



**CENTRO DE ESTUDIOS DEMOGRÁFICOS, URBANOS Y
AMBIENTALES**

**USO DE TÉCNICAS DEMOGRÁFICAS Y ESPACIALES PARA
EL ANÁLISIS DE MORTALIDAD POR HOMICIDIOS: ESTADO
DE MÉXICO, 2000-2020**

**Tesis presentada por
KAREN ANDREA ROBLES RODRÍGUEZ**

**Para optar por el grado de
MAESTRA EN DEMOGRAFÍA**

**Director de tesis
Dr. EMERSON AUGUSTO BAPTISTA**

CIUDAD DE MÉXICO, JULIO 2022

Agradecimientos

Agradezco a Dios por nunca abandonarme, por ser mi refugio y mi consuelo.

A mis abuelos, Irma y Jaime, quienes han sido personas extraordinarