiones personales, por su parte, fueron más frecuentes en la región Andina del país, al igual que la piratería, la cual también tuvo incidencia

en el pacífico colombiano y en ciertos departamentos del Caribe. La extorsión se manifestó principalmente en el occidente y centro de Colombia. En tanto que, el hurto a bancos tuvo una mayor incidencia en el norte del país.

3.3. Metodología

Tradicionalmente, el análisis económico ha tendido a enfocarse más en el tiempo que en el espacio como una dimensión crucial, relegando la importancia de este último. Sin embargo, con el resurgimiento del interés por la ciencia regional, ha emergido un nuevo campo teórico que busca reevaluar y valorar el papel del espacio en el análisis económico. Este enfoque, denominado la "Nueva Geografía Económica", se centra en el papel de los rendimientos crecientes a escala, las fuerzas centrípetas y centrífugas, en un contexto de causación circular acumulativa (Pérez, 2006).

Paralelamente al interés renovado por estos temas, se dio también un amplio desarrollo de técnicas y métodos de medición, en este contexto surgen metodologías como la econometría espacial (Pérez, 2006). De acuerdo con Anselin (1988), la econometría espacial es un subconjunto de métodos econométricos relacionados con aspectos espaciales presentes en observaciones transversales y espacio-temporales. La característica principal de la econometría espacial es cómo los efectos espaciales son tomados en cuenta. Estos efectos son: la dependencia y la heterogeneidad espacial. La heterogeneidad espacial aparece cuando se utilizan datos de unidades espaciales diferentes para explicar un mismo fenómeno. Mientras que la dependencia espacial o autocorrelación espacial surge cuando el valor de una variable en un lugar está relacionado con su valor en otros lugares (Moreno y Vayá, 2000).

En la presente sección se exponen las técnicas de econometría espacial para abordar el fenómeno de la criminalidad. Se muestran los dos tipos de análisis de datos espaciales: el análisis exploratorio, para detectar si la distribución espacial de una variable presenta asociación espacial, y el confirmatorio, para el tratamiento de la dependencia y heterogeneidad espacial cuando estos efectos están presentes en un modelo de regresión (Moreno y Vayá, 2000).

3.3.1. Análisis exploratorio de datos espaciales

Aunque el análisis exploratorio de datos (AED) se utiliza ampliamente para estudiar patrones y asociaciones en los datos, ninguna de sus herramientas puede emplearse para tratar con datos

espaciales, ya que pasan por alto los efectos espaciales de dependencia y heterogeneidad espacial (Moreno y Vaya, 2000). En su lugar, el análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE) se centra en forma explícita en los aspectos espaciales de los datos, en el sentido de dependencia espacial y heterogeneidad espacial (Anselin, 1996). La dependencia espacial, a menudo denominada autocorrelación espacial, resulta directamente de la Primera Ley de la Geografía o Ley de Tobler: todo está relacionado con todo lo demás, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las cosas distantes (Anselin, 1996). Este fenómeno entra en conflicto con el supuesto habitual de observaciones independientes entre observaciones, ya sean unidades de corte transversal o series temporales (Anselin, 1996; Moreno y Vayá, 2000). La dependencia espacial se manifiesta como un patrón en el que los valores de una variable en un lugar específico se ven afectados por los valores de esa misma variable en lugares cercanos. Mientras que, la heterogeneidad espacial, está relacionada con la diferenciación espacial que se deriva de la unicidad intrínseca de cada ubicación (Anselin, 1996). Este segundo efecto, puede manejarse utilizando técnicas basadas en la econometría clásica que se usan para tratar la heterocedasticidad e inestabilidad estructural, por lo que no se le dedica mucha atención en la econometría espacial (Pérez, 2006)

De acuerdo con Anselin (1996), las técnicas de AEDE deberían apuntar a describir distribuciones espaciales, descubrir patrones de asociación espacial (clúster espacial), sugerir diferentes regímenes espaciales u otras formas de inestabilidad espacial (no estacionariedad) e identificar observaciones atípicas. Respecto a esto, Anselin (1996) presenta una taxonomía de las diferentes técnicas del análisis exploratorio de datos espaciales. Por un lado, distingue entre indicadores globales y locales, y por el otro, entre estadísticos basados en la vecindad y la distancia: perspectiva Lattice y perspectiva geoestadística (Moreno y Vayá, 2000).

En esta sección, se explorarán las técnicas del AEDE del primer grupo; es decir, los indicadores globales y locales de asociación espacial. Los primeros “suelen utilizarse para conocer el rango de interacción espacial en los datos” (Moreno y Vayá, 2000, p. 30). Dentro de estos indicadores se encuentran el I de Moran o la C de Geary, los cuales indican la presencia o ausencia de un patrón estable de dependencia espacial. En cuanto a los segundos indicadores, se muestran los indicadores locales LISA. Anselin (1995) menciona que un indicador LISA (*Local Indicator of Spatial Association*) es cualquier estadístico que satisfaga los dos requisitos siguientes: a) el LISA para

cada observación da una indicación del alcance de la agrupación espacial significativa de valores similares alrededor de esa observación; y, b) la suma de LISA para todas las observaciones es proporcional a un indicador global de asociación espacial (Moran, 1995). Moreno y Vaya (2000) señalan que no todos los estadísticos LISA propuestos cumplen ambos requisitos. Además, sugieren que la superposición de mapas con los resultados de varios Indicadores LISA de distintas variables puede indicar qué tipos de variables podrían ser pertinentes para incluir en un modelo de regresión espacial (Moreno y Vaya, 2000).

3.3.1.1 *Matriz de pesos espaciales*

La dependencia espacial, o autocorrelación espacial, comparte similitudes con la autocorrelación temporal observada en series de tiempo. Sin embargo, en las series temporales, este fenómeno es unidireccional, donde el pasado explica el presente, mientras que en la dependencia espacial, el problema es multidireccional, lo que implica que todas las regiones pueden influenciarse mutuamente (Moreno y Vayá, 2000; Formisano, 2002). Esta característica multidireccional de la dependencia espacial requiere el uso de la matriz de pesos espaciales, o de retardos, representada como W (Moreno y Vayá, 2000; Formisano, 2002):

$$W = \begin{bmatrix} 0 & w_{12} & \cdot & w_{1N} \\ w_{21} & 0 & \cdot & w_{2N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_{N1} & w_{N2} & \cdot & 0 \end{bmatrix}$$

La matriz W es utilizada para describir la disposición espacial de las unidades geográficas de la muestra (Elhorst, 2014). Es generalmente simétrica, no estocástica, de dimensión $n \times n$ y con diagonal compuesta por ceros. Sus elementos w_{ij} , representan la intensidad de la interdependencia existente entre cada par de regiones i y j (Moreno y Vayá, 2000). Si bien, los valores que toma la matriz dependen del criterio de vecindad que se utilice, de forma habitual se recurre a la definición de contigüidad propuesta por Moran (1948) y Geary (1954), donde w_{ij} toma el valor de 1 si dos unidades espaciales comparten un borde de longitud distinta de cero, o toma el valor de cero en caso contrario (Anselin, 1988).

Como señala Anselin (1988), cuando las unidades espaciales se refieren a una cuadrícula regular o a una colección de puntos arreglados irregularmente, la determinación de la contigüidad no es

única. Anselin (1988) propone un procedimiento para identificar regiones vecinas, las cuales se asemejan a un juego de ajedrez (Quintana y Mendoza, 2022). De acuerdo con Anselin, existen tres tipos de vecindades: vecindad tipo torre, vecindad tipo alfil y vecindad tipo reina, todas denominadas contigüidades de primer orden. Bajo el criterio de la torre, las regiones vecinas de i comparten algún lado con i ; bajo el criterio del alfil las regiones vecinas de i comparten algún vértice con i ; y finalmente, bajo el criterio de la reina, las regiones vecinas de i comparten algún lado o vértice con i (Moreno y Vayá, 2000). Anselin (1988) también propone que en el caso de que no pueda aplicarse la vecindad por contigüidad cuando los objetos espaciales sean puntos o líneas, se utilice la distancia para definir vecindad entre unidades territoriales (Quintana y Mendoza, 2022).

3.3.1.2 Índice de Moran

Una de las medidas más utilizadas para evaluar autocorrelación espacial es el índice de Moran. Este indicador se basa en el coeficiente de correlación de Pearson, pero a diferencia de este, incorpora la ubicación geográfica de las observaciones mediante una matriz de pesos espaciales W (Álvarez y González, 2012), tal como se muestra a continuación:

$$I = \frac{N \sum_{i,j} w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^* \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad i \neq j \quad (3.1)$$

Donde x_i es el valor de la variable x en la región i , \bar{x} es su media muestral, w_{ij} son los pesos de la matriz W (definida anteriormente), N es el tamaño muestral y $S^* = \sum_i \sum_j w_{ij}$ (Moreno y Vayá, 2000).

Es importante destacar que el índice de Moran es de naturaleza global, ya que proporciona un resumen de la autocorrelación espacial de los elementos estudiados, en nuestro caso, de los departamentos. Este índice se emplea para contrastar la hipótesis de distribución aleatoria de una variable en el espacio versus la existencia de asociación entre valores similares o disímiles en departamentos vecinos (Moreno y Vayá, 2000).

El índice de Moran estandarizado sigue una distribución asintótica normal para tamaños muestrales grandes (Moreno y Vayá, 2000):

$$Z(I) = \frac{I - E(I)}{\sqrt{[V(I)]}} \quad (3.2)$$

Donde $E(I)$ es la esperanza de I , y $V(I)$ es su varianza. Un valor no significativo de $Z(I)$ indica que no se rechaza la hipótesis nula de no autocorrelación espacial. Por otro lado, un valor significativo y positivo (negativo) de $Z(I)$ señala la presencia de autocorrelación espacial positiva (negativa), lo que sugiere la concentración de valores similares (disímiles) de x entre departamentos (Moreno y Vayá, 2000).

De esta relación se construye el diagrama de dispersión de Moran, el cual relaciona en el eje horizontal, los valores de la variable en cada ubicación contra la media ponderada de la variable en las áreas vecinas para cada ubicación (eje vertical). En este gráfico, los puntos se distribuyen en cuatro cuadrantes que representan diferentes patrones espaciales. Cuando los puntos se concentran en el cuadrante superior derecho del gráfico, sugiere una autocorrelación positiva, indicando que áreas con valores altos tienden a estar cercanas a áreas con valores altos y viceversa. Por otro lado, una distribución en el cuadrante superior izquierdo señala una autocorrelación negativa, donde valores altos están rodeados por valores bajos y viceversa. La dispersión uniforme de puntos indica una distribución aleatoria de los valores en el espacio, lo que sugiere una falta de patrón espacial discernible. La pendiente de la línea de regresión en el gráfico proporciona información sobre la intensidad de la autocorrelación, mientras que la presencia de valores atípicos (*outliers*) puede señalar áreas con patrones únicos (Anselin, 1996).

3.3.1.3 *Indicador Local de Asociación Espacial (LISA)*

Si bien el índice de Moran evalúa la relación espacial entre unidades vecinas en función de una variable específica, su capacidad se limita a identificar patrones generales en lugar de patrones específicos. Este índice solo cuantifica la autocorrelación espacial promedio, por lo que, no considera la posibilidad de que el patrón de dependencia detectado a nivel global no se mantenga consistente en todas las unidades del espacio analizado (Moreno y Vayá, 2000).

Para abordar la disposición específica de patrones alrededor del vecindario de cada unidad espacial, se recurre a los Indicadores Locales de Asociación Espacial (LISA). Estos permiten descomponer indicadores globales como el I de Moran en la contribución de cada observación individual (Anselin, 1995). Esto resulta en un estadístico para cada región de la muestra, lo que

posibilita examinar la situación de cada unidad espacial de manera individualizada (Moreno y Vayá, 2000). Entre los denominados contrastes locales de asociación espacial se encuentra el estadístico de Moran I_i , cuya expresión es la siguiente:

$$I_i = \frac{z_i}{\sum_i z_i^2 / n} \sum_{j \in J_i} w_{ij} z_j \quad (3.3)$$

Donde z_i es el valor correspondiente a la región i de la variable normalizada y J_i el conjunto de regiones vecinas a i (Moreno y Vayá, 2000). Un valor positivo (negativo) y significativo de I_i indicará la existencia de un clúster de valores similares (disímiles) de la variable analizada alrededor de la región i (Moreno y Vayá, 2000; Quintana y Mendoza, 2022). De acuerdo con Anselin (1995), estos clústeres espaciales locales, comúnmente llamados *hot spots*, pueden manifestarse como ubicaciones o conjuntos de ubicaciones contiguas donde los resultados de LISA son estadísticamente significativos. Dichos *hot spots* señalan áreas donde se concentran valores altos de la variable en una ubicación espacial i y sus regiones adyacentes, representando el clúster Alto-Alto. Además se pueden encontrar valores bajos en la región i rodeados de valores bajos, conformando clústeres Bajo-Bajo. También son posibles combinaciones de valores altos y bajos, como los clústeres Alto-Bajo y Bajo-Alto.

3.3.1.4 Análisis confirmatorio de datos espaciales

En el apartado anterior se examinaron los métodos estadísticos espaciales utilizados para analizar la dependencia espacial en un nivel univariante. No obstante, es fundamental tener en cuenta que esta dependencia espacial puede también manifestarse al construir modelos de regresión (Moreno y Vayá, 2000). Esto puede suceder debido a posibles correlaciones espaciales entre las variables, ya sean exógenas o endógenas, o a un patrón de dependencia espacial en el término de error del modelo (Moreno y Vayá, 2000). En cualquier caso, resulta esencial emplear la matriz de pesos espaciales W para incorporar la autocorrelación espacial en un modelo de regresión (Moreno y Vayá, 2000), ya sea a través de Wy (retardo espacial de y), Wx (retardo espacial de x), o $W\varepsilon$ (retardo espacial de ε). Estas matizaciones están detrás de la elección del tipo de modelo espacial a especificar que resulte más adecuado para tratar con los efectos espaciales detectados, cuyas variantes más usuales son: el modelo de error espacial (si la dependencia espacial es residual) y el modelo de rezago espacial (si la dependencia espacial es sustantiva) (Pérez, 2006).

La dependencia espacial es sustantiva cuando, al omitir de forma errónea un retardo espacial de la variable endógena (o exógena), la dependencia espacial se traslada al término de error. Por el contrario, cuando la dependencia espacial residual no se debe a la omisión errónea de un retardo de la variable endógena y/o exógenas, nos encontramos frente a un escenario de autocorrelación espacial residual como *nuisance* o perturbación (Moreno y Vayá, 2000). La solución en el primer caso es la inclusión en el modelo de un retardo espacial de la variable sistemática correlacionada espacialmente. En el segundo caso, la solución es la inclusión de un retardo espacial del término de error (Moreno y Vayá, 2000).

Así, cuando la variable endógena de un modelo de regresión lineal está correlacionada espacialmente, el modelo se especificará de la siguiente manera:

$$y = \rho W y + X \beta + \varepsilon \quad (3.4)$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I)$$

Donde y es un vector ($N \times 1$), $W y$ el retardo espacial de la variable y , X una matriz de k variables exógenas, ε un término de perturbación ruido blanco, N el número de observaciones, ρ el parámetro autorregresivo que recoge la intensidad de las observaciones muestrales, y β un vector ($K \times 1$) asociado a la variable exógena. Esta especificación se corresponde con el modelo de rezago espacial. Por otro lado, la autocorrelación espacial podría estar únicamente presente en el término de perturbación:

$$y = X \beta + u$$

$$u = \lambda W u + \varepsilon \quad (3.5)$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I)$$

Donde ε es un término ruido blanco y λ el parámetro autorregresivo que refleja la intensidad de las interdependencias (Moreno y Vayá, 2000). Esta especificación corresponde al modelo de error espacial.

De acuerdo con Moreno y Vayá (2000), a partir de las anteriores especificaciones se puede llegar a la expresión general más común denominado modelo mixto regresivo espacial-regresivo con perturbaciones autorregresivas y heterocedásticas:

$$\begin{aligned}
y &= \rho W_1 y + X\beta_1 + \beta_2 W_2 X + u \\
u &= \lambda W_3 u + \varepsilon \\
\varepsilon &\sim N(0, \Omega); \Omega_{ii} = h_i(z\alpha)h_i > 0
\end{aligned}
\tag{3.6}$$

Donde y es un vector ($N \times 1$), X una matriz de ($N \times K_1$) de variables exógenas, X la matriz ($N \times K_2$) de variables exógenas que son retardadas espacialmente, ρ es el coeficiente de la variable endógena retardada espacialmente, λ el coeficiente en la estructura autorregresiva espacial de u , β_1 y β_2 los vectores de dimensiones ($K_1 \times 1$) y ($K_2 \times 1$) asociados a las variables exógenas y endógenas retardadas, respectivamente, y α el vector $P \times 1$ asociado con los términos no constantes de z . En esta especificación, la perturbación ε se asume normalmente distribuida, con una matriz de varianzas y covarianzas diagonal, pero heterocedástica (Moreno y Vayá, 2000). Cabe resaltar que en esta especificación general se pueden incluir matrices de pesos espaciales distintas ($W_1 \neq W_2 \neq W_3$) (Quintana y Mendoza, 2022).

Al aplicar las restricciones $\rho = 0$, $\lambda = 0$, $\alpha = 0$, ($P + 2$ restricciones) a la especificación general, se obtiene, $y = X\beta + \varepsilon$, el modelo clásico de regresión lineal sin efectos espaciales. Si se aplican las restricciones $\rho \neq 0$, $\lambda = 0$, $\alpha = 0$ ($P+1$ restricciones) se obtiene la especificación más conocida dentro de los modelos espaciales: el modelo de rezago espacial. Mientras que si se aplican las restricciones $\rho = 0$, $\lambda \neq 0$, $\alpha = 0$ ($P+1$ restricciones) se obtiene el modelo de error espacial. Por su parte, el modelo Durbin espacial es obtenido mediante las restricciones $\rho \neq 0$, $\lambda = 0$, $\alpha \neq 0$ (Quintana y Mendoza, 2022). Este modelo incluye la dependencia espacial en las variables exógenas y es visto como una extensión del modelo de rezago espacial:

$$\begin{aligned}
y &= \rho W_1 y + X\beta_1 + \beta_2 W_2 X + u \\
u &= \varepsilon
\end{aligned}
\tag{3.7}$$

Por último, al aplicar las restricciones $\rho \neq 0$, $\lambda \neq 0$, $\alpha = 0$ se obtiene el modelo mixto de rezago y errores espaciales (SARAR), el cual se muestra en la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
y &= \rho W_1 y + X\beta_1 + u \\
u &= \lambda W_3 u + \varepsilon
\end{aligned}
\tag{3.8}$$

Ahora bien, la dependencia espacial viola el supuesto tradicional de Gauss-Markov de que las variables explicativas son fijas en un muestreo repetitivo, y por tanto, ni estas ni sus residuos siguen

una distribución normal e independiente (LeSage, 1998; Pérez, 2006). Bajo la presencia de este efecto espacial, la estimación de los parámetros a través de Mínimos Cuadrados Ordinarios, deja de ser apropiada. Por ejemplo, en un modelo de rezago espacial no se puede demostrar que $E[\hat{\rho}] = \rho$, es decir, no se puede probar la insesgadez del parámetro, pues en este caso no se puede asumir que W sea fijo en el muestreo repetitivo y que $E[\varepsilon] = 0$ (LeSage, 1998). Debido a esto, otros métodos como el de máxima verosimilitud y el de variables instrumentales son considerados (Anselin, 1988). Por un lado, los estimadores de máxima verosimilitud se obtienen a partir de la maximización del logaritmo de la función de verosimilitud asociada al modelo espacial especificado (Moreno y Vayá, 2000), en tanto que, el método de variables instrumentales consiste en eliminar la correlación entre la variable endógena rezagada espacialmente y el término de error, a través de la introducción de una (o varias) variable(s) aproximada(s) a la variable endógena original y correlacionada con esta pero no con las perturbaciones (Pérez, 2006). Este último método se presenta como una alternativa al método de máxima verosimilitud, pero su utilización genera estimadores no eficientes (Pérez, 2006).

Hasta ahora, se ha introducido una taxonomía de modelos de regresión lineal espacial para datos de corte transversal. Al incorporar la dimensión temporal se incrementa la complejidad de las cuestiones que pueden tenerse en cuenta en la especificación de modelos econométricos espaciales (Anselin, 1988). Esta es la situación de los datos combinados de secciones transversales y series temporales. Este marco se aplica para tener en cuenta patrones de dependencia y heterogeneidad transversal (Anselin, 1988).

Usualmente se parte de un modelo de regresión simple (modelo pool) con k variables exógenas X_{it} :

$$y_{it} = X_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad i = 1,2,3, \dots, N \quad t = 1,2,3, \dots, T \quad (3.9)$$

Donde X_{it} es un vector fila de observaciones para la región i en el tiempo t y ε_{it} un término de error. Dado que el modelo de regresión lineal se estima comúnmente mediante mínimos cuadrados ordinarios (MCO), a menudo se le denomina modelo MCO o modelo pool. Además, aunque en la mayoría de los estudios centrados en los efectos de la interacción espacial se rechaza el modelo MCO en favor de un modelo más general, sus resultados suelen servir como punto de referencia.

Es importante mencionar que este modelo no controla por la heterogeneidad: (1) efectos individuales invariantes temporalmente y (2) efectos temporales comunes a todos los individuos. Estos efectos pueden ser tratados como fijos o aleatorios.

Por una parte, los efectos fijos se utilizan para modelar las características específicas de cada región que no cambian con el tiempo. En un modelo de regresión con efectos fijos, la idea es que cada individuo tiene un efecto específico constante que afecta su nivel base en la variable endógena, independientemente de las variables exógenas. El modelo puede expresarse de la siguiente manera:

$$y_{it} = \alpha_i + X_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad (3.10)$$

Donde α_i son los efectos fijos específicos para la región i en el tiempo t . Al incluir α_i se puede controlar las características inobservables y evitar el sesgo de variables omitidas. Dicho efecto inobservable desaparece de la ecuación 3.10, debido a la transformación intragrupal (Wooldridge, 2009) donde se resta la media del individuo i de cada observación. Es importante tener en cuenta que esta transformación solo es válida bajo ciertas suposiciones, como que los efectos individuales α_i son constantes en el tiempo y están correlacionados con las variables explicativas. Si estas suposiciones no se cumplen, se deben considerar otros modelos, como el modelo de efectos aleatorios.

La especificación del modelo de efectos aleatorios es similar a la del modelo de efectos fijos, pero con una diferencia clave en cómo se manejan los efectos individuales. La ecuación del modelo es la siguiente:

$$y_{it} = \mu_i + X_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad (3.11)$$

$$v_{it} = \mu_{it} + \varepsilon_{it}$$

Donde μ_i es el efecto aleatorio, el cual pasa a ser parte del término de error, y que se supone que es constante en el tiempo y no está correlacionado con las variables explicativas, ya que uno de los supuestos es que los errores no deben estar correlacionados con las variables explicativas.

Ahora bien, si se incorporan al mismo tiempo la dependencia y la heterogeneidad espacial, los modelos de panel adquieren una nueva dimensión. Un modelo panel de rezago espacial con efectos fijos o aleatorios sería el siguiente de acuerdo con Quintana y Mendoza (2022):

$$y_{it} = \mu_i + \rho(I_T \otimes W_N)y_{it} + \beta X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3.12)$$

Donde I_T es una matriz identidad de tamaño T , \otimes producto Kronecker, ρ el coeficiente es el coeficiente autorregresivo espacial y $\varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$. En términos analíticos $(I_T \otimes W_N)$ “mide la dependencia espacial entre los i sitios para cada momento del tiempo en el periodo de análisis definido T ” (Quintana y Mendoza, 2022, p.156). Para llegar a la forma reducida de la ecuación 3.12, se procede a aislar y_{it} :

$$\begin{aligned} (I_T - \rho(I_T \otimes W_N))y_{it} &= \mu_i + \beta X_{it} + \varepsilon_{it} \\ y_{it} &= (I_{NT} - \rho(I_T \otimes W_N))^{-1} (\mu_i + \beta X_{it} + \varepsilon_{it}) \end{aligned} \quad (3.13)$$

Es importante resaltar que, ρ debe tomar valores entre -1 y 1 para que el modelo cumpla con tener equilibrios espaciales (Quintana y Mendoza, 2022). Cuando los valores están cercanos a -1 indica una autocorrelación espacial negativa, mientras que un valor cercano a 1 sugiere autocorrelación espacial positiva. La significancia estadística de ρ junto a la significancia del parámetro β , y la presencia de efectos fijos o aleatorios μ_i (Quintana y Mendoza, 2022) refuerzan la validez del enfoque de rezago espacial en el análisis.

En el caso del modelo panel de error espacial con efectos fijos o aleatorios, la estructura es la siguiente:

$$\begin{aligned} y_{it} &= \mu_i + \beta X_{it} + \varepsilon_{it} \\ \varepsilon_{it} &= \lambda(I_T \otimes W_N)\varepsilon_{it} + u_{it} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Para obtener la forma reducida de la ecuación anterior se procede a resolver ε_{it} y luego sustituirlo en la primera ecuación,

$$\begin{aligned} \varepsilon_{it} &= (I_{NT} - \lambda(I_T \otimes W_N))^{-1}u_{it} \\ y_{it} &= \mu_i + \beta X_{it} + (I_{NT} - \lambda(I_T \otimes W_N))^{-1}u_{it} \end{aligned} \quad (3.15)$$

En este modelo, la interacción espacial se captura mediante la especificación espacial autorregresiva del término de error $\lambda(I_T \otimes W_N)\varepsilon_{it}$. Los choques aleatorios u_{it} pueden afectar a la variable endógena si λ es significativa y se encuentra entre -1 y 1 (Quintana y Mendoza, 2022).

Al combinar la estructura de rezago y error espacial, se obtiene el modelo panel mixto de rezago y error espacial con efectos fijos o aleatorios, el cual toma la siguiente forma;

$$\begin{aligned} y_{it} &= \mu_i + \rho(I_T \otimes W_N)y_{it} + \beta X_{it} + \varepsilon_{it} \\ \varepsilon_{it} &= \lambda(I_T \otimes W_N)\varepsilon_{it} + u_{it} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Para obtener su forma reducida, se procede a factorizar y despejar y_{it} :

$$\begin{aligned} y_{it}(I_{NT} - \rho(I_T \otimes W_N)) &= \mu_i + \beta X_{it} + (I_{NT} - \lambda(I_T \otimes W_N))^{-1}u_{it} \\ y_{it} &= (I_{NT} - \rho(I_T \otimes W_N))^{-1}(\mu_i + \beta X_{it} + (I_{NT} - \lambda(I_T \otimes W_N))^{-1}u_{it}) \end{aligned} \quad (3.17)$$

Los choques aleatorios u_{it} “afectan a la variable endógena de acuerdo a las estructuras de polinomios que definen los efectos a los vecinos en la parte de rezago y error espacial, si los parámetros rho (ρ) y lambda (λ) son significativos y numéricamente entre -1 y 1” (Quintana y Mendoza, 2022, p.157).

Por último, se incluye un modelo panel Durbin espacial, el cual tiene en cuenta el efecto de derrame espacial incorporando términos de rezago espacial para variables exógenas y endógenas. La estructura del modelo es la siguiente:

$$y_{it} = \mu_i + \rho(I_T \otimes W_N)y_{it} + \beta X_{it} + (I_T \otimes W_N)X_{it}\theta + \varepsilon_{it} \quad (3.18)$$

Utilizando los mismos pasos que en las ecuaciones anteriores y factorizando X_{it} , se obtiene la siguiente forma reducida:

$$y_{it} = (I_{NT} - \rho(I_T \otimes W_N))^{-1}(\mu_i + (I_{NT}\beta + (I_T \otimes W_N)\theta)X_{it} + \varepsilon_{it}) \quad (3.19)$$

El parámetro β captura el efecto de las variables exógenas X_{it} en y_{it} , mientras que θ representa la influencia que las variables exógenas de las observaciones vecinas tienen sobre la variable endógena de una observación dada. Y, ρ es el parámetro de autocorrelación espacial, que captura la dependencia espacial.

3.3.1.4.1 Efectos directos, indirectos y totales

Los coeficientes β son la forma tradicional de interpretar la influencia de una variable exógena sobre una variable endógena, son válidos cuando se aplican a modelos sin rezagos espaciales de

variables. Sin embargo, en los modelos con un rezago espacial (SAR, SARAR, SDM) para interpretar completamente el impacto de los cambios, tanto en las ubicaciones analizadas como en los vecindarios, los impactos directos e indirectos deben calcularse e interpretarse como coeficientes del modelo. Esto se debe a que el bucle de retroalimentación aparece cuando y se aplica en ambos lados de la ecuación, como y en el lado izquierdo y $\rho W y$ en el lado derecho (Kopczewska1 *et al.*, 2017).

El impacto directo se considera un impacto del cambio de x en la ubicación i sobre el cambio de y en la ubicación i . El efecto indirecto (efecto de derrama o *spillover*) es un impacto del cambio de x en la ubicación i sobre el cambio de y en la ubicación j ($i \neq j$). En modelos con un rezago espacial de y ($\rho W y$), el impacto directo es la suma total de los elementos diagonales de la matriz de derivadas parciales $S_r(W)$ dividida por N , calculada para una variable determinada, y el impacto total es la suma total de todos elementos de esta matriz divididos por N . El impacto indirecto se basa en elementos fuera de la diagonal y se calcula como la diferencia entre el impacto total y el directo. Así, en los modelos de paneles espaciales con rezagos espaciales, las β tradicionales son sólo un paso intermedio necesario para seleccionar el mejor modelo. La interpretación final de la influencia de las variables exógenas sobre la endógena se procesa en función de los impactos (Kopczewska1 *et al.*, 2017).

Partiendo de la forma reducida del modelo panel de rezago espacial, las medidas de impacto de la variable exógena r se derivan de la siguiente expresión, de acuerdo con Piras (2013):

$$S_r(W) = (I_{NT} - \rho W)^{-1} I_{NT} \beta_r$$

$$ED = \frac{tr(S_r(W))}{NT}$$

$$ET = \frac{R'_{NT}(S_r(W))R_{NT}}{NT}$$

$$EI = ET - ED$$

Donde con $W = (I_T \otimes W_N)$, $tr(S_r(W))$, indica la traza de $S_r(W)$ y R_{NT} es una matriz de unos.

3.4. Variables y fuentes de información

En este capítulo, se emplean datos a nivel departamental correspondientes al periodo comprendido entre 2016 y 2021 en Colombia. Estos datos abarcan variables socioeconómicas y criminológicas para las cuales se dispone de información en el país. Entre las variables consideradas se incluyen el PIB per cápita, los años de escolaridad, la incidencia de la pobreza monetaria extrema, la cantidad de hombres entre 15 y 25 años, la densidad poblacional y la tasa de condenados. Estas variables se introducen en el análisis como variables exógenas, respaldadas por la revisión de la literatura presentada en el capítulo anterior, que resalta su relevancia como determinantes del fenómeno criminal.

Para abordar la medición del fenómeno criminal, se han incorporado dos tipos de indicadores como variables endógenas: un índice de criminalidad compuesto por nueve categorías de delitos y la tasa de homicidios. Cada uno de estos indicadores ofrece una perspectiva única sobre el problema en cuestión. La tasa de homicidios, por un lado, es ampliamente reconocida en la literatura como un indicador clave del crimen, pues representa el acto más extremo y grave de violencia interpersonal. Además, se registra con mayor precisión y frecuencia en comparación con otros delitos, ya que tiende a ser reportada de manera más consistente y completa (Álvarez y González, 2012). Por otro lado, se propone la creación de un índice de criminalidad que englobe una mayor diversidad de delitos, lo que permitirá una comprensión más holística de la naturaleza del crimen en cada departamento.

Las variables tanto endógenas como exógenas provienen de distintas fuentes. El PIB per cápita se extrae de las cuentas departamentales del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). La escolaridad, que corresponde a los años promedio de educación de las personas de 15 años y más, se recopila de los cálculos realizados por el Ministerio de Educación Nacional con base en la Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH). A partir de esta misma encuesta, se obtiene la incidencia de la pobreza extrema, el cual es publicado por el DANE. Asimismo, la cantidad de hombres entre 15 y 25 años, y la densidad poblacional son calculadas a partir de las retroproyecciones y proyecciones de población departamentales 2005-2050 con base en el Censo Nacional de Población y Vivienda 2018, realizado por el DANE. Por su parte, la cantidad de los delitos requeridos para la construcción del índice de criminalidad (incluidos los homicidios) son

extraídos de las estadísticas delictivas de la Policía Nacional. Por último, la tasa de condenados es calculada a partir de los registros suministrados por el Instituto Nacional Penitenciario y Carcelario de Colombia (INPEC). Debido a que la mayoría de las variables se encuentran disponibles para 24 de los 32 departamentos de Colombia, solo se incluirán aquellos departamentos para los que hay información disponible en las variables mencionadas. Por lo tanto, resultará un conjunto de datos conformado por 24 departamentos cada uno con observaciones en 8 variables para el periodo en cuestión (2016-2021).

3.5. Análisis exploratorio de datos espaciales

3.5.1. Estadísticas básicas de indicadores

3.5.1.1 Variables endógenas

3.5.1.1.1 Índice de criminalidad

El análisis incorpora como variable endógena el índice de criminalidad, el cual se construye a partir de las estadísticas delictivas de la Policía Nacional de Colombia. Estas estadísticas abarcan una amplia gama de delitos, desde homicidios hasta piratería, todos considerados de alto impacto en el país debido a su gravedad y consecuencias en la sociedad. A pesar de la singularidad en las dinámicas y los factores que pueden influir en cada delito, esta investigación aboga por emplear un índice para capturar las tendencias generales y las interrelaciones entre los distintos tipos de delitos. Esto proporciona una visión más integral y comprensiva de la compleja realidad delictiva en el país.

Para la construcción de dicho índice, se emplea la metodología propuesta por Quintero *et al.*, (2008), quienes calculan tres índices de criminalidad de forma agregada para Colombia. Sin embargo, en este estudio, se propone desarrollar un índice de criminalidad desagregado para los departamentos de Colombia durante el periodo 2016 – 2021.

Es importante destacar que el análisis se limita a estos años debido a dos cambios metodológicos significativos en el Sistema de Información Estadístico, Delincuencial, Contravencional y Operativo (SIEDCO) de la Policía Nacional, lo que dificulta la comparación de cifras con años anteriores a 2016 (Rodríguez *et al.*, 2018). Los cambios surgen con la integración al SIEDCO de registros administrativos de denuncias del Sistema Penal Oral Acusatorio (SPOA) de la fiscalía

general de la nación y la implementación de “¡ADenunciar!”, un aplicativo que permite interponer denuncias a través de internet (Rodríguez *et al.*, 2018). A raíz de estos cambios, se presenta un aumento en las cifras de criminalidad, lo que es “producto de la integración de información y no necesariamente de aumentos en la criminalidad” (Ibídem, p. 1). Aunque esta integración se planeaba desde el año 2012, el proceso se inició en 2017 con retroactivo hasta 2016 según estos autores. Es por esto que, para efectos del análisis se construye un índice departamental que abarque años posteriores a la integración de los registros de la Policía y la Fiscalía.

Los índices de criminalidad que calculan Quintero *et al.*, (2008) incorporan las cifras de doce tipos de delitos: homicidio, hurto a personas, hurto a residencias, hurto a comercio, hurto a bancos, hurto de automotores, hurto de motocicletas, extorsión, secuestro, terrorismo, lesiones personales y piratería. Los hurtos a personas, hurtos a residencias y hurtos a comercio los agrupan en una nueva variable llamada hurto común, mientras que los hurtos de automotores y hurtos a motocicletas los agrupan en la variable: hurto de vehículos.

Cada uno de estos delitos ha mostrado un comportamiento diferente en el país entre 2016 y 2021. La tasa de hurto común, al igual que la tasa de lesiones personales, se concentra, en promedio, en ciertos departamentos de la región Andina como Bogotá, D.C.³, Quindío, Antioquia, Tolima, Boyacá, Cundinamarca y Santander. En cuanto a los homicidios, los secuestros y la extorsión, se registran mayores cifras en los departamentos de la región Pacífica como Valle del Cauca, Cauca, Chocó, Norte de Santander y Tolima (que pertenecen a la región Andina). Por su parte, el terrorismo, la extorsión y el hurto de vehículos presentan valores altos en departamentos de distintas regiones como la región Pacífica (Chocó, Cauca, Valle del Cauca y Nariño), Andina (Antioquia, Tolima y Norte de Santander), Amazónica (Caquetá) y Orinoquia (Meta). Por último, la piratería tiene mayor prevalencia en la región Andina en departamentos como Cundinamarca, Tolima, Quindío y Norte de Santander, y en departamentos de la región Pacífica y Caribe como Valle del Cauca y Cauca, y Atlántico y Magdalena, respectivamente. Mientras que el hurto a

³ Bogotá, D.C. es la capital de Colombia y tiene un estatus especial como Distrito Capital. Aunque no es un departamento en el sentido tradicional, se le considera una entidad territorial con características únicas.

bancos tiene una clara concentración en el norte del país en departamentos como Atlántico, Sucre, La Guajira y Magdalena.

Las cifras de estos delitos son utilizadas en la construcción del índice a través de su transformación logarítmica, la cual se multiplica por un ponderador compuesto conformado por la valoración de la gravedad de cada delito según el Código Penal colombiano, y por el número de casos por cada delito en el periodo analizado (Quintero *et al.*, 2008). El valor que resulta de la sumatoria de la multiplicación anterior, se divide por el máximo valor alcanzado entre los departamentos para cada año, obteniendo así un primer índice que muestra qué tan lejos o cerca se encuentra el departamento analizado del máximo nivel registrado (Ibíd., 2008).

El segundo índice se calcula de manera similar al primero, excepto que el segundo no se divide por el máximo sino por el promedio de los departamentos analizados para cada año, de manera que su interpretación cambia: si el índice toma valores mayores que uno significa que el índice está por encima del promedio de los departamentos analizados en un año determinado. Por último, se construye un tercer índice mediante el Valor Z, donde la cantidad de delitos ponderados por pena en un año determinado se estandariza utilizando el valor Z (Quintero *et al.*, 2008).

La fórmula para la construcción del índice departamental utilizando la metodología del “Logaritmo y máximo” de Quintero *et al.*, (2008) es la siguiente:

$$CI_{i,t} = \sum_{j=1}^9 (\ln(D_{i,j,t}) * W_j) \quad (3.20)$$

Donde $D_{i,j,t}$ es la cantidad de delitos del tipo j en el departamento i durante el año t y W_j , es el ponderador compuesto. Este ponderador es el resultado de promediar dos componentes: la participación por pena y la participación por cantidad,

$$W_j = \frac{1}{2} (\varphi_j + \omega_j) \quad (3.21)$$

ω_j , es la participación de un tipo de delito específico j en todos los departamentos, dentro de la cantidad total de todos los tipos de delitos en todos los departamentos durante el periodo analizado,

$$\omega_j = \frac{\sum_{t=2016}^{2021} \sum_{i=1}^{24} D_{i,j,t}}{\sum_{t=2016}^{2021} \sum_{i=1}^{24} \sum_{j=1}^9 D_{i,j,t}} * 100 \quad (3.22)$$

En la tabla 3.1, se muestra la ponderación por cantidad de casos. En ésta se puede evidenciar que el hurto común y las lesiones personales representan más del 80% de los delitos en los departamentos analizados durante el periodo en cuestión.

Tabla 3.1. Ponderación por cantidad de casos, 2016-2021

Delitos	Cantidad total	Participación
Extorsión	39,899	1.35%
Homicidios	72,922	2.47%
Hurto a bancos	820	0.03%
Hurto común	1,905,535	64.54%
Hurto vehículos	244,681	8.29%
Lesiones personales	684,87	23.20%
Piratería	1,795	0.06%
Secuestro	898	0.03%
Terrorismo	861	0.03%
Total	2,952,281	100%

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, φ_j representa la participación por pena de cada tipo de delito j en el total de las penas promedio de todos los tipos de delitos,

$$\varphi_j = \frac{P_j}{\sum_{j=1}^9 P_j} * 100, \quad \text{donde } P_j = \frac{1}{2} (P_{\min[j]} + P_{\max[j]}) \quad (3.23)$$

$P_{\min[j]}$, es la pena mínima para el delito j y $P_{\max[j]}$ es la pena máxima para ese mismo delito j . Estas penas son tomadas del Código Penal colombiano (Ley 599 de 2000) y se muestran en la tabla 3.2 junto al ponderador utilizado. En esta, se puede apreciar que los delitos que reciben mayor castigo en el país son el secuestro, el homicidio y la extorsión, cuya participación dentro de las penas promedio de los delitos de alto impacto en el país es mayor al 50%.

Tabla 3.2. Ponderación por penas

Delito	Pena Mínima en años	Pena Máxima en años	Pena promedio en años	Participación
Homicidio	13	25	19	22%
Lesiones personales	1	5	3	3%
Hurto de vehículos	4	8	6	7%
Hurto común	1	8	4.5	5%
Hurto a entidades financieras	3	8	5.5	6%
Extorsión	12	16	14	16%
Secuestro	12	28	20	23%
Piratería terrestre	4	8	6	7%
Terrorismo	6	12	9	10%
Total			87	100%

Fuente: Tomado de Quintero *et al.*, (2008)

Una vez calculado $CI_{i,t}$ se divide por el máximo valor alcanzado entre los departamentos para cada año, y de esta manera se obtiene el primer índice de criminalidad aquí propuesto. El segundo índice es calculado siguiendo la metodología “Logaritmo y promedio” de Quintero *et al.*, (2008), la cual incorpora los mismos pasos que el índice anterior, con la única excepción que la división se realiza por el promedio de los índices departamentales, y no por el máximo en cada año.

El tercer índice se construye mediante el valor Z, el cual sigue la siguiente fórmula:

$$Z_{i,t} = \frac{X_{i,t} - \mu}{\sigma} \quad (3.24)$$

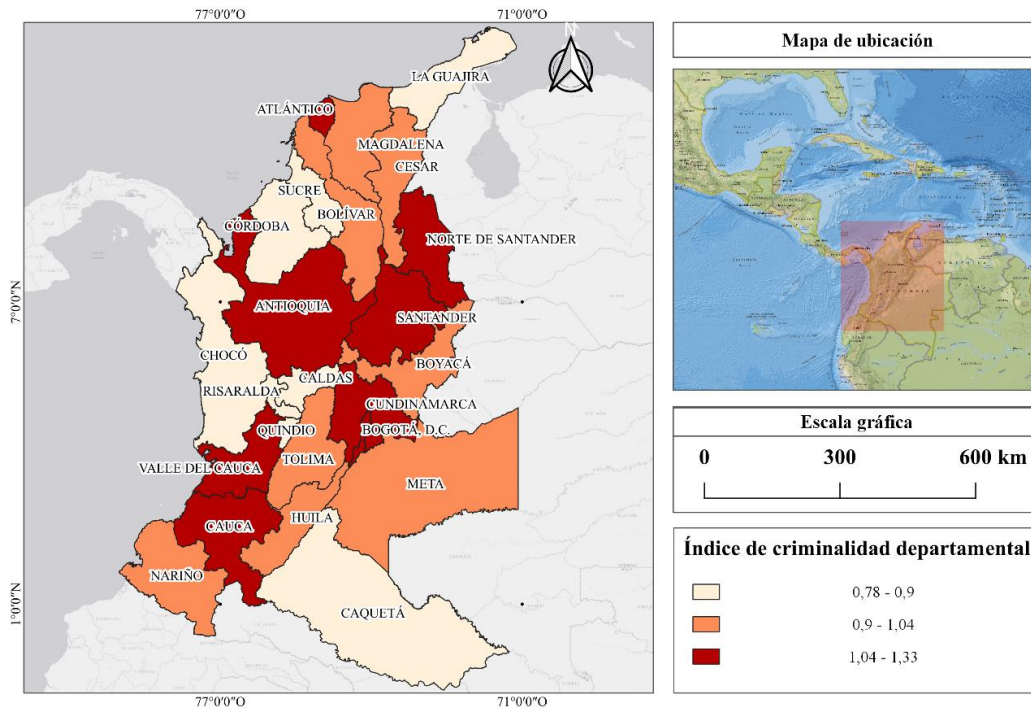
Donde $X_{i,t} = \sum_{j=1}^9 (D_{i,j,t} * \varphi_j)$, es la sumatoria de los delitos ponderados por pena de cada departamento i en el año t . μ , es el promedio de la sumatoria de los delitos ponderados por pena entre los departamentos analizados y σ es la desviación estándar de la sumatoria de los delitos ponderados por pena entre los departamentos analizados. La fórmula permite visualizar las variaciones anuales en la frecuencia de los delitos, teniendo en cuenta la ponderación por la gravedad de las penas asociadas. El resultado, representado como valor Z, será negativo si la observación es inferior al promedio y positivo si es superior (Quintero *et al.*, 2008).

Al comparar las tres metodologías, se evidencia que las dos primeras transforman las variables de delitos mediante la aplicación del logaritmo natural, lo cual mitiga los efectos de las diferentes magnitudes inherentes a cada delito. Esta transformación es crucial, ya que de lo contrario, el hurto común y las lesiones personales serían los únicos delitos dominantes en el índice, dejando de lado otros tipos de delitos. En contraste, la tercera metodología mantiene las variables sin transformar (Quintero *et al.*, 2008). Por otro lado, el índice generado por la tercera metodología no pondera por las cantidades, mientras que las dos primeras metodologías sí lo hacen, lo que reduce el impacto directo de las cantidades en la composición del índice. Además, los índices resultantes de las dos primeras metodologías disminuyen la varianza entre los delitos, mientras que el tercer índice ofrece resultados más precisos cuando los delitos muestran una varianza similar (Quintero *et al.*, 2008). Sin embargo, es importante señalar que esta última condición no se cumple con los datos presentados aquí, ya que las varianzas de los distintos tipos de delitos son diferentes.

Considerando lo expuesto, se descarta la inclusión del índice basado en el valor Z en el análisis debido a sus desventajas en comparación con los otros índices calculados. En lugar de ello, se opta por emplear el índice derivado de la metodología "logaritmo y promedio", ya que la metodología del "logaritmo y máximo" puede generar valores máximos que se aparten significativamente de la distribución general de los datos, lo cual podría afectar la representatividad del índice seleccionado.

Ahora bien, una vez escogido el índice de criminalidad que se ajusta mejor a nuestros datos, se procede a mostrar su distribución en el país mediante la figura 3.4. En este se puede observar que los departamentos con los niveles más altos de criminalidad son Bogotá, D.C., Antioquia, Valle del Cauca, Cundinamarca, Atlántico, Santander, Cauca y Norte de Santander, respectivamente. Estos departamentos están ubicados en el tercil superior, superando el promedio departamental para el año 2021. Cabe resaltar que Bogotá, D.C., Antioquia y Valle del Cauca se han ubicado en las primeras posiciones a lo largo del periodo analizado, lo que los convierte en los departamentos más inseguros del país.

Figura 3.4. Terciles del índice de criminalidad en los departamentos de Colombia, 2021



Fuente: Elaboración propia.

Dentro de este grupo de departamentos, Bogotá, D.C. experimentó su punto más alto de criminalidad en el 2020, con un marcado aumento en las extorsiones, que sobrepasaron el 60%. No obstante, los valores más altos se concentran en los casos de hurto común. En contraste, Antioquia alcanzó su nivel máximo en 2016 durante el periodo examinado, atribuido en parte al considerable número de secuestros, delitos que reciben severas sanciones en el país. Mientras tanto, en el Valle del Cauca, se observa un incremento en el índice de criminalidad en 2021, impulsado por un repunte en los casos de hurtos, homicidios y extorsiones.

Por otro lado, departamentos como Caquetá, Chocó, Caldas, La Guajira, Quindío, Córdoba y Sucre se encuentran en el primer cuartil del índice de criminalidad en 2021, mostrando niveles de criminalidad más bajos, siendo Caquetá el departamento con el valor más pequeño en dicho año (0.78). A pesar de que el índice sugiere un bajo nivel de criminalidad en Chocó, es crucial destacar que este departamento presenta una de las tasas de homicidios más altas (53 por cada 100,000 habitantes) y de extorsiones (37 por cada 100,000 habitantes) en 2021. Sin embargo, sus cifras de lesiones personales y hurto común se sitúan entre los más bajos de los departamentos analizados.

Tabla 3.3. Estadísticas descriptivas del índice de criminalidad, 2016-2021

Año	Mínimo	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil	Máximo
2016	0.83	0.9	0.99	1	1.05	1.3
2021	0.78	0.88	0.99	1	1.06	1.33

Fuente: Elaboración propia

Una mirada a las estadísticas descriptivas del índice entre 2016 y 2021 (Tabla 3.3) refleja que el valor mínimo del índice fue más elevado en 2016 que en 2021, sugiriendo una posible disminución en el nivel general de criminalidad durante este periodo. Sin embargo, es importante destacar que el valor máximo para 2021 aumentó con respecto a 2016, indicando una variabilidad en los niveles extremos del índice a lo largo de estos años.

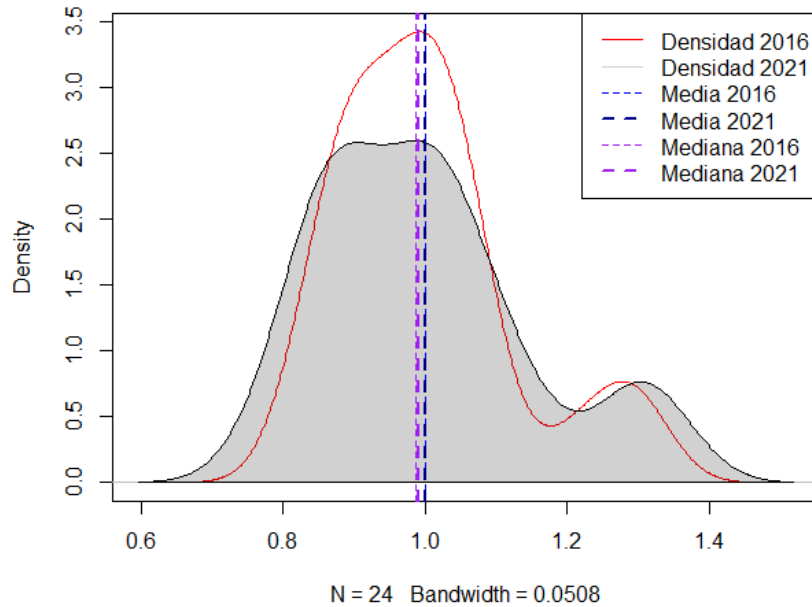
Tanto en 2016 como en 2021 se identificó que el índice más bajo se registró en el departamento de Caquetá. Por otro lado, los valores máximos se alcanzaron en Antioquia en 2016 y en Bogotá, D.C. en 2021. Además, se observa un cambio en la distribución de los departamentos dentro de los cuartiles del índice de criminalidad. Por ejemplo, el valor del primer cuartil en 2021 (0.88) es inferior al del primer cuartil en 2016 (0.90), indicando que el 25% más bajo de los índices de criminalidad fue aún más bajo en 2021 en comparación con 2016.

En 2016, los departamentos ubicados en el primer cuartil eran Boyacá, Caldas, Sucre, Quindío, Chocó y Caquetá, mientras que en 2021 se encontraron en esa posición Córdoba, Quindío, La Guajira, Caldas, Chocó y Caquetá. Respecto al cuartil con los valores de criminalidad más altos en 2021, se destacan Bogotá, D.C., Antioquia, Valle del Cauca, Cundinamarca, Atlántico y Santander, mientras que en 2016 se encontraban Antioquia, Bogotá, D.C., Valle del Cauca, Santander, Norte de Santander y Cauca con los valores más altos.

Una mirada a la función kernel del índice de criminalidad en la figura 3.5, permite evidenciar que la distribución del índice en ambos años es relativamente similar. Con la diferencia de que en el 2016 la curva muestra una mayor concentración de la criminalidad en los departamentos que en 2021, donde la distribución se vuelve más dispersa. Sin embargo, los dos picos que presentan ambas curvas podrían indicar la presencia de dos grupos distintos de departamentos con niveles de criminalidad significativamente diferentes. Esto es, a pesar de que la mayoría de departamentos

registran un índice de criminalidad cercano al promedio, un grupo más pequeño de departamentos concentran un alto nivel de criminalidad en ambos años.

Figura 3.5. Función kernel del índice de criminalidad de los departamentos de Colombia, 2016 y 2021



Fuente: Elaboración propia

3.5.1.1.2 Tasa de homicidios

Junto con el índice de criminalidad calculado, se incorporará en el análisis la tasa de homicidios como una variable adicional para evaluar el fenómeno de la criminalidad, dada su amplia aplicación en la literatura especializada, y por ser el delito con registros más completos y consistentes. Este indicador es calculado a partir de la cantidad de homicidios registrados en cada departamento en cada año y del total de la población que habita en dichos departamentos en cada año. Las cifras de homicidios son tomadas de las estadísticas delictivas de la Policía Nacional y el total de la población es tomado de la retroproyecciones y proyecciones de población departamentales 2005-2050 con base en el Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 del DANE.

La fórmula para el cálculo de la tasa de homicidios se muestra a continuación,

$$TH_{it} = \frac{H_{it}}{PT_{it}} * 100,000 \quad (3.25)$$

Donde TH_{it} , es la tasa de homicidios en el departamento i en el año t , H_{it} es el número de homicidios en el departamento i en el año t y PT_{it} es la población total en el departamento i en el año t .

Las estadísticas descriptivas de este indicador muestran que en 2016 la tasa de homicidios mínima fue de 9 por cada 100,000 habitantes, mientras que en 2021 fue de 7 por cada 100,000 habitantes (ver tabla 3.4). Estos valores mínimos se registraron en el departamento de Boyacá, donde las cifras de homicidios han presentado una disminución gradual en los últimos cinco años. Cabe resaltar que Boyacá es el único departamento que no registra homicidios en el 24% de sus municipios, debido a algunas estrategias por parte de la Policía Nacional como el aumento de los frentes de seguridad. A pesar de la disminución de la tasa de homicidios en ciertos departamentos del país, existen otros donde la tasa ha experimentado aumentos importantes como Valle del Cauca y Chocó. La tasa en estos departamentos pasó de 54 a 57 homicidios por cada 100,000 habitantes, y de 41 a 53 homicidios por cada 100,000 habitantes, respectivamente. Tanto Valle del Cauca como Chocó se mantienen en los tres primeros lugares con las tasas más altas durante el periodo 2016-2021.

Tabla 3.4. Estadísticas descriptivas de la tasa de homicidios, 2016-2021

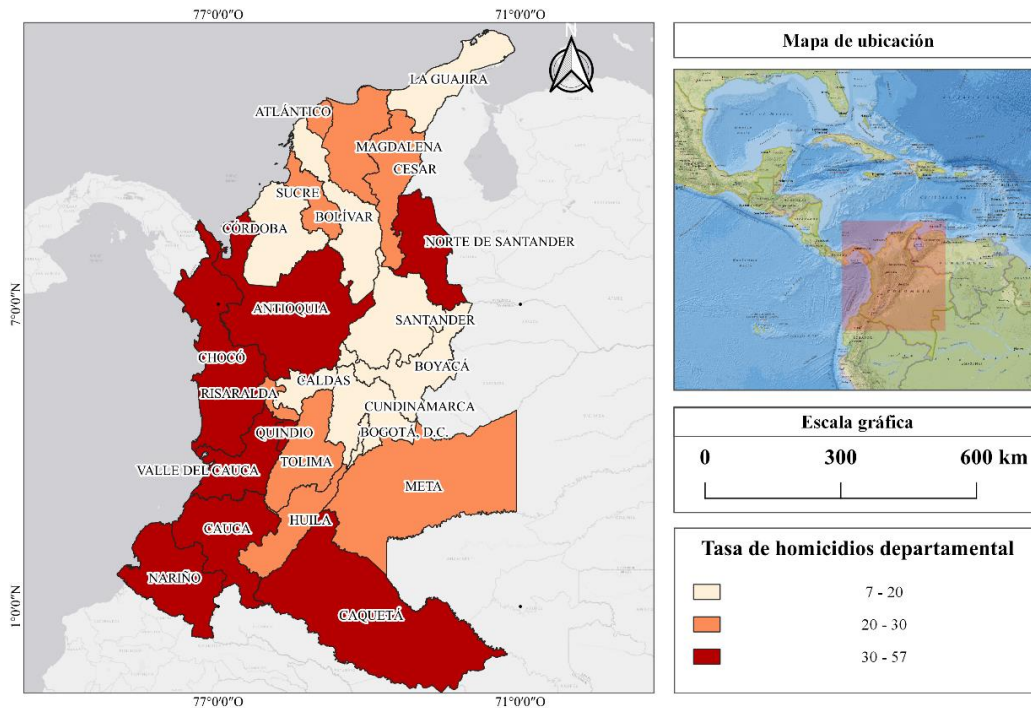
Año	Mínimo	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil	Máximo
2016	9	17	23	26	32	54
2021	7	19	26	28	33	57

Fuente: Elaboración propia

Algunos departamentos como Cauca, Quindío, Norte de Santander y Caquetá, acompañan a Valle del Cauca y Chocó en el cuartil superior de la tasa de homicidios, superando al promedio nacional aproximadamente 2 veces en 2016 y 2021. En contraposición, los departamentos con las tasas de homicidios más bajas en 2016 son: Boyacá, Sucre, Santander, Magdalena, Cesar y Cundinamarca cuyas cifras promedio se mantienen en 14 homicidios por cada 100,000 habitantes. Resulta clara la heterogeneidad entre los departamentos en términos de criminalidad. Aquellos con mayores

tasas superan aproximadamente 3 veces a los departamentos con menores tasas, tanto en 2016 como 2021. En este último año, Bogotá, D.C. ingresa al grupo de departamentos con menores tasas de homicidios.

Figura 3.6. Terciles de la tasa de homicidios en los departamentos de Colombia, 2021



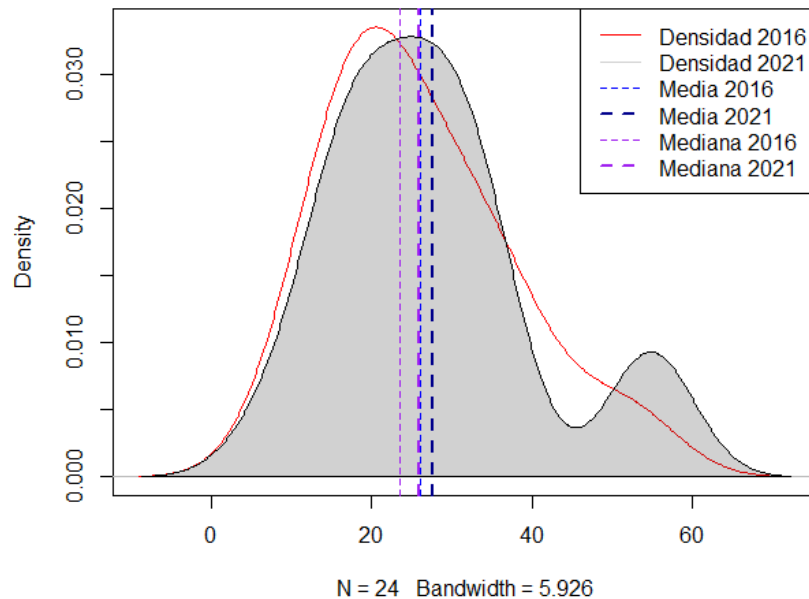
Fuente: Elaboración propia.

La figura 3.6 refleja las diferencias mencionadas anteriormente entre los departamentos. Se observa una mayor concentración de los homicidios en los departamentos de la región Pacífica, principalmente. Esta zona ha sido afectada durante varias décadas por el fenómeno del narcotráfico y por la presencia de actores armados como la guerrilla y los paramilitares. Como afirma Sánchez y Núñez (2001), el surgimiento y consolidación del fenómeno del narcotráfico llevó a un incremento en las tasas de homicidios. Sin embargo, las autoridades no respondieron con mayor provisión de justicia por no considerarlo como un fenómeno originado en su respectiva jurisdicción.

Aunque en la actualidad las cifras no tienen comparación con las registradas en el década de los ochentas y noventas, cuando las tasas de homicidios superaban los 200 por cada 100,000

habitantes, como fue el caso de Antioquia en 1991 (Cubides *et al.*, 1998), si se mantienen cifras altas en ciertos departamentos que superan al promedio nacional, el cual alcanza los 26 y 28 homicidios por cada 100,000 habitantes en 2016 y 2021, respectivamente.

Figura 3.7. Función kernel de la tasa de homicidios en los departamentos de Colombia, 2016 y 2021



Fuente: Elaboración propia

La figura 3.7 muestra la distribución kernel de la tasa de homicidios para 2016 y 2021. En ella se observa una diferencia notable entre las distribuciones de ambos años. En 2016 la tasa de homicidios registró una mayor dispersión en comparación con el 2021, donde la tasa estuvo concentrada muy cerca de la media. Esto indica que, en 2016, la tasa de homicidios fue más desigual entre los departamentos, mientras que en 2021, es probable que haya habido una mayor homogeneidad entre departamentos. Sin embargo, los dos picos en la distribución de 2021 reflejan que hay dos grupos distintos de departamentos con tasas de homicidios significativamente diferentes, los cuales resultan ser similares a los observados en el índice de criminalidad mostrado anteriormente. En otras palabras, mientras la mayoría de departamentos se concentran cerca de la media, existen tres departamentos que presentan tasas de homicidios similares entre sí, que se alejan de la media y se concentran en valores cercanos a los 55 homicidios por 100,000 habitantes.

3.5.1.2 Variables exógenas

3.5.1.2.1 Hombres entre 15 y 25 años

La población masculina entre 15 y 25 años en Colombia representa en promedio el 9.8% de la población total y el 20% del total de hombres del país. Para los veinticuatro departamentos considerados en el análisis, la media de este segmento pasó de 184,975 en 2016 a 188,832 en 2021 (ver tabla 3.5). En este último año, el departamento que registró la mayor cantidad de hombres entre 15 y 25 años es Bogotá, D.C. (693,594), seguida de Antioquia (608,704). Mientras que la menor cantidad se observa en Caquetá (43,435) y Quindío (46,044).

Tabla 3.5. Estadísticas descriptivas de la cantidad de hombres entre 15 y 25 años, 2016-2021

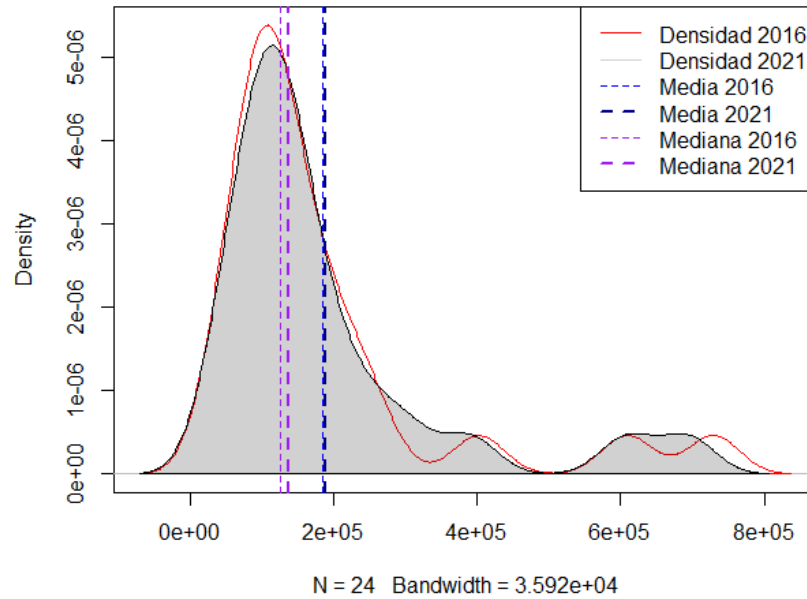
Año	Mínimo	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil	Máximo
2016	42,456	87,964	125,547	184,975	200,647	729,398
2021	43,435	100,630	137,990	188,832	208,693	693,594

Fuente: Elaboración propia

Una mirada a la distribución de la cantidad de hombres entre 15 y 25 años en la figura 3.8, permite evidenciar que esta se encuentra sesgada a la derecha con una concentración de departamentos por debajo de la media, pero cercanos a la mediana (137,990). Algunos departamentos se alejan de este grupo y tienen cantidades de hombres entre 15 y 25 años que difieren significativamente del resto, como es el caso de Bogotá, D.C. y Antioquia, como se mencionó anteriormente.

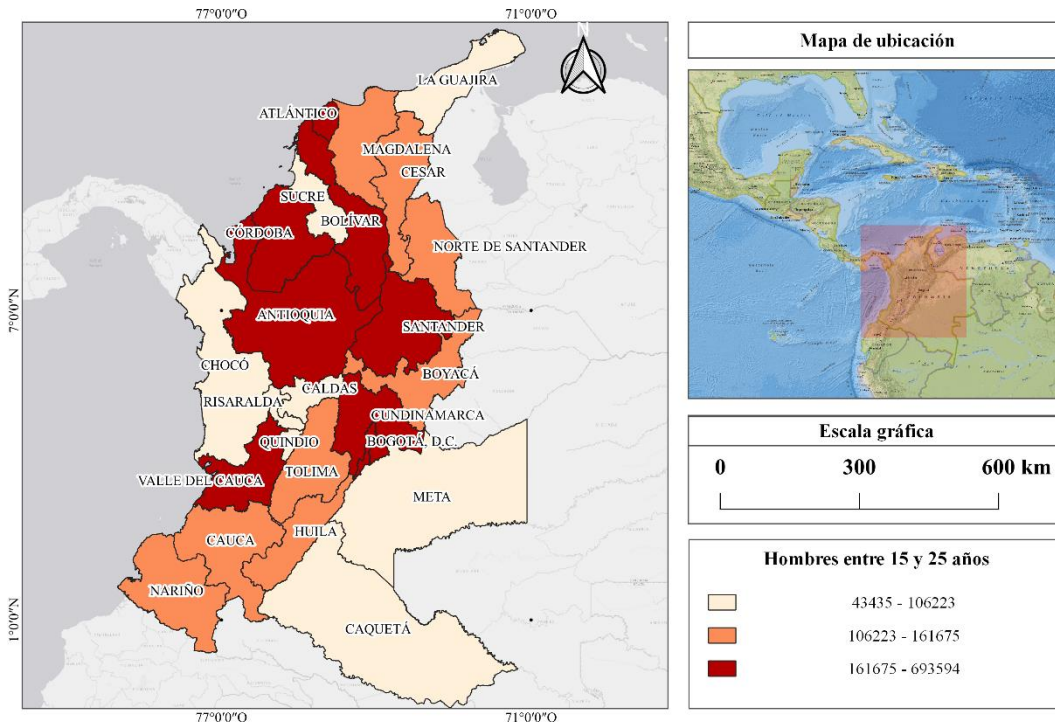
Por su parte, el mapa de la figura 3.9 muestra los terciles en que se divide la muestra de los veinticuatro departamentos en 2021. En el primer tercil se encuentran La Guajira, Meta, Sucre, Caldas, Risaralda, Chocó, Quindío y Caquetá con un promedio de 76,486 hombres. Mientras que el tercil superior lo conforman Bogotá, D.C., Antioquia, Valle del Cauca, Cundinamarca, Atlántico, Bolívar, Santander y Córdoba con un promedio de 356,186 hombres entre 15 y 25 años.

Figura 3.8. Función kernel de la cantidad de hombres entre 15 y 25 años en los departamentos de Colombia, 2016 y 2021



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.9. Terciles de la cantidad de hombres entre 15 y 25 años en los departamentos de Colombia, 2021



Fuente: Elaboración propia.

3.5.1.2.2 Pobreza

La pobreza es referenciada como la primera causa estructural de la violencia (Nateras y Zaragoza, 2017). Es definida por el Banco Mundial (2001) como una privación pronunciada de bienestar. Pero ¿qué es privación del bienestar? Un enfoque es pensar en el bienestar como el control sobre los productos básicos en general. La atención se centra principalmente en si los hogares o los individuos tienen suficientes recursos para satisfacer sus necesidades. Por lo general, la pobreza se mide comparando los ingresos o el consumo de los individuos con algún umbral definido por debajo del cual se los considera pobres. Esta es la visión más convencional (la pobreza se considera en gran medida en términos monetarios) y es el punto de partida para la mayoría de los análisis de la pobreza (Haughton y Khandker, 2009).

Un segundo enfoque es preguntar si las personas son capaces de obtener un tipo específico de bien de consumo: ¿tienen suficiente comida? ¿O refugio? ¿O atención médica? ¿O educación? Desde este punto de vista, el enfoque va más allá de las medidas monetarias más tradicionales de la pobreza. Quizás el enfoque más amplio del bienestar sea el expresado por Amartya Sen (1987), quien sostiene que el bienestar proviene de la capacidad de funcionar en la sociedad. Por lo tanto, la pobreza surge cuando las personas carecen de capacidades clave y, por lo tanto, tienen ingresos o educación inadecuados, o mala salud, o inseguridad, o la ausencia de derechos como la libertad de expresión. Vista de esta manera, la pobreza es un fenómeno multidimensional y menos susceptible de soluciones simples (Haughton y Khandker, 2009).

En el presente documento, la pobreza se introduce en términos monetario debido a la disponibilidad de datos a nivel departamental para el periodo 2016-2021. Este indicador es calculado por el DANE quien toma dos elementos para su medición: el valor de las líneas de pobreza y el ingreso per cápita de la unidad de gasto, el cual se obtiene a partir de la GEIH. El ingreso per cápita de la unidad de gasto es el resultado de dividir el ingreso corriente disponible de la unidad de gasto entre el número de personas que la conforman y se compara con las líneas de pobreza (DANE, 2023a).

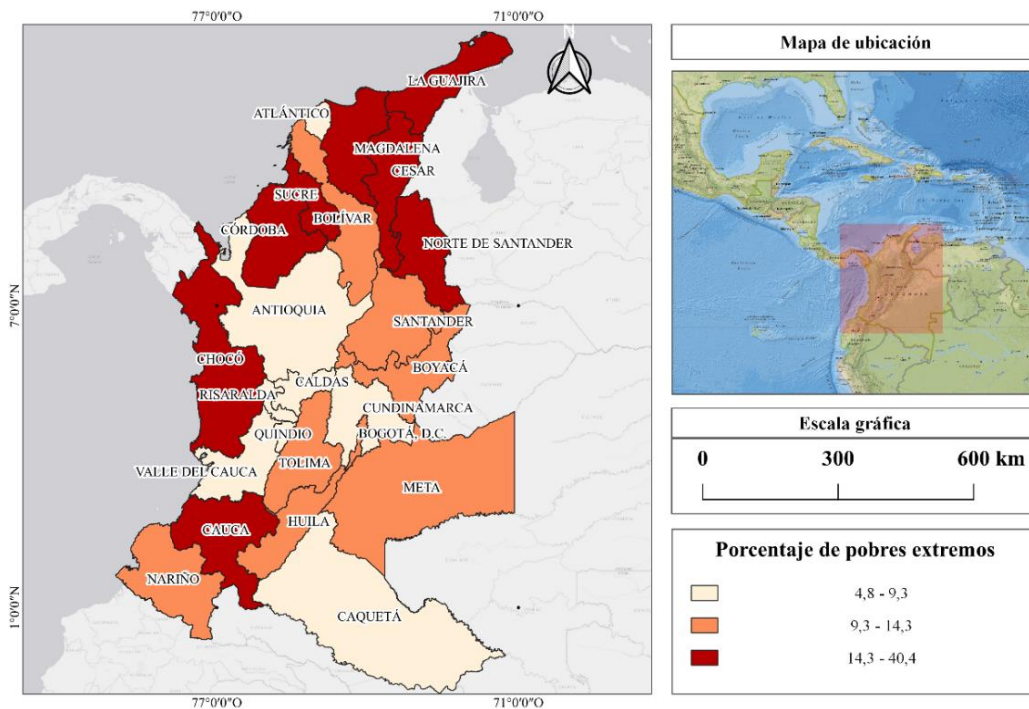
En 2021, la línea de pobreza monetaria per cápita nacional fue \$351,480 pesos colombianos, mientras que la línea de pobreza monetaria extrema per cápita nacional fue \$160,302 pesos colombianos. Según estimaciones del DANE en el 2021 el porcentaje de personas en pobreza

extrema en el país se ubicó en 12.2%, lo que da muestras de la preocupante situación del país en términos de pobreza, ubicandola como la cuarta nación con más pobreza extrema de la región apenas superada por Honduras (20%), Nicaragua (18.3%) y Guatemala (15.4%) (CEPAL, 2023).

A nivel departamental, la pobreza monetaria extrema en 2021, se concentró principalmente en las zonas costeras del país. Dentro de los departamentos con mayor porcentaje de pobres en 2021 se encuentran La Guajira, Chocó, Magdalena, Córdoba, Cauca, Cesar, Sucre y Norte de Santander quienes se ubican en el tercil superior (ver figura 3.10).

Cabe resaltar que los departamentos de La Guajira y Chocó se mantienen en los primeros lugares con mayor porcentaje de pobreza monetaria extrema durante el periodo de análisis. La Guajira, registra el valor máximo de pobreza monetaria extrema (40.4%) en 2021 (ver tabla 3.6). Chocó, por su parte, se ubicó en 2016 como el departamento con la mayor cifra de personas en pobreza extrema (38.5%).

Figura 3.10. Terciles de pobreza extrema en los departamentos de Colombia, 2021



Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que en La Guajira, el porcentaje de pobres extremos se ha incrementado entre 2016 y 2021 en un 50%. Esta situación se atribuye a múltiples factores como la falta de empleo formal, de vivienda digna, baja cobertura de servicios públicos, escasez de agua y mala calidad en el servicio de salud y educación (Ricciulli *et al.*, 2018). En contraste, los departamentos con menor porcentaje de población en pobreza monetaria extrema, en 2021, corresponden a Cundinamarca, Caldas, Antioquia, Valle del Cauca, Risaralda, Meta, Atlántico y Quindío. A diferencia de estos departamentos, Risaralda se ubica como el departamento con el porcentaje más bajo de personas en pobreza extrema, con un 4.8% en 2021 y mientras que en 2016 este puesto lo ocupó Bogotá, D.C. con un 4% en 2016 (ver tabla 3.6).

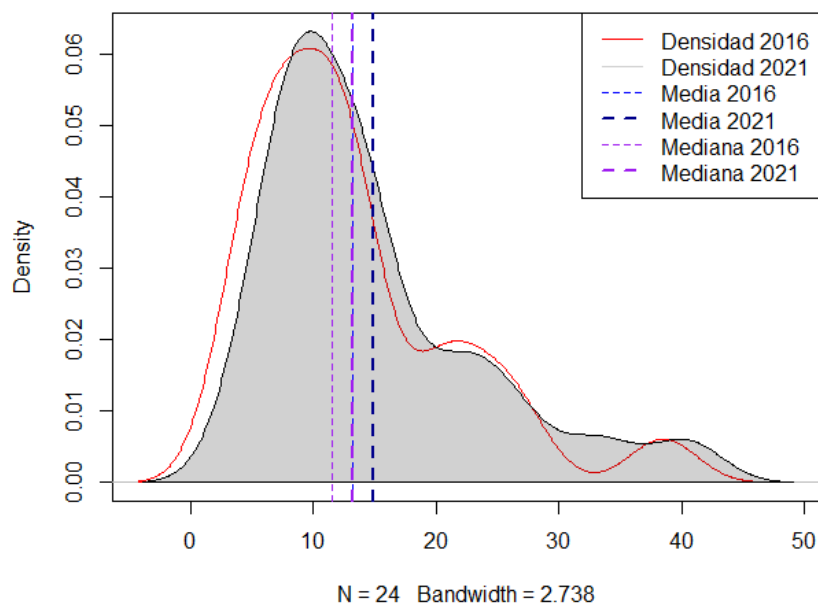
Tabla 3.6. Estadísticas descriptivas de la pobreza, 2016-2021

Año	Mínimo	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil	Máximo
2016	4.0	7.6	11.6	13.2	15.1	38.5
2021	4.8	9.1	13.2	14.9	17.8	40.4

Fuente: Elaboración propia

La figura 3.11 muestra la distribución del porcentaje de la pobreza monetaria extrema de 2016 y 2021 para los 24 departamentos de Colombia considerados en el análisis. Se observa que la forma de las curvas no ha cambiado significativamente entre 2016 y 2021. Sin embargo, es notable el ligero aumento de la pobreza monetaria extrema entre estos años. Se puede evidenciar que la distribución se encuentra sesgada a la derecha con un pico alrededor del 10% en 2016 y 8% en 2021, con algunos departamentos que se alejan notablemente de la media como Chocó y La Guajira en ambos años con valores cercanos al 40%.

Figura 3.11. Función kernel de la pobreza extrema en los departamentos de Colombia, 2016 y 2021



Fuente: Elaboración propia

3.5.1.2.3 *Escolaridad*

Colombia ha realizado esfuerzos significativos en las últimas décadas para mejorar la accesibilidad y la calidad de la educación, pero aún enfrenta desafíos importantes en este ámbito. Un indicador que da cuenta de los avances pero también de los retos en materia de educación del país son los años promedio de educación de las personas entre 15 y más años. Este indicador pasó de 8.83 en 2016 a 9.33 en 2021, con una mejora de 0.5 años. Sin embargo, estas cifras se encuentran por debajo del promedio de América Latina, región que registró en 2021 un promedio de años de educación de 10.1.

Si se observan las cifras a nivel departamental se evidencia que todavía existen disparidades significativas, a pesar de que los veinticuatro departamentos incluidos en este análisis tuvieron un incremento del 7% en los años promedio de educación entre 2016 y 2021, al pasar de 8.27 a 8.83 (ver tabla 3.7). El mayor crecimiento en los años de escolaridad se registró en La Guajira (16%) y el menor ocurrió en el departamento del Atlántico (1.8%), ambos ubicados al norte del país. Si bien en La Guajira el gasto en educación departamental ocupa el 63% del total del presupuesto, el

83% de las escuelas se encuentran en zona rural y solo tiene asentadas dos instituciones de educación superior, lo que representa retos importantes para el departamento (Cámara de Comercio de La Guajira, 2022).

Tabla 3.7. Estadísticas descriptivas de los años de escolaridad, 2016-2021

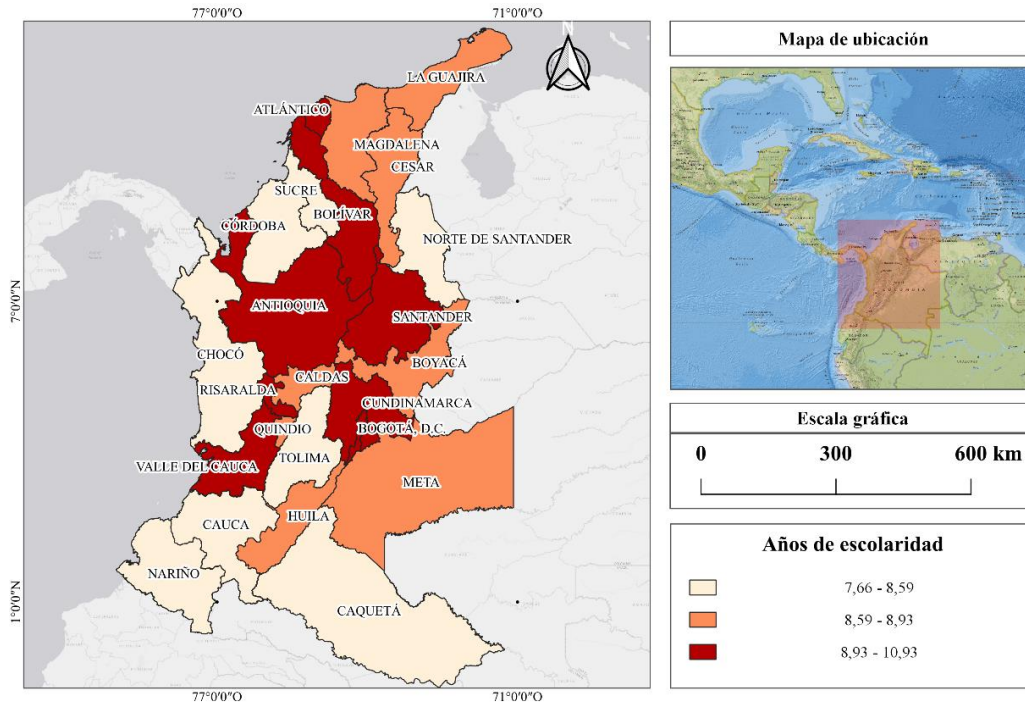
Año	Mínimo	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil	Máximo
2016	7.33	7.72	8.19	8.27	8.70	10.53
2021	7.66	8.42	8.77	8.83	9.07	10.93

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.12 se puede observar que los departamentos de la región Pacífica, en su mayoría, son los que se encuentran en el tercil más bajo: Chocó, Nariño y Cauca con valores cercanos a los 7.7, 8.1 y 8.2, en donde Chocó registra el valor mínimo en 2021. En cambio, departamentos como Bogotá, D.C., Atlántico, Antioquia y Valle del Cauca registran los mayores años promedio de escolaridad y se ubican en el tercil superior. Con un promedio de 10 años de educación, dichos departamentos superan a Chocó en un 31%. Factores como la infraestructura educativa, la disponibilidad de recursos y las oportunidades económicas locales pueden influir en estas diferencias.

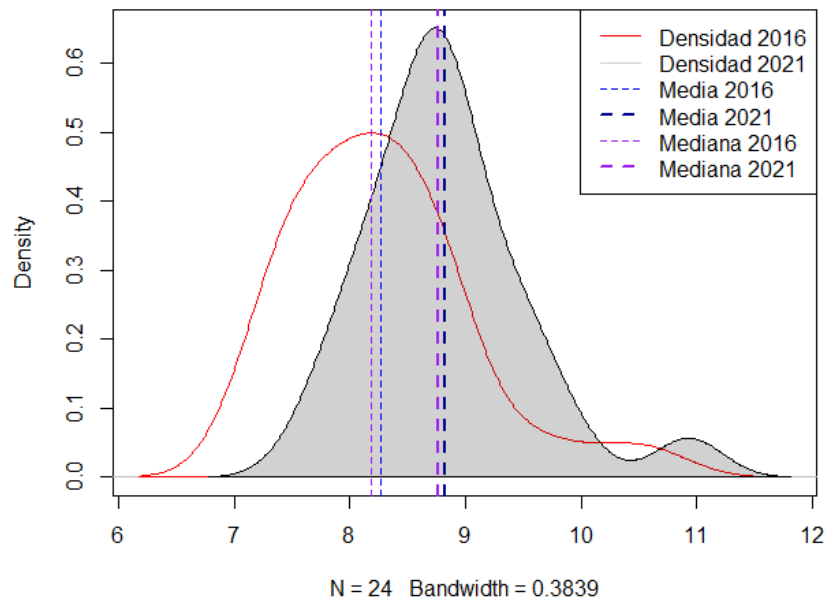
La distribución del promedio de los años de escolaridad entre 2016 y 2021 se muestra en la figura 3.13. Se observa un importante aumento de la escolaridad entre dichos años. La mayor parte de los departamentos se concentran alrededor de la media (8.83), sin embargo, el único departamento con diferencias significativas al resto es Bogotá quien se ubica sobre los 10.9 años de escolaridad.

Figura 3.12. Terciles de los años de escolaridad en los departamentos de Colombia, 2021



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13. Función kernel de los años de escolaridad en los departamentos de Colombia, 2016 y 2021



Fuente: Elaboración propia

3.5.1.2.4 PIB per cápita

Como proxy del ingreso promedio de los departamentos involucrados en el análisis, se utiliza el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita a precios de 2015. En Colombia, el PIB per cápita entre 2016 y 2021 se ubicó en \$ 17,437,147 pesos colombianos, un 10% superior al registrado entre 2009 y 2015. Aunque el país ha mostrado un crecimiento gradual en su PIB per cápita, éste no ha sido uniforme en todas las regiones del país. A nivel departamental, Bogotá, D.C. ha ocupado el primer lugar entre los departamentos con mayor PIB per cápita en el periodo de estudio (\$ 29,362,028). En la tabla 3.8 se puede observar que el valor máximo alcanzado entre los departamentos en 2016 fue de \$ 28,857,052 y en 2021 de \$ 30,283,250 pesos colombianos, cifras que corresponden a las registradas en Bogotá, D.C. En esta ciudad se concentra la actividad económica del país, principalmente los servicios financieros. Su participación en este sector es del 50% del PIB nacional, junto con otras actividades como las inmobiliarias (40%), y de información y comunicaciones (40%).

Meta es otro departamento que registra alto PIB per cápita, ubicándose por debajo de Bogotá, D.C. en un 5%, aproximadamente. El departamento de Meta se caracteriza por concentrar el 30% del PIB minero, al ser el mayor productor de petróleo en el país, seguido de Casanare. Santander, Antioquia y Cundinamarca también se encuentran dentro del ranking de los departamentos con mayor PIB per cápita del país, éstos junto con Bogotá, D.C. y Meta superan, en 2021, 1.4 veces el promedio nacional.

Tabla 3.8. Estadísticas descriptivas del PIB per cápita, 2016-2021

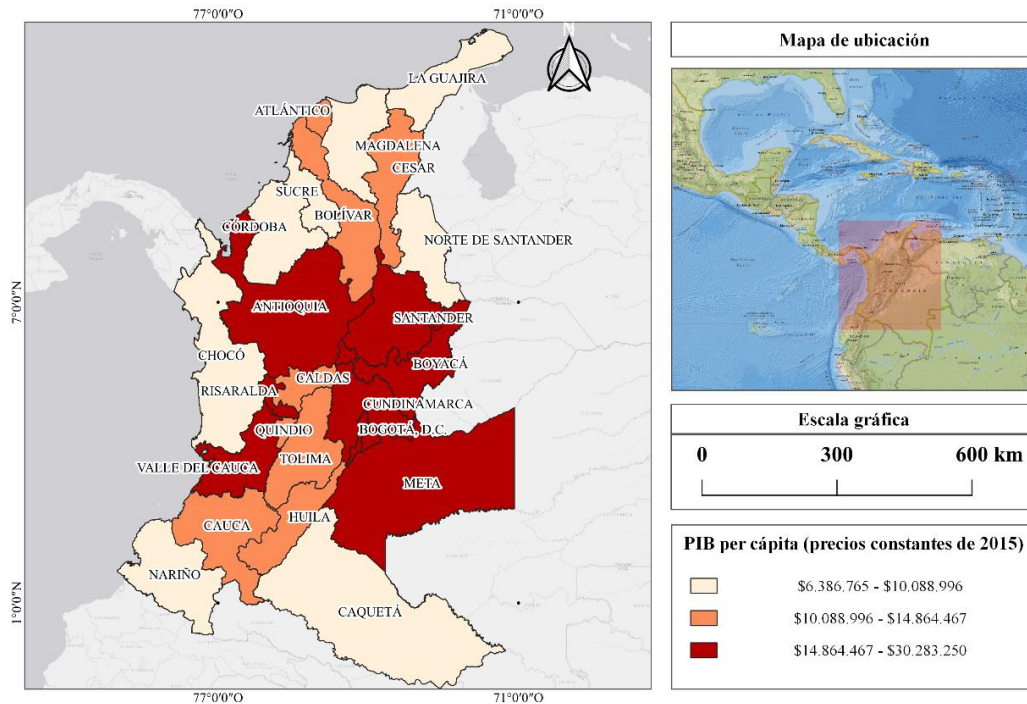
Año	Mínimo	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil	Máximo
2016	\$ 7,265,484	\$ 9,006,806	\$ 13,184,194	\$ 14,351,545	\$ 18,249,546	\$ 28,857,052
2021	\$ 6,386,765	\$ 8,724,509	\$ 13,531,747	\$ 14,290,504	\$ 17,057,488	\$ 30,283,250

Fuente: Elaboración propia

Por el contrario, departamentos como Chocó y Sucre se han mantenido a lo largo del periodo de análisis con un PIB per cápita por debajo del promedio nacional. Tanto en 2016 como en 2021, Chocó registró la cifra más baja del país \$ 7,265,484 y \$ 6,386,765, respectivamente (ver tabla 3.8). Al igual que Chocó, Sucre se ubica en el primer tercil del PIB per cápita (ver figura 3.14). En

2021 su PIB per cápita fue de \$ 7,966,054 pesos colombianos, lo que representa aproximadamente el 45% del PIB per cápita colombiano y el 27% del PIB per cápita de Bogotá, D.C. Esto refleja las disparidades en términos económicos en el país, al concentrarse la actividad económica en pocos departamentos del centro del país, mientras que los de la periferia se mantienen con bajo nivel de crecimiento económico.

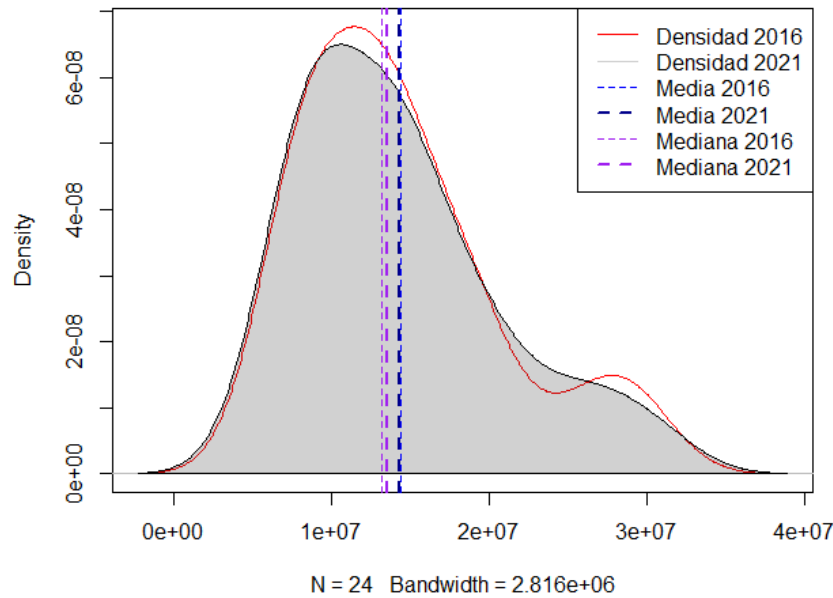
Figura 3.14. Terciles del PIB per cápita en los departamentos de Colombia, 2021



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la distribución del PIB per cápita entre 2016 y 2021, se puede observar en la figura 3.15 que las curvas son bastante similares en los dos años. La forma de las curvas indica que la mayoría de departamentos tiene un PIB per cápita más bajo, ya que se concentran por debajo de la media. A diferencia de algunos otros departamentos que superan la media concentrándose en torno a los treinta millones de pesos colombianos, como es el caso de Bogotá y de Meta.

Figura 3.15. Función kernel del PIB per cápita en los departamentos de Colombia, 2016 y 2021



Fuente: Elaboración propia

3.5.1.2.5 Tasa de condenados

La tasa de condenados se introduce en el análisis como proxy del sistema de justicia penal en el país. Este indicador es calculado como el cociente entre el número de condenados y la población total de cada departamento i para cada año t :

$$CON_{it} = \frac{CO_{it}}{PT_{it}} * 100,000 \quad (3.26)$$

Entre 2016 y 2021 la tasa de condenados disminuyó en promedio un 4% en el país. Con base en las cifras del INPEC el número de condenados pasó de 80,693 a 71,318 durante dicho periodo. Cabe resaltar que en 2020 el gobierno nacional emitió el Decreto 546 que otorgó medidas de detención preventiva y prisión domiciliaria a personas bajo medida de aseguramiento, esto con el objetivo de disminuir el hacinamiento en las cárceles colombianas.

A nivel departamental el comportamiento de la tasa de condenados no ha sido homogéneo. La tabla 3.9 muestra que hay una gran diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo registrado en los veinticuatro departamentos. El valor mínimo tanto de 2016 como de 2021 corresponde a La

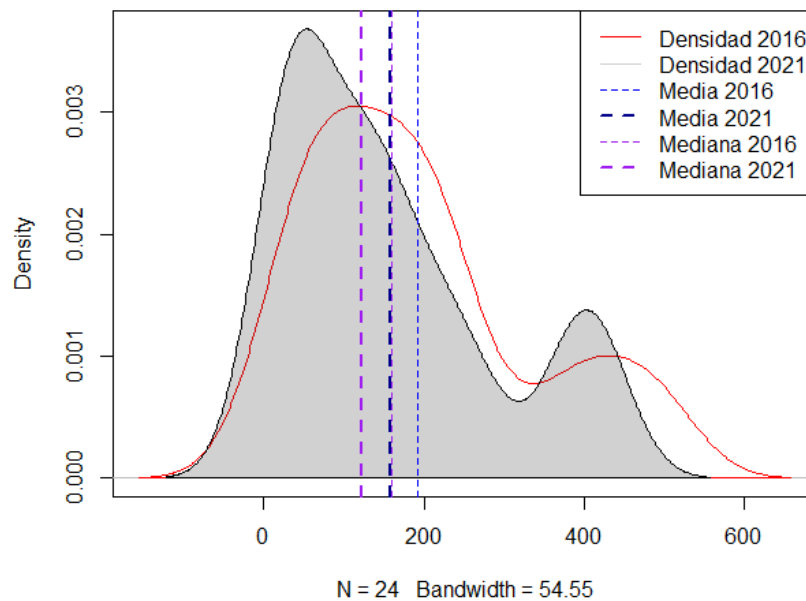
Guajira, 8.14 y 13.9, respectivamente. En contraste la cifra máxima registrada en 2016 corresponde a Caquetá (494.7) y en 2021 a Boyacá (421.9).

Tabla 3.9. Estadísticas descriptivas de la tasa de condenados, 2016-2021

Año	Mínimo	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil	Máximo
2016	8.14	80.75	159.14	192.58	229.85	494.77
2021	13.97	42.3	122.82	157.76	223.45	421.91

Una mirada a la función kernel de la tasa de condenados de la figura 3.16 permite evidenciar la disminución de este indicador entre 2016 y 2021. El cambio en la forma de la curva puede indicar cambios en la aplicación de la ley. En 2016 la curva tenía una distribución más amplia y aplanada, mientras que en 2021 la curva es más puntiaguda y concentrada. En ambas se observan dos picos que reflejan la existencia de dos grupos de departamentos con tasas de condenados significativamente diferentes. El grupo cuyos valores difieren de la media está compuesto por los departamentos de Caquetá y Boyacá con valores cercanos a los 400 condenados por 100,000 habitantes.

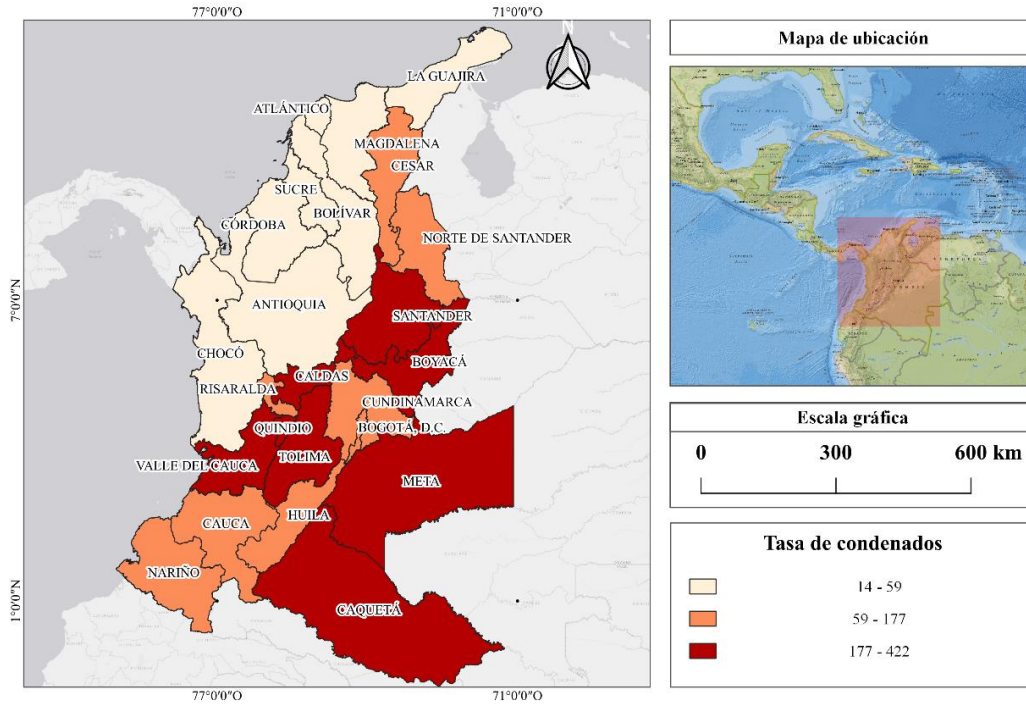
Figura 3.16. Función kernel de la tasa de condenados en los departamentos de Colombia, 2016 y 2021



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.17 se aprecian las diferencias en las tasas de condenados entre los departamentos del país. Se puede observar que los departamentos ubicados en el norte y noroccidente del país presentan las tasas más bajas, ubicándose en el primer tercil. Por el contrario, departamentos como Santander, Valle del Cauca, Quindío, Caldas, Meta, Tolima, Caquetá y Boyacá se encuentran en el tercil más alto con un promedio de 317 condenados por 100,000 habitantes.

Figura 3.17. Terciles de la tasa de condenados en los departamentos de Colombia, 2021



Fuente: Elaboración propia

3.5.1.2.1 Densidad poblacional

Este indicador, generalmente expresado como el número de personas (PT) por unidad de superficie en kilómetros cuadrados (A) (ecuación 3.27), es relativamente moderado en Colombia con respecto a otros países de América Latina. Con un promedio de 46 habitantes por kilómetro cuadrado (incluyendo los 33 departamentos), Colombia exhibe una distribución poblacional que refleja tanto aspectos históricos como geográficos, así como disparidades en el desarrollo económico y social de sus departamentos (i) a lo largo de los años (t).

$$D_{it} = \frac{PT_{it}}{A_{it}} \quad (3.27)$$

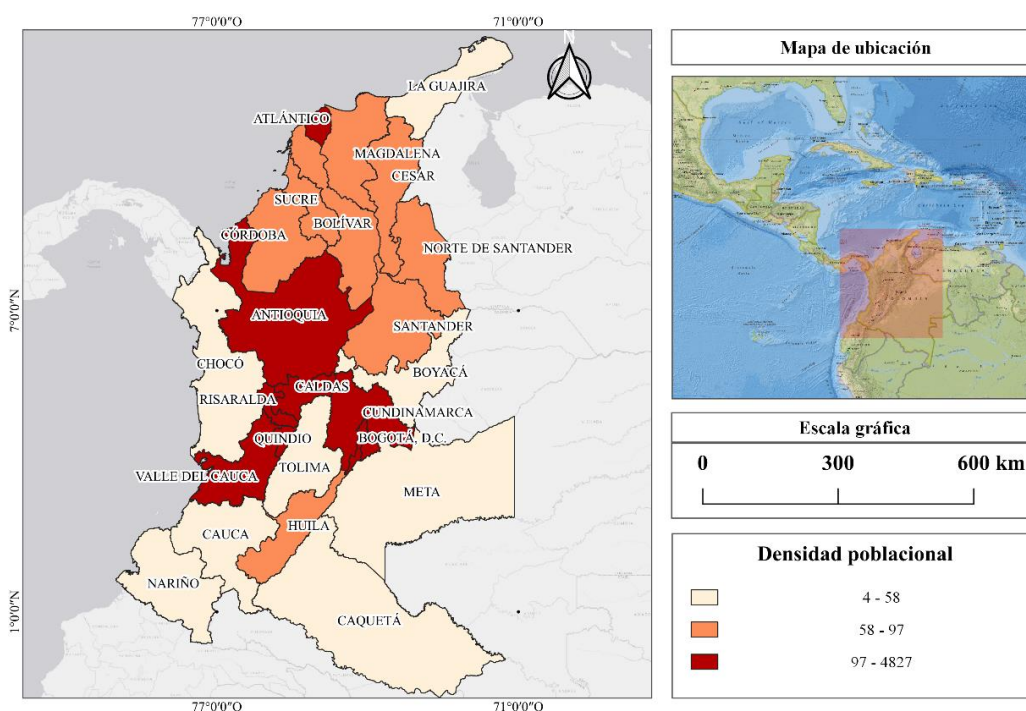
El país ha experimentado cambios significativos en la distribución de su población a lo largo del tiempo. En las últimas décadas, ha habido una notable concentración de personas en áreas metropolitanas alrededor de importantes centros urbanos como Bogotá, D.C., Medellín, Cali y Barranquilla. De ahí que, la mayor densidad poblacional del país se registre en las regiones Andina y Caribe, mientras que en el oriente y sur del país, en las regiones de la Amazonía, Orinoquía y en el Pacífico se presentan las más bajas densidades (DANE, 2023b).

Tabla 3.10. Estadísticas descriptivas de la densidad poblacional, 2016-2021

Año	Mínimo	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil	Máximo
2016	4.3	51.1	67.3	297.0	122.2	4498.8
2021	4.5	53.5	74.3	321.3	141.5	4827.4

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.18. Terciles de la densidad poblacional en los departamentos de Colombia, 2021



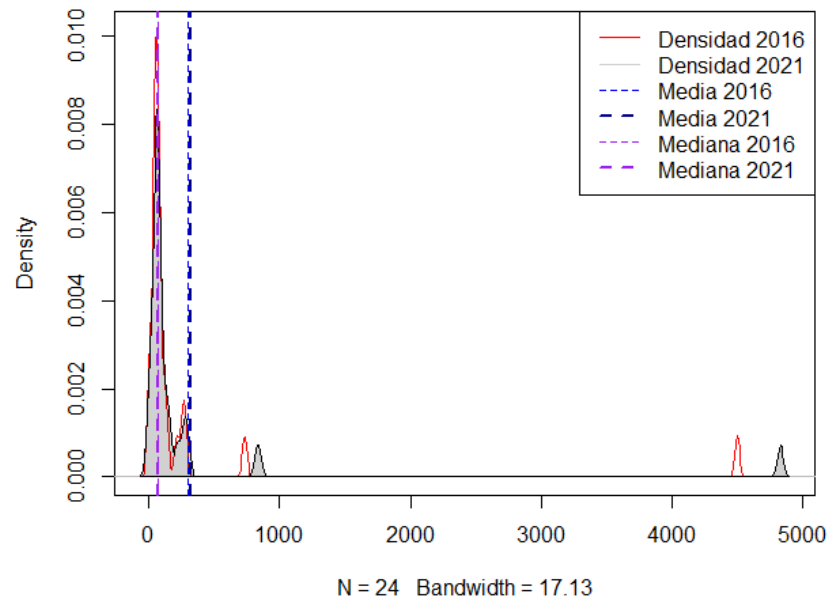
Fuente: Elaboración propia

Entre 2016 y 2021, la diferencia entre la densidad máxima registrada y la mínima muestra importantes diferencias (ver tabla 3.10). El departamento más densamente poblado tanto en 2016 como en 2021 es Bogotá, D.C., seguido de Atlántico y Quindío. En 2021, Bogotá, D.C. registró una densidad poblacional de 4,827 hab./km², Atlántico una densidad de 836 hab./km² y Quindío una densidad de 291 hab./km². Es importante resaltar que la ciudad de Bogotá, D.C. alberga al 16% de la población del país en menos del 1% del territorio colombiano. Estas áreas urbanas suelen atraer a una gran cantidad de migrantes internos en busca de oportunidades laborales y mejores condiciones de vida.

Por otro lado, los departamentos menos poblados suelen encontrarse en regiones como la Amazonía y la Orinoquía, donde las condiciones geográficas, climáticas y de acceso a servicios básicos pueden ser más desafiantes. Departamentos como Caquetá y Meta tienen una baja densidad poblacional debido a su extensión territorial y a la predominancia de áreas selváticas (ver figura 3.18). Ambos departamentos están dentro de los más grandes de Colombia contando con el 15% del territorio colombiano. La densidad poblacional en Caquetá en 2016 fue de 4.3 hab./km² y de 4.5 hab./km² en 2021 como lo indica la tabla 3.10. En este departamento la mayoría de sus asentamientos son pequeños caseríos en la falda de la cordillera.

La figura 3.19 muestra la distribución de la densidad poblacional en los departamentos del país entre 2016 y 2021. Como se puede observar la distribución se encuentra sesgada a la derecha. La mayor parte de los departamentos se concentran en valores de densidad poblacional bajos, cercanos a los 50 habitantes por kilómetro cuadrado. Solo un departamento se aleja del resto de los datos, Bogotá, D.C.

Figura 3.19. Función kernel de la densidad poblacional en los departamentos de Colombia, 2016 y 2021



Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Índice de correlación de Pearson de la variable endógena respecto a cada exógena

Tradicionalmente, se ha utilizado el índice de correlación de Pearson para evaluar la presencia de relaciones entre variables. Este índice muestra la intensidad y la dirección de dicha relación lineal. Este es el objetivo del presente apartado, calcular los coeficientes de correlación de Pearson para identificar la intensidad y la dirección de la relación entre las variables endógenas y exógenas consideradas en el análisis. En la tabla 3.11, se muestran los coeficientes calculados para los años 2016 y 2021, considerando como variables endógenas el índice de criminalidad y la tasa de homicidios.

En ella, se aprecia que no todas las correlaciones resultan ser significativas al 95% de confianza, ya que los p-valores superan el 5%. En ese orden de ideas, se puede decir que en 2016 la tasa de condenados tiene una relación no significativa al 95% de confianza con el índice de criminalidad. Para el mismo año, se observa que ninguna variable tiene una correlación significativa con la tasa de homicidios. Algo similar sucede en el año 2021, donde todas las variables guardan una relación no significativa con la tasa de homicidios al 95% de confianza. En contraposición, el índice de

criminalidad en 2021, mantiene casi las mismas relaciones significativas con las variables de escolaridad, PIB per cápita, cantidad de hombres entre 15 y 25 años, y la densidad poblacional.

Tabla 3.11. Índice de correlación de Pearson

Variables exógenas	Variables endógenas			
	2016		2021	
	Índice de criminalidad	Tasa de homicidios	Índice de criminalidad	Tasa de homicidios
Hombres entre 15 y 25 años	0.916***	-0.148	0.915***	-0.147
Pobreza extrema	-0.436**	0.100	-0.282	0.174
PIB per cápita	0.572***	-0.197	0.649***	-0.364*
Escolaridad	0.605***	-0.147	0.742***	-0.365*
Tasa de condenados	0.121	0.169	0.038	-0.032
Densidad poblacional	0.536***	-0.123	0.558***	-0.256

Nota. Todas las variables están en logaritmos. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, y * $p < 0.1$.

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, para identificar la dirección e intensidad de las correlaciones, se deben observar el signo y el valor del coeficiente. Este puede tomar un rango de valores de +1 a -1, donde un valor de +1 indica una correlación positiva perfecta, un valor de -1 una correlación negativa perfecta y un valor de 0 indica que no hay correlación. Una correlación positiva, implica que cuando una variable aumenta, la otra tiende a aumentar también. En contraste, una correlación negativa indica una relación inversa: cuando una variable aumenta, la otra tiende a disminuir.

A partir del grupo de variables que tuvieron una correlación significativa con las variables endógenas se puede extraer que, en 2016, la escolaridad, el PIB per cápita, los hombres entre 15 y 25 años, y la densidad poblacional mostraron una correlación positiva con el índice de criminalidad, siendo la correlación más fuerte con los hombres entre 15 y 25 años (0.92). Por otro lado, la pobreza extrema tuvieron una correlación negativa con el índice de criminalidad (-0.44).

Mientras tanto, en 2021, la correlación de la escolaridad, el PIB per cápita, los hombres entre 15 y 25 años, y la densidad poblacional con el índice de criminalidad se mantuvo positiva, con un

aumento en la correlación de la escolaridad. La pobreza extrema continuó mostrando una correlación negativa con el índice de criminalidad.

3.5.3. Construcción y análisis de la matriz de vecinos

En la presente investigación se utilizará una matriz de vecinos tipo queen para representar la relación de vecindad entre los departamentos en Colombia. En esta matriz cada fila y columna representa una unidad espacial (departamento). Los valores de la diagonal serán ceros, indicando que un departamento no es vecino de sí mismo. Cuando la intersección de la fila i y la columna j contiene un uno, señala que los departamentos i y j son vecinos.

Una práctica común es transformar esta matriz W para que tenga sumas de filas unitarias. Esta transformación convierte a W en una matriz de contigüidad de primer orden estandarizada. La motivación detrás de esta estandarización se evidencia al considerar la multiplicación de esta matriz estandarizada por el vector de observaciones de una variable asociada a los departamentos estudiados. El resultado de este producto representa una nueva variable que corresponde a la media de las observaciones de los departamentos contiguos (LeSage, 1998).

Dada la falta de información de varios departamentos colombianos, se optó por reducir la cantidad de unidades espaciales a utilizar. De los treinta y tres departamentos considerados inicialmente se incluirán en el análisis espacial veinticuatro, para los cuales se posee información completa. Con esta muestra, es posible utilizar la matriz tipo queen ya que quedaron por fuera las islas colombianas, que por su localización no tendrían vecinos bajo este criterio. Con base en esto se construye la matriz que se muestra en la tabla 3.12.

Tabla 3.12. Resumen de matriz de pesos espaciales

Tipo	Queen
Simetría	Simétrica
Orden	1
Número de departamentos	24
Mínimo de vecinos	1
Máximo de vecinos	7
Número de enlaces no nulos	104
Porcentaje de pesos no nulos	18.06%
Número promedio de enlaces por departamento	4.33
Distribución del número de enlaces:	
1 enlace	1 departamento
2 enlaces	3 departamentos
3 enlaces	6 departamentos
4 enlaces	1 departamento
5 enlaces	6 departamentos
6 enlaces	4 departamentos
7 enlaces	3 departamentos
Departamento menos conectado	Nariño con 1 enlace
Tres departamentos más conectados	Antioquia, Bolívar y Tolima con 7 enlaces

Fuente: elaboración propia

3.5.4. Análisis con estadísticos de Moran

Para determinar si existe dependencia espacial de las variables entre los departamentos, se utiliza el Índice de Moran. Este índice proporciona información sobre si las observaciones similares tienden a agruparse o dispersarse en el espacio. El I de Moran varía en un rango de -1 a 1 , donde un valor cercano a 1 indica una autocorrelación espacial positiva, lo que significa que las ubicaciones cercanas tienen valores similares. Un valor cercano a -1 indica una autocorrelación

espacial negativa, lo que significa que las ubicaciones cercanas tienden a tener valores disímiles. Mientras que, un valor cercano a 0 sugiere una distribución espacial aleatoria.

Los p-valores asociados al Índice de Moran indican la significancia estadística de los resultados. Un p-valor inferior a 0.05 sugiere que los resultados no son atribuibles al azar, lo que respalda la presencia de autocorrelación espacial. Por otro lado, un p-valor mayor a 0.05 indica que no hay suficiente evidencia para afirmar la presencia de autocorrelación espacial.

Ahora, si se observa la tabla 3.13 se pueden identificar algunos patrones interesantes en la autocorrelación espacial de ciertas variables entre los años 2016 y 2021 en los departamentos de Colombia. En primer lugar, se identifican variables como la tasa de homicidios y la tasa de condenados, así como sus logaritmos naturales, quienes exhiben una autocorrelación espacial positiva y significativa al 99% de confianza, tanto en 2016 como en 2021. Esto sugiere que los homicidios y los condenados por delitos no se distribuyen de manera uniforme, lo que refleja que departamentos cercanos en el espacio presentan tasas de homicidios y tasas de condenas similares. Además, la semejanza de los I de Moran entre 2016 y 2021 indica que la tendencia a la aglomeración es persistente. Estos resultados van en la misma línea que los hallazgos de Álvarez y González (2012), y Sánchez *et al.*, (2012), quienes también encuentran que la tasa de homicidios tiende a aglomerarse en el país.

Por otro lado, se puede evidenciar que variables como el índice de criminalidad, la escolaridad, el PIB per cápita, la cantidad de hombres entre 15 y 25 años, la pobreza extrema, el índice de Gini y la densidad poblacional, así como el logaritmo natural de todas ellas, no mostraron autocorrelación espacial significativa al 95% de confianza ni en 2016 ni en 2021. Esta falta de autocorrelación espacial podría indicar una distribución más homogénea de estas variables en Colombia, sin mostrar concentraciones o patrones específicos en determinados departamentos.

Con el fin de observar el tipo de dependencia espacial presente en los departamentos del país, se muestran en la figura 3.20 los diagramas de dispersión de Moran de las variables en cuestión para 2016 y 2021. En cada panel de la figura 3.20, el eje de las abscisas muestra el logaritmo de las variables de cada departamento, mientras que el de las ordenadas muestra el promedio ponderado de dichas variables en los departamentos vecinos.

Tabla 3.13. Índice de Moran global

VARIABLES	2016	2021
Índice de criminalidad	-0.178	-0.149
Tasa de homicidios	0.401***	0.382***
Cantidad de hombres entre 15 y 25 años	-0.125	-0.122
Pobreza extrema	-0.019	0.119
PIB per cápita	0.181*	0.147
Escolaridad	0.094	0.024
Tasa de condenados	0.409***	0.358***
Densidad poblacional	-0,037	-0,035
Logaritmo del índice de criminalidad	-0.177	-0.145
Logaritmo de la tasa de homicidios	0.321***	0.298***
Logaritmo de la cantidad de hombres entre 15 y 25 años	-0.113	-0.097
Logaritmo de la pobreza extrema	-0.006	0.147
Logaritmo del PIB per cápita	0.146	0.121
Logaritmo de la escolaridad	0.113	0.027
Logaritmo de la tasa de condenados	0.461***	0.511***
Logaritmo de la densidad poblacional	-0.006	-0.002

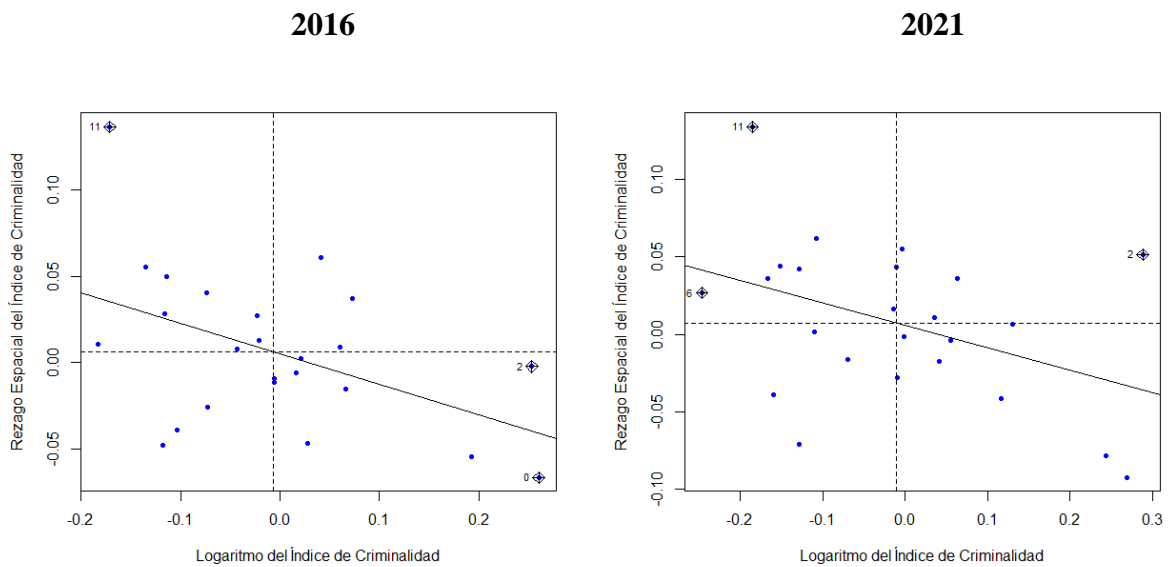
Nota. *** p < 0.01, ** p < 0.05, y * p < 0.1.

Fuente: Elaboración propia

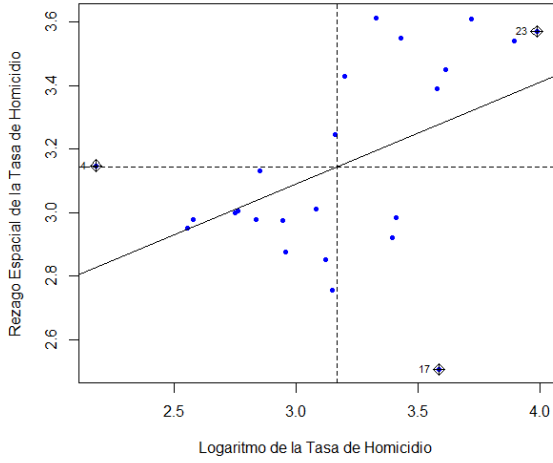
En el cuadrante superior derecho de cada panel se encuentran los departamentos que presentan altos valores en las variables, al igual que sus vecinos (Alto-Alto). En el caso de la tasa de homicidios, en 2016 el 33% de los departamentos se ubican en este cuadrante: Valle del Cauca, Quindío, Chocó, Cauca, Caquetá, Risaralda, Nariño y Tolima. Este grupo representa lo que se conoce como un *hot spot*. Mientras que, en ese mismo año los departamentos que se encontraban en el cuadrante inferior izquierdo (Bajo-Bajo) correspondía al 46% del total de departamentos: Atlántico, Bogotá, D.C., Bolívar, Caldas, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, La Guajira, Magdalena, Santander y Sucre. A esta agrupación se le conoce como un *cold spot*. En 2021, el cuadrante Alto-Alto permanece casi con los mismos departamentos, a excepción de Risaralda, en tanto que, el cuadrante Bajo-Bajo pasa a contener 10 departamentos, incluyendo a Boyacá, y excluyendo a Atlántico y Magdalena del grupo de 2016.

A partir de este análisis se pueden extraer algunas conclusiones importantes: 1) se observa un patrón de derramas espaciales (*spillover*) de la tasa de homicidio tanto en 2016 como en 2021, pues aproximadamente el 80% de las observaciones se ubican en los cuadrantes Alto-Alto y Bajo-Bajo; 2) debido a lo anterior, la tasa de homicidios de un departamento no depende únicamente de las características de ese departamento, sino también de la tasa de homicidios de los departamentos vecinos; 2) la autocorrelación espacial de la tasa de homicidios en los diferentes departamentos, cuestiona la hipótesis de independencia de las unidades, lo que implica que el fenómeno de los homicidios no puede ser abordado mediante métodos econométricos convencionales (Formisano, 2002); y 3) a diferencia de la tasa de homicidios, el índice de criminalidad parece no depender significativamente de las condiciones o niveles de criminalidad en los departamentos vecinos, lo que sugiere una cierta independencia espacial en la distribución de la criminalidad medida a través de este indicador.

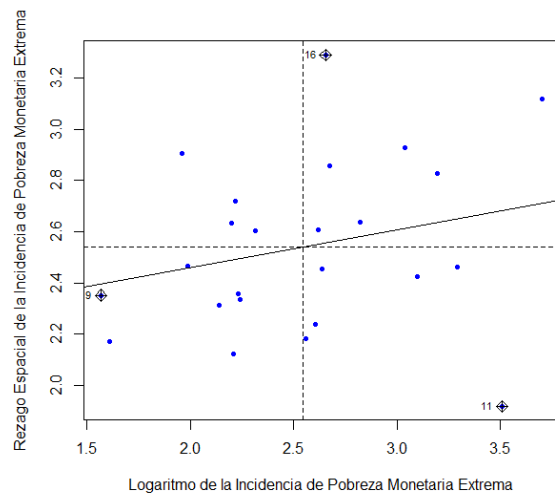
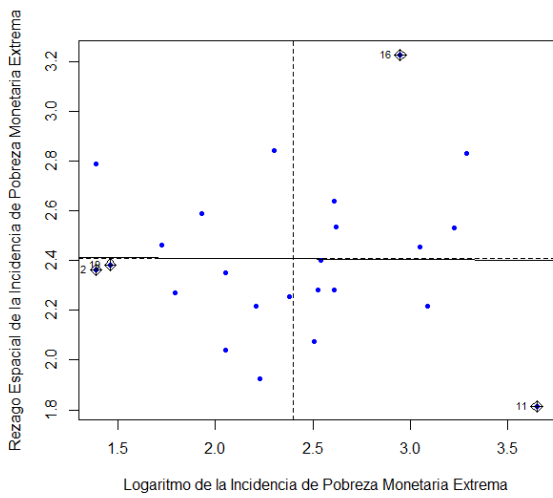
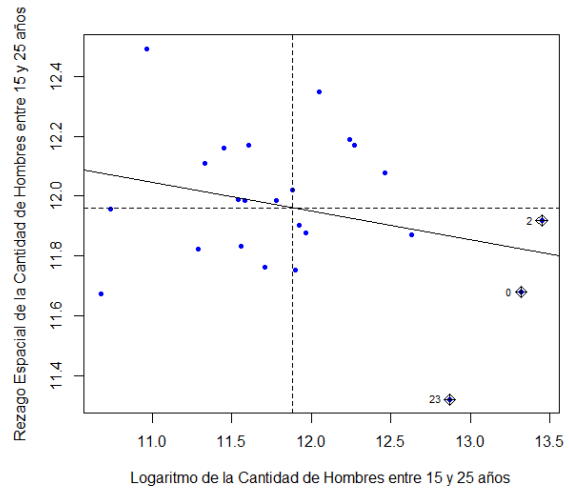
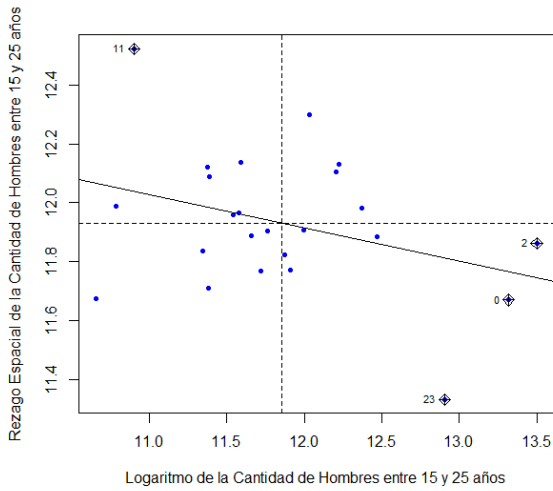
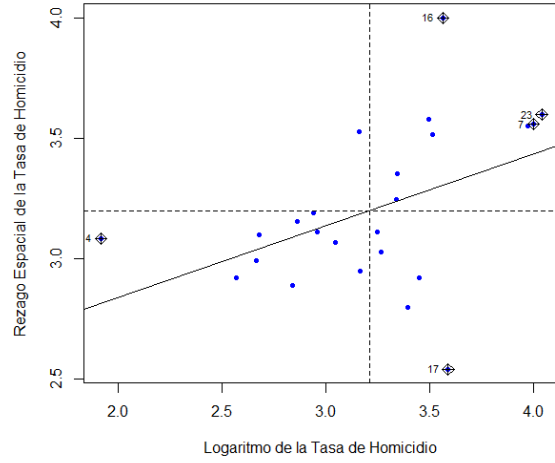
Figura 3.20. Diagramas de dispersión de Moran



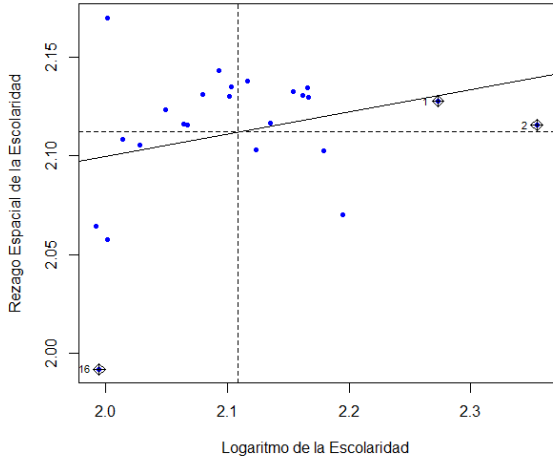
2016



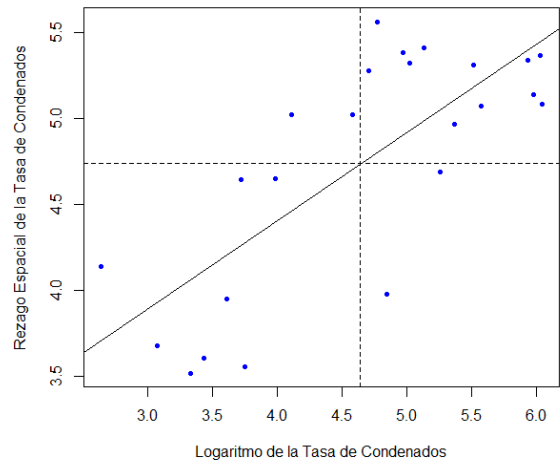
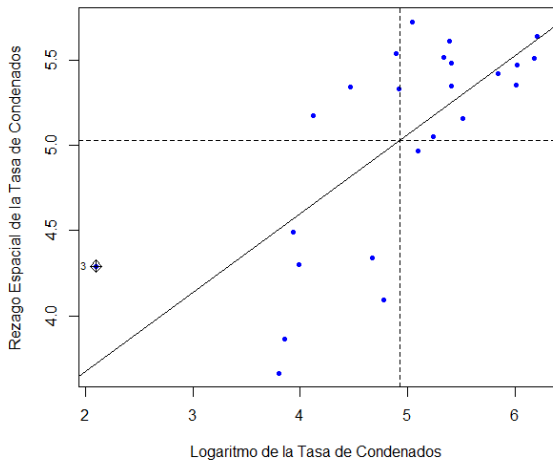
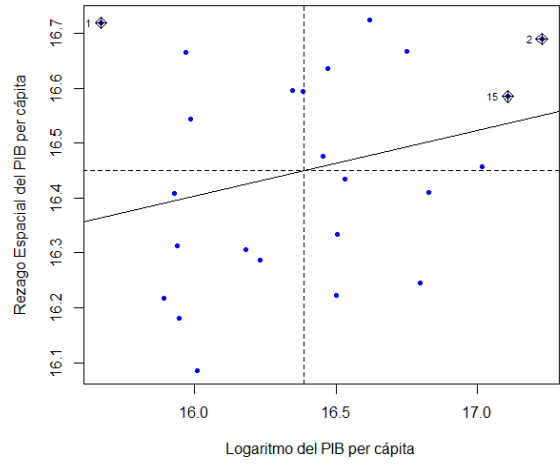
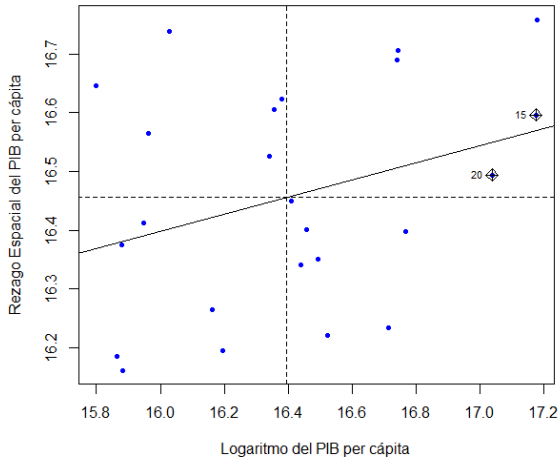
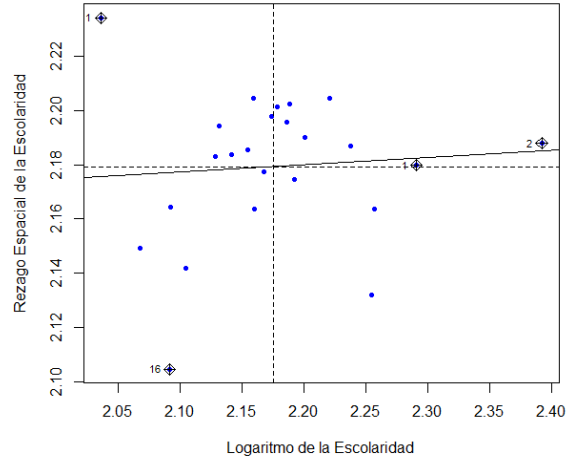
2021

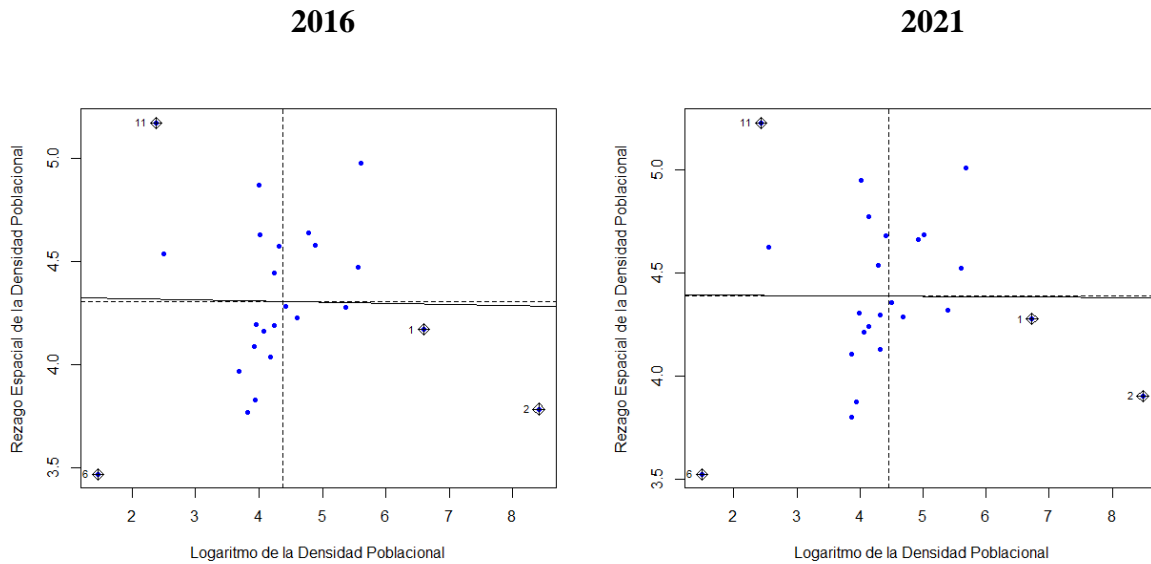


2016



2021





Fuente: Elaboración propia

3.5.5. *Análisis de dependencia local (LISA)*

Con el objetivo de identificar formalmente los clusters para las variables en cuestión, se procede a realizar el análisis de indicadores locales de autocorrelación espacial (LISA). Este análisis se trata de una derivación del análisis de autocorrelación espacial global (Sánchez *et al.*, 2012). En este contexto, los Índices de Moran calculados en la sección anterior se descomponen con el objetivo de identificar observaciones influyentes y valores atípicos. En la presente sección, se considerarán como atípicos aquellos valores que están a más de dos desviaciones estándar de la media o más de 1.5 veces el rango intercuartílico mayor que el tercer cuartil (Anselin, 1995).

El análisis LISA proporciona un I de Moran local, indicando el grado de significancia espacial asociado a la aglomeración de valores similares alrededor de un departamento específico. En esencia, la identificación de clusters espaciales se logra a través de la detección de LISA significativos, destacando así la concentración espacial de departamentos con patrones similares (Sánchez *et al.*, 2012).

3.5.5.1 *Mapas con clúster espacial*

En la figura 3.21 se presentan los mapas de clústeres espaciales correspondientes a cada variable para los años 2016 y 2021. En estos mapas se muestran únicamente los casos de significancia espacial local de por lo menos 90% de confianza. Los clústeres compuestos por departamentos de

color rojo indican *hot spots*; es decir, áreas donde se concentran valores elevados de la variable tanto en el departamento como en sus regiones adyacentes (Alto-Alto). Por otro lado, los departamentos de color azul representan zonas donde se observan valores bajos de la variable tanto en el departamento como en sus vecinos (Bajo-Bajo). Mientras tanto, los departamentos de color azul claro y rosado indican casos de autocorrelación espacial negativa. Cabe resaltar que, al comparar los LISA de 2016 y 2021 no se están mirando los cambios en las variables, sino en la reubicación de los clústeres a lo largo del país.

Como lo menciona Sánchez *et al.*, (2012), los LISA tienen en cuenta la desviación de las variables de cada departamento con respecto a la media nacional para determinar la significancia espacial, por lo que, pueden resultar no significativas ciertas aglomeraciones con departamentos cuyos valores sean comparativamente altas. De ahí que, la conformación de clústeres para cada variable no necesariamente implica un cambio en los valores de estas (Sánchez *et al.*, 2012).

Ahora bien, si se observan los paneles del índice de criminalidad en la figura 3.21, de 2016 y 2021, no se aprecian clústeres espaciales significativos Alto-Alto, ni Bajo-Bajo. Solo el departamento de Chocó presenta significancia espacial local al 95% de confianza en 2016 y 90% de confianza en 2021, formando un clúster Alto-Bajo. Este departamento muestra una autocorrelación espacial negativa, pues es un departamento con altos índices de criminalidad rodeado de departamentos con bajos índices de criminalidad.

En el caso de la tasa de homicidios, en 2016, se observan tres clústeres espaciales significativos: Alto-Alto, Bajo-Bajo y Bajo-Alto. El clúster Alto-Alto está conformado por los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Tolima, Quindío, Cauca y Risaralda. Estos departamentos representan un *hot spot*, pues tienen valores altos en la tasa de homicidios, y a su vez, están rodeados de departamentos con altas tasas de homicidios. Dentro de este clúster, existe un *outlier*: Valle del Cauca. Este departamento registra la tasa de homicidios más alta del país en 2016, 54 homicidios por cada 100,000 habitantes, convirtiéndolo en un departamento especialmente problemático en términos de violencia homicida. Esta aglomeración podría requerir una atención especial y enfoques específicos de intervención para abordar los factores que contribuyen a la alta tasa de homicidios. Por otra parte, en el clúster Bajo-Bajo, solo se encuentra el departamento de Bolívar y en el clúster Bajo-Alto, el departamento de Norte de Santander.

En 2021, se observa que el clúster Alto-Alto se reubicó, tal como lo muestra el segundo panel de la tasa de homicidios. En este año, los departamentos más violentos fueron Valle del Cauca, Cauca y Nariño, siendo los dos primeros significativos al 95% de confianza y el último al 90%. Estos resultados reflejan la persistencia de la violencia homicida en estos departamentos de la región Pacífica. En cuanto al clúster Bajo-Bajo, ahora se ubica en el centro del país, en los departamentos de Cundinamarca y Caldas. Mientras que el clúster Bajo-Alto, está conformado por los departamentos de Norte de Santander, Antioquia y Meta. Por último, el clúster Alto-Bajo, está compuesto por Risaralda, quien antes se encontraba en el clúster Alto-Alto.

En cuanto a la pobreza monetaria extrema, se observan cambios en los clústeres entre 2016 y 2021. En este último año, se identifica un clúster Alto-Alto, Bajo-Bajo y Bajo-Alto. El clúster Alto-Alto está conformado por los departamentos de la Guajira y Cesar, en el norte del país. Cabe resaltar que, La Guajira es el departamento con mayor pobreza en el país, aproximadamente el 40% de su población está en pobreza extrema.

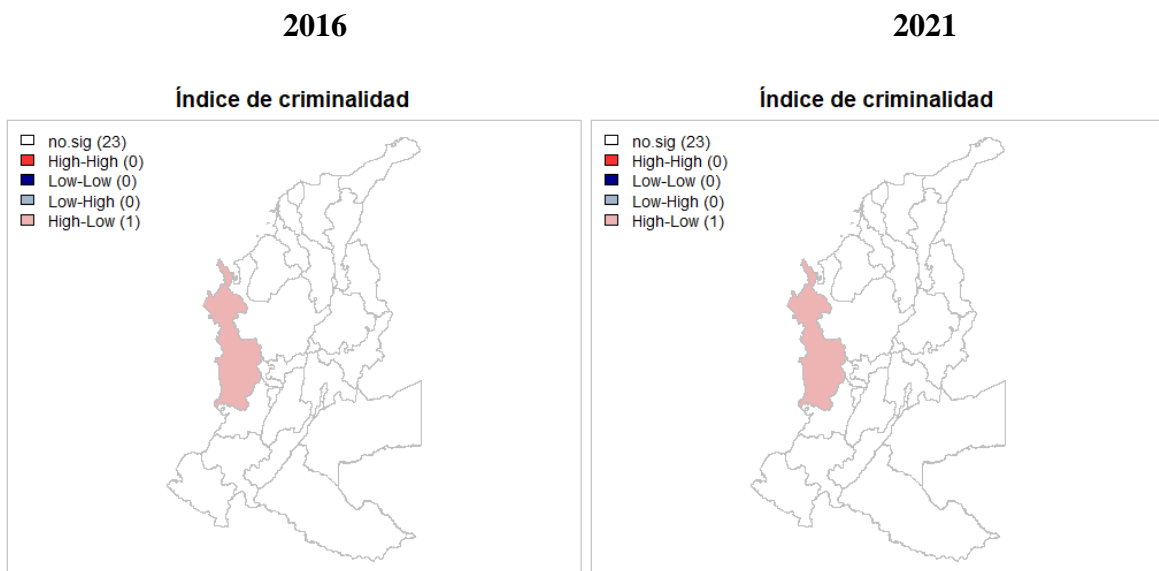
Una mirada a los paneles del PIB per cápita, permite evidenciar un clúster Alto-Alto, tanto en 2016 como en 2021, conformado por algunos departamentos de la región Andina. En 2016, se ubicaban en este clúster Bogotá, D.C., Cundinamarca y Boyacá, siendo estos dos últimos significativos al 95% de confianza. En estos departamentos se concentra el tejido empresarial colombiano, donde Bogotá, D.C. es el centro económico principal. Para 2021, esta ciudad deja de tener una autocorrelación espacial significativa y solo hacen parte del clúster Cundinamarca y Boyacá, los cuales fueron estadísticamente significativos al 90% y 95% de confianza, respectivamente. La permanencia de Cundinamarca y Boyacá en el clúster Alto-Alto indica una estabilidad económica relativa a lo largo del tiempo, lo que podría traducirse en oportunidades de crecimiento continuo y mejoras en el bienestar de sus habitantes.

Por otra parte, los paneles de la tasa de condenados muestran la existencia de dos clústeres: Alto-Alto y Bajo-Bajo en 2016 y 2021. En 2016, el clúster Bajo-Bajo lo conforman los departamentos de Atlántico, Magdalena y Cesar, quienes resultan significativos al 95% de confianza (excepto Atlántico). Estos departamentos de la región Caribe están rodeados por otros departamentos cuyas tasas de condenados también son bajas. En 2021, Cesar deja de tener una autocorrelación espacial significativa, mientras que se agregan a esta aglomeración otros departamentos como Bolívar y

Córdoba, ambos significativos al 95% de confianza. En esta región del norte del país se encuentra el 16% de los establecimientos carcelarios del país y la tasa de condenados no supera los 62 por cada 100,000 habitantes. En contraste, los departamentos ubicados en el clúster Alto-Alto en 2016, Meta, Boyacá, Huila y Cundinamarca, registran tasas de condenados cercanas a los 317 por cada 100,000 habitantes y cuentan con alrededor del 40% de los centros carcelarios del país. Este clúster se reubica incluyendo ahora los departamentos de Cauca y Tolima, quedando por fuera Boyacá.

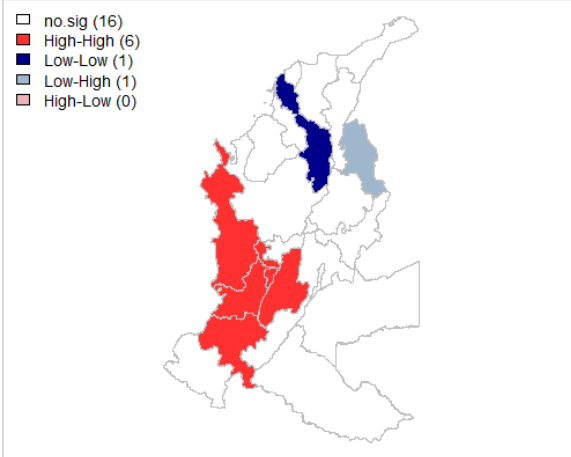
En lo que respecta a las otras variables como la escolaridad, la cantidad de hombres entre 15 y 25 años, y la densidad poblacional, no se observaron clústeres espaciales significativos, por lo que no se muestran en la figura 3.21.

Figura 3.21. Mapas de clústeres espaciales, 2016 y 2021



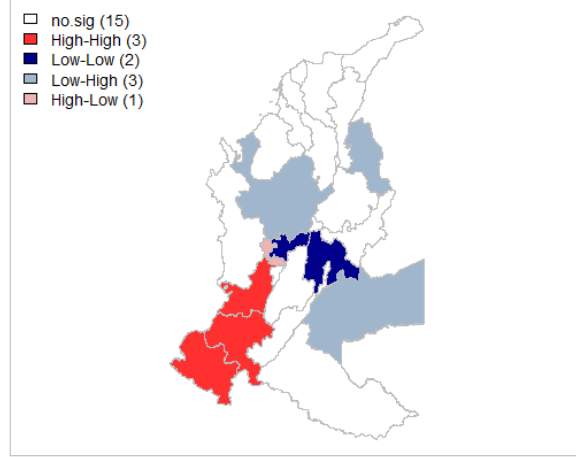
2016

Tasa de Homicidios

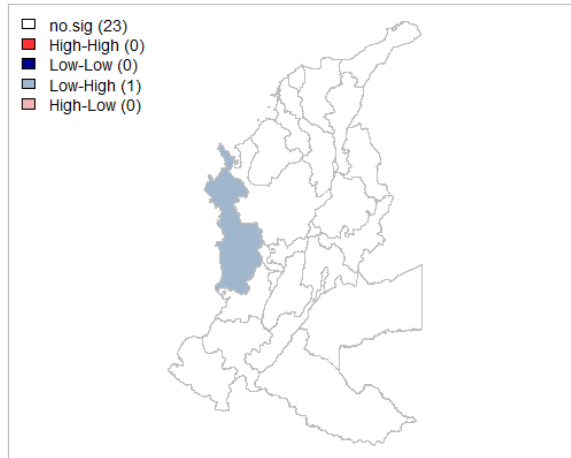


2021

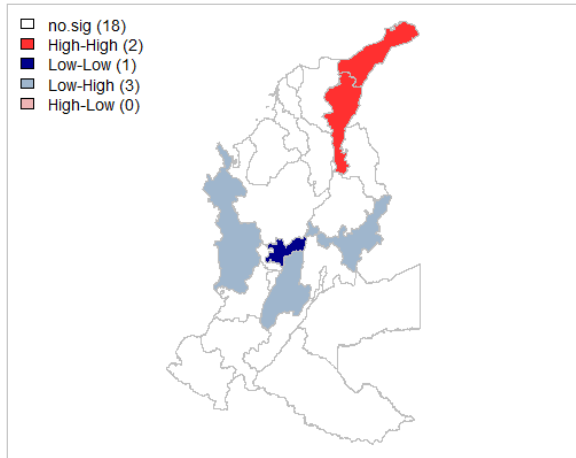
Tasa de Homicidios



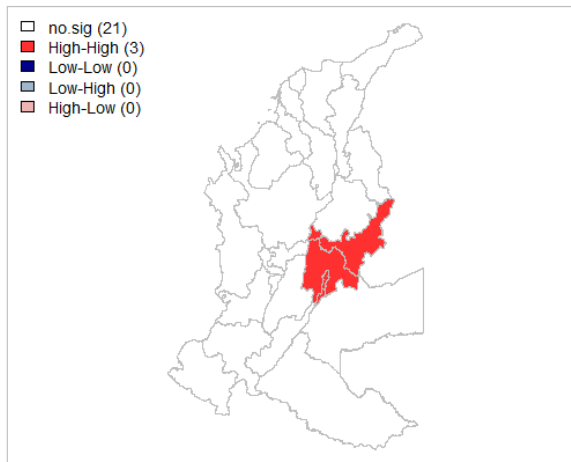
Incidencia de la Pobreza Monetaria Extrema



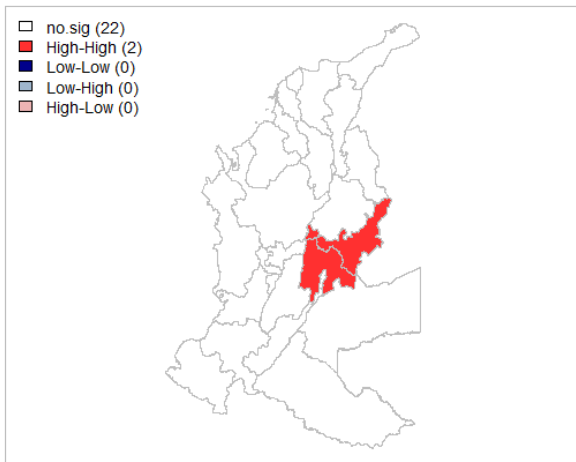
Incidencia de la Pobreza Monetaria Extrema



PIB per cápita

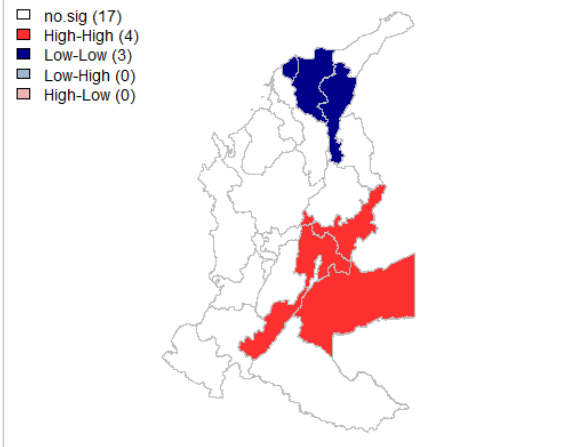


PIB per cápita



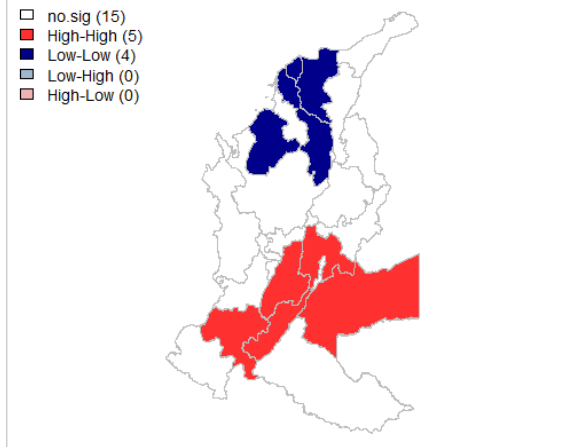
2016

Tasa de Condenados



2021

Tasa de condenados



Fuente: Elaboración propia

4. Resultados

En el capítulo anterior, se identificó mediante el análisis exploratorio de datos espaciales, la posible presencia de dependencia espacial en una de las variables endógenas: la tasa de homicidio. Sin embargo, esta dependencia espacial puede también manifestarse en un contexto de modelización. En el presente capítulo, se lleva a cabo el denominado análisis confirmatorio de datos espaciales, el cual está constituido por las distintas especificaciones para los modelos espaciales, los contrastes de especificación y las estrategias para la selección de modelos.

Los efectos espaciales serán especificados en un esquema de modelos de datos panel, los cuales conducen a efectos espaciales considerando la heterogeneidad individual y las dimensiones transversales para probar si existe dependencia espacial. Estos modelos se utilizan cuando se dispone de información a lo largo del tiempo y a través de diferentes unidades, como individuos, empresas o regiones. Una de las ventajas de utilizar un panel de datos es que da como resultado una mayor disponibilidad de grados de libertad y, por tanto, aumenta la eficiencia en la estimación (Elhorst, 2011). Para la presente investigación, se construye un panel de datos balanceado compuesto por 144 observaciones, las cuales están distribuidas en 24 departamentos a lo largo de un periodo de seis años, desde 2016 hasta 2021. Este panel es balanceado, ya que el número de observaciones transversales es constante a lo largo de los periodos de tiempo.

Se ejecutarán distintos modelos para las dos variables endógenas: la tasa de homicidio y el índice de criminalidad. Aunque no se encontró evidencia de autocorrelación espacial del índice de criminalidad en el capítulo anterior, es posible que existan otros factores espaciales o temporales que podrían influir en esta variable. Dentro de los modelos a estimar se encuentran el modelo panel pool, el modelo panel con rezago espacial (SAR), el modelo panel con error espacial (SEM), el modelo panel mixto de rezago y error espacial (SARAR) y, por último, el modelo panel Durbin espacial (SDM). Todos estos modelos serán estimados considerando tanto efectos fijos como aleatorios. Asimismo, se mostrarán las estimaciones de los efectos directos, indirectos y totales para los modelos que incluyen rezagos espaciales de las variables endógenas.

Las variables que se utilizarán en estos modelos, y sus logaritmos naturales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.1. Variables endógenas y exógenas incluidas en el análisis

Variable	Descripción
CI	Índice de criminalidad
TH	Tasa de homicidios
ESC	Años de escolaridad
PPC	PIB per cápita a precios constantes de 2015
MEN_15_25	Cantidad de hombres entre 15 y 25 años
POVEX	Incidencia de la pobreza monetaria extrema
CON	Tasa de condenados
LDEN	Densidad poblacional
LCI	Logaritmo natural del índice de criminalidad
LTH	Logaritmo natural de la tasa de homicidios
LESC	Logaritmo natural de los años de escolaridad
LPPC	Logaritmo natural del PIB per cápita a precios constantes de 2015
LMEN_15_25	Logaritmo natural de la cantidad de hombres entre 15 y 25 años
LPOVEX	Logaritmo natural de la incidencia de la pobreza monetaria extrema
LCON	Logaritmo natural de la tasa de condenados
LDEN	Logaritmo natural de la densidad poblacional

Fuente: Elaboración propia

Se propone la siguiente especificación econométrica log-log para el modelo con el índice de criminalidad como variable endógena:

$$LCI_{it} = \alpha_i + \beta_1 LMEN_{15_25_{it}} + \beta_2 LPOVEX_{it} + \beta_3 LESC_{it} + \beta_4 LPPC_{it} + \beta_5 LCON_{it} + \beta_6 LDEN_{it} + \varepsilon_{it}$$

Donde i , hace referencia a los departamentos y t a los años de 2016 a 2021.

En la tabla 4.2 se muestran los resultados de la estimación del modelo pool mediante MCO, el modelo de efectos fijos y el modelo de efectos aleatorios, para el caso cuando la variable endógena es el índice de criminalidad. Para elegir el mejor modelo, se procede a utilizar la prueba pooling y la prueba de Hausman. La primera compara el modelo pool con el de efectos fijos, mientras que, la segunda compara el modelo de efectos fijos con el modelo de efectos aleatorios. Por un lado, la prueba pooling arroja un p-valor inferior al 5%, por lo que no es posible rechazar la hipótesis alternativa: es mejor el modelo de efectos fijos que el modelo pool. Por su parte, la prueba de

Hausman al tener un p-valor superior al 5% indica que no es posible rechazar la hipótesis nula: es mejor el modelo de efectos aleatorios que el modelo de efectos fijos.

Tabla 4.2. Estimaciones del modelo pool con el índice de criminalidad como variable endógena

Coefficiente	Pooling	Within	Random
(Intercept)	-2.533***	-	-0.726
lmen_15_25	0.168***	-0.068***	0.119
lpovex	0.023***	0.002	0.007
lesc	-0.092	-0.513	-0.374***
lppc	0.032*	-0.030	-0.019
lcon	0.024***	-0.011	-0.014
liden	0.009*	0.366***	0.108*
Adj. R-Squared	0.881	0.036	0.165
Departamentos	24	24	24
Años	6	6	6
N	144	144	144
p-value	< 2.22e-16	3.1492e-05	6.0321e-06

Nota. *** p < 0.01, ** p < 0.05, y * p < 0.1.

Fuente: Elaboración propia

Con base en las pruebas anteriores, el modelo más adecuado es el de efectos aleatorios. Este modelo tiene un R^2 ajustado bajo. Aproximadamente el 17% de la variabilidad en el índice de criminalidad está siendo explicado por el modelo. En cuanto a las variables que explican el índice, solo resulta significativa al 99% de confianza el logaritmo de la escolaridad. Al estar en logaritmos, las variables se interpretan como elasticidades. En este caso, el coeficiente asociado a la escolaridad (-0.374) se interpreta como sigue: un aumento del 1% en los años de escolaridad está asociado con una disminución del 0.374% en el índice de criminalidad, manteniendo constantes las demás variables.

Si se considera la tasa de homicidio como variable endógena, la especificación del modelo que se propone es la siguiente:

$$LTH_{it} = \alpha_i + \beta_1 LMEN_{15_25_{it}} + \beta_2 LPOVEX_{it} + \beta_3 LESC_{it} + \beta_4 LPPC_{it} + \beta_5 LCON_{it} + \beta_6 LDEN_{it} + \varepsilon_{it}$$

Donde i , hace referencia a los departamentos y t a los años de 2016 a 2021.

Al igual que en el caso del índice de criminalidad, se estima el modelo panel pool y los modelos panel con efectos fijos y aleatorios. Los resultados de estos modelos se muestran en la tabla 4.3. Siguiendo la metodología aplicada anteriormente, se realizan las pruebas pooling y Hausman para identificar el modelo más adecuado. De acuerdo con la prueba pooling, el modelo de efectos fijos es el mejor en comparación con el pool, ya que el p-valor obtenido es inferior a 0.05. En tanto que, la prueba de Hausman indica que el mejor modelo es el de efectos aleatorios. Sin embargo, como puede apreciarse en los resultados de la tabla 4.3, el modelo con efectos aleatorios tiene un R^2 ajustado muy bajo, lo que refleja que la mayoría de la variabilidad en la tasa de homicidios no está siendo explicada por las variables exógenas incluidas en el modelo.

Tabla 4.3. Estimaciones del modelo pool con la tasa de homicidios como variable endógena

Coefficiente	Pooling	Within	Random
(Intercept)	9.711***	-	-13.275*
lmen_15_25	0.138*	2.683***	1.069**
lpovex	0.032	-0.009	-0.041
lesc	0.591	0.194	-0.415
lppc	-0.608***	0.807***	0.471*
lcon	0.132*	-0.174***	-0.169***
liden	-0.049	-1.753**	-0.496
Adj. R-Squared	0.129	-0.029	0.090
Departamentos	24	24	24
Años	6	6	4
N	144	144	144
p-value	0.0003	0.001	0.003

Nota. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, y * $p < 0.1$.

Fuente: Elaboración propia

Aun así, las interpretaciones para las variables que resultaron significativas se muestran a continuación. El coeficiente del logaritmo de la tasa de condenados es negativo (-0.169) y el del logaritmo de la cantidad de hombres jóvenes es positivo (1.069). Esto indica que un incremento del 1% en la tasa de condenados está asociado a una disminución del 0.169% en la tasa de homicidios, mientras que un incremento del 1% en la cantidad de hombres entre 15 y 25 años se

asocia con un incremento en la tasa de homicidios del 1.069%, manteniendo constantes las demás variables exógenas.

Una vez calculado el modelo pool, se procede a verificar si existe o no dependencia espacial en el modelo. Para ello, se aplican las pruebas de multiplicadores de Lagrange (LM): error espacial, rezago espacial, error espacial robusto y rezago espacial robusto. Con estas pruebas, lo que se busca es determinar si se debe considerar la inclusión de los términos espaciales en el modelo. De no ser así (no se detecta dependencia espacial) el modelo pool puede ser adecuado para los datos. Para el caso donde el índice de criminalidad es la variable endógena, las pruebas sugieren que hay autocorrelación espacial significativa en los errores del modelo, pero no en los retardos espaciales. Por su parte, al considerar la tasa de homicidios como variable endógena, los resultados de las pruebas indican que hay una fuerte autocorrelación espacial en los retardos espaciales. Para confirmar la presencia de efectos espaciales, se estiman los modelos de rezago espacial, error espacial, SARAR y Durbin espacial.

Si se considera un modelo de rezago espacial con el índice de criminalidad como variable endógena, las estimaciones resultan como se muestra en la tabla 4.4. En ésta se muestran dos modelos panel con rezago espacial con efectos fijos y aleatorios. Aplicando la prueba de Hausman para elegir el modelo más adecuado, se obtiene un p-valor inferior a 0.05, lo que indica que es mejor usar el modelo con efectos fijos.

Los resultados del modelo de rezago espacial con efectos fijos reflejan que dos de las variables exógenas resultan significativas al 99% de confianza: el logaritmo de la escolaridad y el logaritmo de la densidad poblacional. En cuanto a la primera variable, su coeficiente es igual a -0.513, lo que indica que un aumento del 1% en los años de escolaridad está asociado con una disminución del 0.513% en el índice de criminalidad. El coeficiente de la segunda variable significativa es igual a 0.366, lo que indica que un aumento del 1% en la densidad poblacional producirá un aumento del 0.366% en el índice de criminalidad.

Tabla 4.4. Estimaciones del modelo SAR con el índice de criminalidad como variable endógena

Coefficiente	Within	Random
(Intercept)	-	-2.335***
lmen_15_25	-0.065	0.166***
lpovex	0.002	0.015**
lesc	-0.513***	-0.216***
lppc	-0.030	0.043**
lcon	-0.011	0.007
lden	0.366***	0.010
ρ	-0.097	-0.123

Nota. *** p < 0.01, ** p < 0.05, y * p < 0.1.

Fuente: Elaboración propia

Dentro de estos resultados también se observa el coeficiente de rezago espacial ρ , el cual resulta no significativo. Este coeficiente se refiere al efecto espacial autorregresivo; es decir, la influencia que una observación en una ubicación tiene sobre las observaciones en ubicaciones cercanas. En el modelo de efectos fijos ρ es igual a -0.097. Un ρ negativo sugiere que existe una correlación negativa entre las observaciones en ubicaciones cercanas. Es decir, un aumento en el índice de criminalidad en un departamento está asociado con una disminución en el índice de criminalidad en los departamentos cercanos, o viceversa.

Ahora bien, considerando como variable endógena la tasa de homicidios, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 4.5. Con base en la prueba de Hausman, se determina que el modelo más adecuado es el de efectos aleatorios, pues el p-valor es superior al 5%, y por lo tanto, no es posible rechazar la hipótesis nula. En este modelo, el coeficiente rho resulta significativo al 99% de confianza y presenta signo positivo (0.293), lo cual es coherente con el análisis exploratorio de datos que se ha realizado. Este parámetro de rezago espacial indica que un aumento del 1% de la tasa de homicidios en un departamento conlleva a un aumento del 0.293% en la tasa de homicidios de sus departamentos vecinos.

Por otra parte, solo una de las variables exógenas resulta significativa: el logaritmo de la tasa de condenados al 99% de confianza. El coeficiente de esta variable se interpreta como sigue: un

aumento del 1% en la tasa de condenados está asociado con una disminución del 0.137% en la tasa de homicidios.

Tabla 4.5. Estimaciones del modelo SAR con la tasa de homicidios como variable endógena

Coefficiente	Within	Random
(Intercept)	-	2.618
lmen_15_25	2.434***	0.105
lpovex	-0.013	-0.054
lesc	0.120	-0.578
lppc	0.674**	0.054
lcon	-0.180***	-0.137***
lden	-1.693**	-0.112
ρ	0.177*	0.293***

Nota. *** p < 0.01, ** p < 0.05, y * p < 0.1.

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, estimando el modelo de error espacial tomando como variable endógena el índice de criminalidad se obtienen los resultados mostrados en la tabla 4.6. Para la elección del modelo más adecuado, se tiene en cuenta la prueba de Hausman, la cual arroja un p-valor inferior a 0.05, por lo que no se puede rechazar la hipótesis alternativa, es mejor el modelo de efectos fijos.

Tabla 4.6. Estimaciones del modelo SEM con el índice de criminalidad como variable endógena

Coefficiente	Within	Random
(Intercept)	-	-2.374***
lmen_15_25	-0.076	0.170***
lpovex	0.001	0.014**
lesc	-0.510***	-0.214***
lppc	-0.031	0.043**
lcon	-0.011	0.006
lden	0.370***	0.010
λ	-0.063	-0.037

Nota. *** p < 0.01, ** p < 0.05, y * p < 0.1.

Fuente: Elaboración propia

En este modelo, resultan significativas al 99% de confianza el logaritmo de los años de escolaridad y el logaritmo de la densidad poblacional. El coeficiente de la primera variable es igual a -0.510, lo que indica que un aumento del 1% en los años de escolaridad conduce al decrecimiento del índice de criminalidad en 0.510%. En tanto que, el logaritmo de la densidad poblacional, refleja que un aumento del 1% en la densidad poblacional genera un aumento del 0.370% en el índice de criminalidad, manteniendo constantes todas las demás variables. En este caso, λ no es significativo al 95% de confianza, esto sugiere que no hay autocorrelación espacial en los errores del modelo. En otras palabras, los errores en diferentes ubicaciones son independientes entre sí.

Por otra parte, los resultados de las estimaciones cuando la tasa de homicidios es la variable endógena se muestran en la tabla 4.7. A partir de estas estimaciones se realiza la prueba de Hausman para determinar cuál es el mejor modelo, si el de efectos fijos o aleatorios. Los resultados sugieren que se prefiere el modelo de efectos aleatorios, ya que el p-valor es superior al 5%, y por lo tanto, no se puede rechazar la hipótesis nula. En este modelo, el logaritmo de la tasa de condenados es la única variable que resulta significativa al 95% de confianza. El coeficiente de esta variable indica que ante un incremento del 1% en la tasa de condenados, la tasa de homicidios se reducirá en 0.136%, manteniendo todo lo demás constante. Asimismo, se puede apreciar que el término de dependencia espacial en los errores λ resulta significativo al 95% de confianza. Este parámetro sugiere que un aumento del 1% en los errores (ε) en un departamento genera un incremento del 0.282% en las innovaciones de sus departamentos vecinos.

Tabla 4.7. Estimaciones del modelo SEM con la tasa de homicidios como variable endógena

Coefficiente	Within	Random
(Intercept)	-	4.647
lmen_15_25	2.473***	0.080
lpovex	-0.024	-0.072
lesc	-0.015	-0.752
lppc	0.663**	0.028
lcon	-0.183***	-0.136**
lden	-1.727**	-0.108
λ	0.185*	0.282**

Nota. *** p < 0.01, ** p < 0.05, y * p < 0.1.

Fuente: Elaboración propia

Si se estima un modelo SARAR con el índice de criminalidad como variable endógena se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 4.8. Aplicando la prueba de Hausman, se decide escoger el modelo de efectos fijos, pues el p-valor resulta ser inferior a 0.05, por lo que, no se puede rechazar la hipótesis alternativa. En este modelo, rho es negativo y lambda es positiva, sin embargo son no significativos al 95% de confianza. Las variables exógenas significativas son el logaritmo de la escolaridad y el logaritmo de la densidad poblacional, ambas al 99% de confianza. El coeficiente de la primera variable muestra que ante un aumento del 1% en los años de escolaridad, el índice de criminalidad disminuye 0.514%. El coeficiente de la segunda muestra que ante un incremento del 1% en la densidad poblacional, el índice de criminalidad aumenta 0.363%.

Tabla 4.8. Estimaciones del modelo SARAR con el índice de criminalidad como variable endógena

Coefficiente	Within	Random
(Intercept)	-	-2.303***
lmen_15_25	-0.060	0.165***
lpovex	0.002	0.016**
lesc	-0.514***	-0.231***
lppc	-0.030	0.043**
lcon	-0.011	0.008
lden	0.363***	0.011
ρ	-0.125	-0.198
λ	0.036	0.125

Nota. *** p < 0.01, ** p < 0.05, y * p < 0.1.

Fuente: Elaboración propia

Las estimaciones del modelo SARAR cuando la variable endógena es la tasa de homicidios se muestran en la tabla 4.9. Aplicando la prueba de Hausman, se elige el modelo SARAR con efectos aleatorios, pues el p-valor es mayor a 0.05. En el modelo con efectos aleatorios, los parámetros ρ y λ tienen signos opuestos, y solo uno de ellos es significativo al 99% de confianza. Sin embargo, SARAR tiene su fundamento en la existencia de ambos parámetros espaciales. La única variable exógena que resulta significativa es el logaritmo de la tasa de condenados, la cual tiene un signo negativo y es significativa al 99% de confianza.

Tabla 4.9. Estimaciones del modelo SARAR con la tasa de homicidios como variable endógena

Coefficiente	Within	Random
(Intercept)	-	0.884
lmen_15_25	2.293***	0.131
lpovex	0.004	-0.034
lesc	0.314	-0.437
lppc	0.638**	0.077
lcon	-0.162***	-0.127***
lden	-1.673**	-0.116
ρ	0.396*	0.509***
λ	-0.297	-0.347

Nota. *** p < 0.01, ** p < 0.05, y * p < 0.1.

Fuente: Elaboración propia

Por último, estimando un modelo Durbin espacial con el índice de criminalidad como variable endógena, se obtienen los resultados de la tabla 4.10. Si se aplica la prueba de Hausman, el p-valor (0.248) indica que no se puede rechazar la hipótesis nula: el estimador de efectos aleatorios es consistente respecto al estimador por efectos fijos. Es decir, se selecciona el modelo con efectos aleatorios. En este modelo, resultan significativas al 95% de confianza el logaritmo de la cantidad de hombres entre 15 y 25 años, el logaritmo de la pobreza extrema, el logaritmo de la escolaridad, el rezago del logaritmo de la cantidad de hombres entre 15 y 25 años, y el rezago de la tasa de condenados. Por su parte, el parámetro ρ no es significativo, lo que sugiere que no existe dependencia espacial.

Los coeficientes de las variables pueden interpretarse como sigue: un incremento del 1% en la cantidad de hombres entre 15 y 25 años en un departamento, incrementa el índice de criminalidad en 0.163% en el mismo departamento. Asimismo, un incremento del 1% en la pobreza extrema en un departamento, está asociado con un incremento del 0.017% en el índice de criminalidad de ese mismo departamento. Por otra parte, un aumento del 1% en los años de escolaridad en un departamento, genera una disminución del 0.222% en el índice de criminalidad del mismo departamento. En tanto que, el coeficiente del rezago espacial de la cantidad de hombres entre 15 y 25 años muestra que un aumento del 1% de la cantidad de hombres jóvenes en los departamentos

vecinos de i , genera una disminución del 0.109% en el índice de criminalidad del departamento i . Un análisis similar se puede extraer del coeficiente del rezago de la tasa de condenados, un incremento del 1% en la tasa de condenados de los departamentos vecinos de i , genera un aumento del 0.026% en el índice de criminalidad de i .

Tabla 4.10. Estimaciones del modelo SDM con el índice de criminalidad como variable endógena

Coefficiente	Within	Random
(Intercept)	-	-0.980
lmen_15_25	-0.087	0.163***
lpovex	0.009	0.017**
lesc	-0.438***	-0.222**
lppc	-0.052	0.035*
lcon	-0.017	-0.001
lden	0.403***	0.011
wlmen_15_25	0.012	-0.109***
wlpovex	-0.012	-0.006
wlesc	0.002	0.157
wlppc	0.020	-0.019
wlcon	0.012	0.026**
wlden	-0.073	0.005
ρ	-0.079	-0.024

Nota. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, y * $p < 0.1$.

Fuente: Elaboración propia

Para el caso donde la variable endógena es la tasa de homicidios, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 4.11. Con base en la prueba de Hausman, se escoge el modelo Durbin espacial con efectos fijos, ya que el p-valor es inferior al 5%. En este modelo el parámetro ρ tampoco es significativo. Dentro de las variables exógenas que si son significativas, por lo menos al 95% de confianza, se encuentran el logaritmo de la cantidad de hombres entre 15 y 25 años, el logaritmo de la tasa de condenados, el logaritmo de la densidad poblacional, el rezago espacial de la pobreza extrema, el rezago de la escolaridad y el rezago del PIB per cápita.

Tabla 4.11. Estimaciones del modelo SDM con la tasa de homicidios como variable endógena

Coefficiente	Within	Random
(Intercept)	-	5.529
lmen_15_25	3.075***	0.139
lpovex	-0.050	-0.097*
lesc	-1.096	-1.256*
lppc	0.425	-0.097
lcon	-0.122**	-0.129**
lden	-3.442***	-0.091
wlmen_15_25	2.127	-0.743**
wlpovex	0.178**	0.138*
wlesc	3.032**	0.625
wlppc	1.170**	0.373
wlcon	0.020	0.049
wlden	-0.516	0.301
ρ	0.139	0.332***

Nota. *** p < 0.01, ** p < 0.05, y * p < 0.1.

Fuente: Elaboración propia

4.1. Análisis de efectos espaciales (directo, indirecto y total)

En los modelos de regresión espacial que incluyen rezagos espaciales de la variable endógena, los parámetros β no deben interpretarse como si representaran coeficientes de regresión convencionales que describieran el impacto de los cambios en la derivada parcial de las variables exógenas sobre la variable endógena (LeSage, 2015). La forma adecuada de interpretar los resultados del modelo de regresión espacial es en términos de las estimaciones de efectos (LeSage, 2015).

Para los modelos SAR, SARAR y SDM, cuando la variable endógena es el índice de criminalidad, las estimaciones de los efectos se muestran en las tablas 4.12, 4.13 y 4.14, respectivamente. Los efectos para el modelo SAR con efectos fijos indican que, con un nivel de confianza del 99%, un incremento del 1% en los años de escolaridad de un departamento, reducirá el índice de criminalidad en 0.514% sobre sí mismo (efecto directo), pero no sobre sus departamentos vecinos. El efecto total es de -0.468%, el cual resulta también significativo al 99% de confianza. Por su

parte, un aumento en la densidad poblacional del 1% de un departamento incrementa el índice de criminalidad en 0.367% en el mismo departamento, pero al igual que la variable de escolaridad, los efectos indirectos no resultan significativos. El efecto total es de 0.334% (ver tabla 4.12).

Si se observan las estimaciones de los efectos para el modelo SARAR con efectos fijos en la tabla 4.13, se evidencia que la escolaridad y la densidad poblacional son las únicas variables cuyos efectos directos y totales resultan significativos, por lo menos, al 95% de confianza. Para la escolaridad, se estima que un incremento del 1% en los años de escolaridad en un departamento, reduce el índice de criminalidad en 0.516% sobre sí mismo, teniendo un efecto total negativo de 0.457%.

Tabla 4.12. Efectos para modelo SAR con el índice de criminalidad como variable endógena

	Variable	SAR		
		Directos	Indirectos	Totales
Efectos fijos	lmen_15_25	-0.065	0.006	-0.059
	lpovex	0.002	-0.000	0.002
	lesc	-0.514***	0.046	-0.468***
	lppc	-0.030	0.003	-0.028
	lcon	-0.011	0.001	-0.010
	lden	0.367***	-0.033	0.334***
Efectos aleatorios	lmen_15_25	0.167***	-0.019	0.148***
	lpovex	0.015**	-0.002	0.013**
	lesc	-0.217***	0.025	-0.192***
	lppc	0.043*	-0.005	0.038*
	lcon	0.007	-0.001	0.006
	lden	0.011	-0.001	0.009

Nota. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, y * $p < 0.1$.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la densidad poblacional sugieren que un incremento del 1% en esta variable en un departamento generará un incremento de 0.364% en el índice de criminalidad del mismo departamento (ver tabla 4.13). En cuanto al modelo Durbin espacial con efectos aleatorios, las estimaciones de los efectos se muestran en la tabla 4.14. En ella, se observa que los efectos directos del logaritmo de la cantidad de hombres entre 15 y 25 años, de la pobreza extrema, de la escolaridad y del PIB per cápita resultan significativos al 95% de confianza. Un incremento del

1% en la cantidad de hombres entre 15 y 25 años en un departamento específico se asocia con un incremento del 0.163% en su índice de criminalidad. Por su parte, el efecto directo del logaritmo de la pobreza extrema también tiene signo positivo y sugiere que un incremento de la pobreza lleva a un incremento en el índice de criminalidad en el mismo departamento. Cabe resaltar que ninguno de los efectos indirectos es estadísticamente significativo, en tanto que, los efectos totales de las mismas variables son significativos, por lo menos al 90% de confianza.

Tabla 4.13. Efectos para modelo SARAR con el índice de criminalidad como variable endógena

Variable	SARAR			
	Directos	Indirectos	Totales	
Efectos fijos	lmen_15_25	-0.060	0.007	-0.053
	lpovex	0.002	-0.000	0.002
	lesc	-0.516***	0.059	-0.457**
	lppc	-0.030	0.003	-0.027
	lcon	-0.011	0.001	-0.010
	lden	0.364***	-0.042	0.323**
Efectos aleatorios	lmen_15_25	0.166***	-0.029	0.137***
	lpovex	0.016**	-0.003	0.013**
	lesc	-0.233***	0.040	-0.193***
	lppc	0.044**	-0.008	0.036**
	lcon	0.008	-0.001	0.007
	lden	0.011	-0.002	0.009

Nota. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, y * $p < 0.1$.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.14. Efectos para modelo SDM con el índice de criminalidad como variable endógena

	Variable	SDM		
		Directos	Indirectos	Totales
Efectos fijos	lmen_15_25	-0.087	0.006	-0.080
	lpovex	0.009	-0.001	0.008
	lesc	-0.438***	0.033	-0.406***
	lppc	-0.052	0.004	-0.048
	lcon	-0.017*	0.001	-0.016*
	lden	0.403***	-0.030	0.373**
Efectos aleatorios	lmen_15_25	0.163***	-0.004	0.159***
	lpovex	0.017**	-0.0004	0.017**
	lesc	-0.222**	0.005	-0.217*
	lppc	0.035**	-0.001	0.034*
	lcon	-0.001	0.00003	-0.001
	lden	0.011	-0.0003	0.010

Nota. *** p < 0.01, ** p < 0.05, y * p < 0.1.

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, si se toma la tasa de homicidios como la variable endógena, las estimaciones de los efectos que se obtienen se muestran en las tablas 4.15, 4.16 y 4.17. Los efectos para el modelo SAR con efectos aleatorios indican que, con un nivel de confianza del 99%, un incremento del 1% en la tasa de condenas de un departamento reduce la tasa de homicidios en 0.140% sobre sí mismo (efecto directo). Por su parte, el efecto indirecto, con un nivel de confianza del 90%, refleja que un aumento del 1% en la tasa de condenas del departamento i , reduce en promedio un 0.054% la tasa de homicidios de los departamentos de i . El efecto total se estima en -0.194, con un nivel de confianza del 95% (ver tabla 4.15).

En cuanto al modelo SARAR con efectos aleatorios, los resultados indican que solo los efectos directos del logaritmo de la tasa de condenados son significativos al 99% de confianza. Un aumento del 1% en la tasa de condenados en un departamento, reduce la tasa de homicidios en el mismo departamento en un 0.138% (ver tabla 4.16).

Tabla 4.15. Efectos para modelo SAR con la tasa de homicidios como variable endógena

	Variable	SAR		
		Directos	Indirectos	Totales
Efectos fijos	lmen_15_25	2.453***	0.507	2.959***
	lpovex	-0.013	-0.003	-0.016
	lesc	0.121	0.025	0.146
	lppc	0.679***	0.140	0.819***
	lcon	-0.181***	-0.037	-0.219***
	lden	-1.706**	-0.352	-2.058**
Efectos aleatorios	lmen_15_25	0.107	0.041	0.148
	lpovex	-0.056	-0.021	-0.077
	lesc	-0.590	-0.226	-0.817
	lppc	0.055	0.021	0.077
	lcon	-0.140***	-0.054*	-0.194**
	lden	-0.114	-0.044	-0.158

Nota. *** p < 0.01, ** p < 0.05, y * p < 0.1.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.16. Efectos para modelo SARAR con la tasa de homicidios como variable endógena

	Variable	SARAR		
		Directos	Indirectos	Totales
Efectos fijos	lmen_15_25	2.394***	1.404	3.798
	lpovex	0.004	0.002	0.006
	lesc	0.327	0.192	0.519
	lppc	0.665**	0.390	1.056
	lcon	-0.170***	-0.099	-0.269
	lden	-1.746**	-1.024	-2.770
Efectos aleatorios	lmen_15_25	0.142	0.125	0.267
	lpovex	-0.036	-0.032	-0.069
	lesc	-0.472	-0.418	-0.890
	lppc	0.083	0.073	0.156
	lcon	-0.138***	-0.122	-0.259
	lden	-0.125	-0.111	-0.236

Nota. *** p < 0.01, ** p < 0.05, y * p < 0.1.

Fuente: Elaboración propia

Por su parte, los efectos estimados para el modelo SDM con efectos fijos cuando la variable endógena es la tasa de homicidios, se muestran en la tabla 4.17. En esta se puede observar que solo los efectos directos y totales del logaritmo de la cantidad de hombres entre 15 y 25 años, el logaritmo de la tasa de condenados y el logaritmo de la densidad poblacional, resultan significativos, por lo menos al 95% de confianza. En el caso de la tasa de condenados, el efecto directo indica que un aumento del 1% en dicha variable en un departamento, genera una disminución del 0.123% en ese departamento, pero no sobre sus vecinos debido a que los efectos indirectos no resultaron significativos.

Tabla 4.17. Efectos para modelo SDM con la tasa de homicidios como variable endógena

	Variable	SDM		
		Directos	Indirectos	Totales
Efectos fijos	lmen_15_25	3.089***	0.483	3.572***
	lpovex	-0.050	-0.008	-0.058
	lesc	-1.101	-0.172	-1.274
	lppc	0.427	0.067	0.494
	lcon	-0.123**	-0.019	-0.142**
	lden	-3.458***	-0.541	-3.999***
Efectos aleatorios	lmen_15_25	0.143	0.065	0.207
	lpovex	-0.100*	-0.045	-0.145
	lesc	-1.292	-0.588	-1.880
	lppc	-0.100	-0.046	-0.146
	lcon	-0.132**	-0.060	-0.193**
	lden	-0.093	-0.043	-0.136

Nota. *** p < 0.01, ** p < 0.05, y * p < 0.1.

Fuente: Elaboración propia

De todos los modelos expuestos, el modelo Durbin espacial con efectos aleatorios con el índice de criminalidad como variable endógena, y el modelo Durbin espacial con efectos fijos con la tasa de homicidios como variable endógena, son los que presentan la mayor cantidad de parámetros estadísticamente significativos, por lo menos al 95% de confianza. Sin embargo, el primer modelo contiene también variables significativas al 90% de confianza. En este se observa que la pobreza extrema tiene un efecto directo positivo y significativo sobre el índice de criminalidad. Con todo, el parámetro rho en ambos modelos es no significativo. El modelo SAR con efectos aleatorios

cuando la variable endógena es la tasa de homicidios, es el único con el parámetro de rezago espacial significativo. A pesar de que solo una de sus variables es significativa al 99% de confianza (el logaritmo de la tasa de condenados), este muestra significancia en los efectos directos, indirectos y totales.

5. Conclusiones

La presente investigación tuvo como objetivo identificar patrones espaciales de la criminalidad en los departamentos de Colombia entre 2016 y 2021, así como determinar los factores socioeconómicos que explican el fenómeno en dichos departamentos. Para ello, se utilizaron las herramientas de la econometría espacial que comprende el análisis exploratorio y el análisis confirmatorio de datos espaciales.

Se propuso la construcción de un índice de criminalidad departamental que reuniera varios de los delitos de alto impacto en el país, el cual fue introducido en el análisis como variable endógena. Asimismo, dado el amplio uso de la tasa de homicidios dentro de la literatura, también se consideró como variable endógena. Por una parte, los resultados del Índice de Moran reflejan la existencia de dependencia espacial en la tasa de homicidios, pero no en el índice de criminalidad. El análisis LISA permitió la identificación de *hot spots* en términos de la tasa de homicidios en departamentos como Valle del Cauca, Cauca y Nariño en 2021. Valle del Cauca se identifica como *outlier*, lo que sugiere una especial atención a este departamento, ya que los clústeres muestran persistencia del fenómeno a lo largo de los años en él. Este hallazgo se asemeja a lo encontrado por Álvarez y González (2012).

Los factores exógenos considerados en el análisis incluyen predictores socioculturales, socioeconómicos y predictores relacionados con el sistema de justicia penal, tales como la densidad poblacional, el PIB per cápita, la pobreza, el nivel educativo, la tasa de condenados, entre otros. Dentro de este grupo de variables, la única que mostró dependencia espacial fue la tasa de condenados, cuyos puntos calientes se ubican en departamentos como Cauca, Meta y Huila en 2021.

Para determinar los factores que se asocian con la criminalidad en los departamentos se estimaron modelos panel espacial, debido a que estos conducen a efectos espaciales considerando la heterogeneidad individual y las dimensiones transversales para probar si existe dependencia espacial. Estos modelos consideraron tanto efectos fijos como aleatorios: el modelo de rezago espacial (SAR), el modelo de error espacial (SEM), el modelo mixto de rezago y error espaciales (SARAR), y el modelo Durbin espacial (SDM). Cada uno de ellos se estimó para las dos variables

endógenas mencionadas anteriormente. Se obtuvieron los efectos directos, indirectos y totales para aquellos con rezagos espaciales de la variable endógena.

Los resultados sugieren que el modelo más adecuado es el modelo de rezago espacial con efectos aleatorios cuando la variable endógena es la tasa de homicidios. En este, el parámetro de rezago espacial indica que un aumento del 1% de la tasa de homicidios en un departamento conlleva a un aumento del 0.293% en la tasa de homicidios de sus departamentos vecinos. Los efectos espaciales estimados para este modelo sugieren que la única variable significativa que explica la tasa de homicidios es la tasa de condenados. Con un nivel de confianza del 99%, un incremento del 1% en la tasa de condenas de un departamento reduce la tasa de homicidios en 0.140% sobre sí mismo (efecto directo). Mientras que, con un nivel de confianza del 90%, un aumento del 1% en la tasa de condenas del departamento i , reduce en promedio un 0.054% la tasa de homicidios de los departamentos de i (efecto *spillover*). Con base en estos resultados, se podría considerar fortalecer el sistema judicial para asegurar que los delitos sean procesados de manera eficiente y justa.

A partir de este modelo, se puede rechazar la hipótesis de que existe una asociación significativa entre las variables socioeconómicas, como la pobreza, y los niveles de criminalidad (medida a través de la tasa de homicidios) en los departamentos de Colombia durante el periodo 2016-2021. Pero, se constata la hipótesis de que la distribución de la actividad criminal en los departamentos de Colombia no es uniforme durante el periodo 2016-2021, medida a través de la tasa de homicidios). Ciertos departamentos exhiben niveles de criminalidad más altos que otros, y se postula la existencia de un posible patrón de expansión de la criminalidad desde áreas con mayores índices criminales hacia los departamentos adyacentes.

Aunque el índice de criminalidad propuesto no mostró dependencia espacial, y los modelos donde se considera como variable endógena no fueron seleccionados debido a la falta de significancia en los parámetros espaciales, es posible identificar en futuras investigaciones otros factores relevantes que puedan estar siendo omitidos, así como considerar otros modelos que no asuman la dependencia espacial o realizar un análisis a un nivel de desagregación mayor, por ejemplo, para los municipios.

Referencias

- Akers, R. (1999). *Criminological Theories* (Segunda ed.). Routledge.
- Allen, F. (1955). Pioneers in Criminology IV--Raffaele Garofolo (1854-1934). *Journal of Criminal Law and Criminology*, 45, 373-390.
- Álvarez, C., y González, C. (2012). Análisis espacial de la violencia homicida en el pacífico colombiano. *Revista de Economía y Administración*, 9(1), 69-85.
- Anselin, L. (1988). *Spatial econometrics: methods and models*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association-LISA. *Geographical Analysis*, 93-115.
- Anselin, L. (1996). The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association. En M. Fisher (Ed.), *Spatial Analytical Perspectives on GIS* (Primera ed.). Londres: Routledge.
- Beccaria, C. ([1764] 2015). *Tratado de los delitos y de las penas* (Vol. 32). Madrid: Carlos III University of Madrid.
- Becker, G. (1968). Crime and Punishment: An Economic Approach. *Journal of Political Economy*, 76(2), 169-217.
- Bentham, J. ([1789] 1962). An introduction to the principles of morals and legislation. En J. Bowring, *The Works of Jeremy Bentham* (Vol. I). New York: Russell y Russel INC.
- Block, M., y Heineke, J. (1975). A Labor Theoretic Analysis of the Criminal Choice. *The American Economic Review*, 65(3), 314-325.
- Boivin, R. (2018). Routine activity, population(s) and crime: Spatial heterogeneity and conflicting Propositions about the neighborhood crime-population link. *Applied Geography*, 79-87.
- Bonger, W. (1916). *Criminality and Economic Conditions*. (H. Horton, Trad.) Boston: Little, Brown, and Company.
- Brantingham, P., y Brantingham, P. (1984). *Patterns in Crime*. New York: Macmillan.

- Brantingham, P., y Brantingham, P. (1993). Environment, Routine and Situation: Toward a Pattern Theory of Crime. En M. Andresen, P. Brantingham, y J. Bryan Kinney, *Classics in Environmental Criminology* (págs. 365-390). Simon Fraser University Publications.
- Brantingham, P., Brantingham, P., y Andresen, M. (2017). The geometry of crime and crime pattern theory. En R. Wortley, y M. Townsley (Edits.), *Environmental criminology and crime analysis* (Segunda ed., págs. 98-115). Routledge.
- Burgess, E. (1925). The growth of the city: an introduction to a research project. En R. Park, y E. Burgess, *The City* (págs. 47-62). The University of Chicago Press.
- Byrne, J., y Sampson, R. (1986). Key Issues in the Social Ecology of Crime. En J. Byrne, y R. Sampson (Edits.), *The Social Ecology of Crime* (págs. 1-22). New York: y Springer Science+Business Media.
- Cámara de Comercio de La Guajira. (2022). *Estudio Socioeconómico de La Guajira 2021*. Riohacha: Cámara de Comercio de La Guajira.
- CEPAL. (2023). *Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe 2022*. Santiago: Naciones Unidas.
- Cid, J., y Larrauri, E. (2001). *Teorías criminológicas: Explicación y prevención de la delincuencia* (Primera ed.). Barcelona: Editorial Bosch.
- Clarke, R., y Cornish, D. (1985). Modeling Offenders' Decisions: A Framework for Research and Policy. (T. U. Press, Ed.) *Crime and Justice*, 6, 147-185.
- Cloward, R., y Ohlin, L. (1960). *Delinquency and Opportunity: A Theory of Delinquent Gangs*. Free Press.
- Cohen, L., y Felson, M. (1979). Social Change and Crime Rate Trends: A Routine Activity Approach. *American Sociological Review*, 44(4), 588-608.
- Collazos, D., García, E., Mejía, D., Ortega, D., y Tobón, S. (2019). Hot spots policing in a high crime environment: An experimental evaluation in Medellín. *Documentos Cede*.
- Courtright, K., y Mutchnick, R. (2002). Cartographic School of Criminology. En L. David (Ed.), *Encyclopedia of Crime and Punishment* (Vol. 1). SAGE Publications, Inc.

- Cubides, F., Olaya, A., y Ortiz, C. (1998). *La violencia y el municipio colombiano 1980-1997*. Santafé de Bogotá: Centro de Estudios Sociales, CES.
- Cullen, F., y Wilcox, P. (2010a). Ferri, Enrico: Positivist School. En *Encyclopedia of Criminological Theory* (Vol. 1, págs. 336-337). Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc. doi:<https://dx.doi.org/10.4135/9781412959193.n91>
- Cullen, F., y Wilcox, P. (2010b). Lombroso, Cesare: The Criminal Man. En *Encyclopedia of Criminological Theory* (págs. 561-565). Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc. doi:<https://dx.doi.org/10.4135/9781412959193.n155>
- DANE. (4 de Septiembre de 2023b). *Anuario Estadístico. Tomo I Demográfico*. Obtenido de DANE: https://geoportal.dane.gov.co/servicios/atlas-estadistico/src/Tomo_I_Demografico/2.2.3.-densidad-de-la-poblaci%C3%B3n-en-colombia.html
- Departamento Administrativo de la Función Pública. (2000). *Ley 599 de 2000. Por la cual se expide el Código Penal*.
- Departamento Administrativo de la Función Pública. (2020). *Decreto 546 de 2020*.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2023a). *Pobreza monetaria: resultados 2022*. Bogotá: DANE.
- Durkheim, E. ([1893] 1984). *The Division of Labour in Society*. (W. Halls, Trad.) The Macmillan Press Ltd.
- Ehrlich, I. (1973). Participation in Illegitimate Activities: A Theoretical and Empirical Investigation. *Journal of Political Economy*, 81(3), 521-565.
- Eide, E., Rubin, P., y Shepherd, J. (2006). Economics of Crime. *Foundations and Trends in Microeconomics*, 2(3), 11-114.
- Elhorst, P. (2011). Spatial panel models. *University of York*.
- Elhorst, P. (2014). *Spatial Econometrics From Cross-Sectional Data to Spatial Panels*. Springer.

- Ervilha, G., y De Lima, J. (2019). Um método econométrico na identificação dos determinantes da criminalidade municipal: a aplicação em Minas Gerais, Brasil (2000-2014). *Economía, Sociedad y Territorio*, 1059-1086.
- Escobar, G. (2012). El uso de la teoría de la desorganización social para comprender la distribución de homicidios en Bogotá, Colombia. *Revista Invi*, 21-85.
- Fajnzylber, P., Lederman, D., y Loayza, N. (1998). *Determinants of Crime Rates in Latin America and the World: An Empirical Assessment*. The World Bank: Washington, D.C.
- Ferri, E. (1968). *The Positive School of Criminology: Three Lectures*. (E. Untermanm, Trad.) Pittsburgh: University of Pittsburgh.
- Filangieri, G. ([1780-91] 2018). *Ciencia de la legislación*. (L. Prieto Sanchís, Ed.) Madrid: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado.
- Formisano, M. (2002). Econometría espacial: características de la violencia homicida en Bogotá. *Documentos CEDE*.
- Friendly, M. (2007). A.-M. Guerry's "Moral Statistics of France": Challenges for Multivariable Spatial. *Statistical Science*, 22(3), 368-399.
- Garofalo, R. (1890). *La criminología: estudio sobre el delito y sobre la teoría de la represión*. (P. Dorado Montero, Trad.) Madrid: La España Moderna.
- Gibson, M. (2002). *Born to crime: Cesare Lombroso and the Origins of Biological Criminology*. Westport, Connecticut: Praeger.
- González, R., y Molinares, I. (2010). La violencia en Colombia. Una mirada particular para su comprensión. De cómo percibimos la violencia social a gran escala y hacemos visible la violencia no mediática. *Investigación y Desarrollo*, 346-369.
- Guerry, A. (1833). *Essai sur la statistique morale de la France*. Paris: Crochard.
- Gunnar, J. (2014). Anomie and crime. En G. Bruinsma, y D. Weisburd (Edits.), *Encyclopedia of Criminology and Criminal Justice* (págs. 76-86). New York: Springer Science+Business Media.

- Haughton, J., y Khandker, S. (2009). *Handbook on Poverty and Inequality*. Washington: The World Bank.
- Heinemann, A., y Verner, D. (2006). Crime and Violence in Development: A Literature Review of Latin America and the Caribbean. *World Bank Policy Research Working Paper 4041*.
- Hernández Marcos, M. (2009). Conceptual Aspects of Legal Enlightenment in Europe. En E. Pattaro, D. Canale, P. Grossi, y H. Hofmann (Edits.), *A Treatise of Legal Philosophy and General Jurisprudence* (Vol. 9, págs. 69-134). Springer Dordrecht.
- Hernández, H. (2021). Homicidios en América Latina y el Caribe: magnitud y factores asociados. *Notas de Población*, 119-144.
- Hirschi, T. (1969). *Causes of Delinquency*. Berkeley: University of California Press.
- Hooghe, M., Vanhoutte, B., Hardyns, W., y Bircan, T. (2011). Unemployment, inequality, poverty and crime: spatial distribution pattern of criminal acts in Belgium, 2001-06. *The British Journal of Criminology*, 1-20.
- Jaitman, L., y Ajzenman, N. (2016). Crime concentration and hot spot dynamics in Latin America. *IDB Working Paper Series*.
- Jaitman, L., y Torre, I. (2017). A Systematic Approach to Measuring the Costs of Crime in 17 Latin American and Caribbean Countries. En L. Jaitman (Ed.), *The costs of crime and violence: new evidence and insights in Latin America and the Caribbean* (págs. 19-29). Inter-American Development Bank.
- Jeffery, C. (1959). Pioneers in Criminology: The Historical Development of Criminology. *The Journal of Criminal Law, Criminology, and Police Science*, 50(1), 3-19.
- Kopczewska, K., Kudla, J., y Walczyk, K. (2017). Strategy of Spatial Panel Estimation: Spatial Spillovers Between Taxation and Economic Growth. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 77-102.
- Kubrin, C. (2010). Shaw, Clifford R., and Henry D. McKay: Social Disorganization Theory. En F. Cullen, y P. Wilcox (Edits.), *Encyclopedia of Criminological Theory* (págs. 828-835). SAGE Publications, Inc.

- Lanier, M., y Stuart, H. (2010). *Essential criminology* (Tercera ed.). Westview Press.
- LeSage, J. (1998). *Introduction to Spatial Econometrics*. University of Toledo.
- LeSage, J. (2015). Spatial econometrics. En C. Karlsson, M. Andersson, y T. Norman (Edits.), *Handbook of research methods and applications in economic geography* (págs. 23-40). Edward Elgar Publishing.
- Loaiza, W. (2012). Distribución espacial del índice de propensión al homicidio (IPH) en las comunas de Cali, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 169-192.
- Londoño, J., y Guerrero, R. (1999). Violencia en América Latina: Epidemiología y Costos. *Documento de Trabajo Banco Interamericano de Desarrollo*.
- Mansfield, R., Gould, L., y Namenwirth, J. (1974). A Socioeconomic Model for the Prediction of Societal Rates of Property Theft. *Social Forces*, 52(4), 462-472.
- Martínez, D. (2022). Modalidad, práctica y patrón delictivo: análisis desde una perspectiva criminológica. *Revista Derecho Penal y Criminología*, 197-228.
- Matthews, R., y Chambliss, W. (2014). Marxist Criminology. En G. Bruinsma, y D. Weisburd (Edits.), *Encyclopedia of Criminology and Criminal Justice* (págs. 2989-2997). New York: Springer.
- Merton, R. (1938). Social Structure and Anomie. *American Sociological Review*, 672-682.
- Ministerio de Defensa Nacional. (2019). *Política: Marco de convivencia y seguridad ciudadana*. Bogotá.
- Montesquieu. ([1748] 1906). *El Espíritu de las Leyes. Tomo I*. (S. García del Mazo, Ed.) Madrid: Librería General de Victoriano Suarez.
- Moran, P. (1948). The Interpretation of Statistical Maps. *Journal of the Royal Statistical Society*, 243-251.
- Moreno, R., y Vayá, E. (2000). *Técnicas econométricas para el tratamiento de datos espaciales: La econometría espacial*. España: Edicions de la Universitat de Barcelona.

- Muggah, R. (2012). *Researching the Urban Dilemma: Urbanization, Poverty and Violence*. Ottawa: Centro de Investigaciones para el Desarrollo Internacional (IDRC)/UKAid.
- Nateras, M., y Zaragoza, D. (2017). La pobreza como indicador de generación de la violencia y la delincuencia en México. En F. Betancurt, *Reflexiones sobre el Estado de Derecho, la seguridad pública y el desarrollo* (págs. 221-250). Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM.
- Paganelli, M., y Simon, F. (2022). Crime and punishment: Adam Smith's theory of sentimental law and economics. *Journal of the History of Economic Thought*, 44(2), 268-287.
- Park, R. (1925). The City: suggestions for investigation of human behavior in the urban environment. En R. Park, y E. Burgess, *The City* (págs. 1-46). The University of Chicago Press.
- Parker, K., y Stansfield, R. (2014). Disadvantage, Disorganization and Crime. En G. Bruinsma, y D. Weisburd (Edits.), *Encyclopedia of Criminology and Criminal Justice* (págs. 1084-1093). New York: Springer.
- Pérez, J. (2006). Econometría espacial y ciencia regional. *Investigación Económica*, 129-160.
- Piras, G. (2013). Impact estimates for static spatial panel data models in R . *Regional Research Institute Working Papers*.
- Pires, S., Guerette, R., y Stubert, C. (2014). The crime triangle of kidnapping for ransom incidents in Colombia, South America. *The British Journal of Criminology*, 784-808.
- Piscitelli, A., y Doherty, S. (2018). Connecting social disorganization to broken windows and routine activities. *The Canadian Geographer*, 589-596.
- Pratt, T., y Cullen, F. (2005). Assessing Macro-Level Predictors and Theories of Crime: A Meta-Analysis. *Crime and Justice*, 373-450.
- Pyle, D. (1983). *The economics of crime and law enforcement*. The MacMillan Press LTD.
- Quetelet, A. (1984). *Adolphe Quetelet's Research on the propensity for crime at different ages translated by Sawyer F. Sylvester*. Cincinnati: Anderson Pub. Co.

- Quintana, L., y Mendoza, M. (2022). *Econometría Espacial Aplicada Utilizando R*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Quintero, D., Lahuerta, Y., y Moreno, J. (2008). Un índice de criminalidad para Colombia. *Revista Criminalidad*, 37-58.
- Ramírez de Garay, L. (2014). Crimen y economía: una revisión crítica de las explicaciones económicas del crimen. *Argumentos*, 261-290.
- Real Academia de la Lengua Española. (2023). Obtenido de <https://dle.rae.es/>
- Ricciulli, D., Arismendi, C., y Romero, E. (2018). La pobreza en Riohacha: diagnóstico, análisis y propuestas. *Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana*.
- Rico, J. (1998). *Crimen y justicia en América Latina* (Quinta ed.). México: Siglo XXI editores, s.a de c.v.
- Robert, G. (1954). The Contiguity Ratio and Statistical Mapping. *The Incorporated Statistician*, 115-146.
- Rodríguez, J., Mejía, D., Caro, L., Romero, M., y Campos, F. (2018). Implicaciones del proceso de integración de los registros administrativos de criminalidad entre el SPOA de la Fiscalía General y el SIEDCO de la Policía Nacional de Colombia, y la puesta en marcha del aplicativo “¡ADenunciar!”. *Revista Criminalidad*, 9-27.
- Sampson, R., y Groves, B. (1989). Community Structure and Crime: Testing Social-Disorganization Theory. *American Journal of Sociology*, 774-802.
- Sampson, R., Raudenbush, S., y Earls, F. (1997). Neighborhoods and Violent Crime: A Multilevel Study of Collective Efficacy. *New Series*, 918-924.
- Sánchez, A., Díaz, A., y Peláez, A. (2012). Evolución geográfica del homicidio en Colombia. *Documentos de trabajo sobre economía regional*.
- Sánchez, F., y Núñez, J. (2001). Determinantes del crimen violento en un país altamente violento: el caso de Colombia. *Documentos CEDE*.

- Sandoval, L., Palencia, A., y Martínez, D. (2009). Pobreza y delincuencia departamental en Colombia 2003-2007. *Revista Facultad de Ciencias Económicas Universidad Militar Nueva Granada*, 95-108.
- Shaw, C., y McKay, H. ([1942] 1972). *Juvenile Delinquency and Urban Areas: A study of Rates of Delinquency in Relation to Differential Characteristics of Local Communities in American Cities*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Shaw, C., y McKay, H. (1932). *Social Factors in Juvenile Delinquency (Report on the Causes of Crime, Volume II, of the National Commission on Law Observance and Enforcement)*.
- Simon, F. (2009). Criminology and economic ideas in the age of enlightenment. *History of Economic Ideas*, 17(3), 11-39.
- Skogh, G. (1973). A Note on Gary Becker's "Crime and Punishment: An Economic Approach". *The Swedish Journal of Economics*, 75(3), 305-311.
- Smith, A. ([1759] 2004). *Teoría de los sentimientos morales*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Soares, R., y Naritomi, J. (2010). Understanding High Crime Rates in Latin America: The Role of Social and Policy Factors. En R. Di Tella, S. Edwards, y E. Schargrotsky (Edits.), *The Economics of Crime: Lessons for and from Latin America* (págs. 19-55). University of Chicago Press.
- Stigler, G. (1970). The Optimum Enforcement of Laws. *Journal of Political Economy*, 78(3), 526-536.
- Sutherland, E., y Cressey, D. (1978). *Criminology* (Décima ed.). J.B. Lippincott Company.
- Tapias, J. (2017). Pobreza y violencia en la Región Caribe colombiana: un enfoque espacial. *Ensayos sobre Política Económica*, 139-153.
- Taylor, I., Walton, P., y Young, J. (1973). *The new criminology: for a social theory of deviance*. (A. Crosa, Trad.) Buenos Aires: Amorrortu editores, 1975.
- Trujillo, É., y Badel, M. (1997). Los costos económicos de la criminalidad y la violencia en Colombia: 1991-1996. *Planeación y Desarrollo*, 265-308.

- UNODC. (2023). *Global Study on Homicide 2023*. New York: United Nations.
- Vandeviver, C., y Bernasco, W. (2017). The geography of crime and crime control. *Applied Geography*, 220-225.
- Verri, P. (2006). *Osservazioni sulla tortura*. Milano: RCS Libri S.p.A.
- Vilalta, C., Castillo, J., y Torres, J. (2016). Delitos violentos en ciudades de América Latina. *BID*.
- Vold, G. (1958). *Theoretical Criminology*. New York: Oxford University Press.
- Vold, G., Bernard, T., y Snipes, J. (1998). *Theoretical Criminology*. New York: Oxford University Press.
- Voltaire. (1778). *Prix de la justice et de l'humanité*. Berna: Boletín de Berna, número XIV.
- Wolfgang, M. (1961). Pioneers in Criminology: Cesare Lombroso (1825-1909). *Journal of Criminal Law and Criminology*, 52, 361-391.
- Wooldridge, J. (2009). *Introducción a la econometría: Un enfoque moderno* (Cuarta ed.). Cengage Learning Ediciones, S.A. de C.V.
- World Bank. (2001). *World Development Report 2000/2001: Attacking Poverty*. Oxford University Press.
- Wortley, R., y Townsley, M. (2017). Environmental criminology and crime analysis: situating the theory, analytic approach and application. En R. Wortley, y M. Townsley (Edits.), *Environmental criminology and crime analysis* (Segunda ed., págs. 1-25). Routledge.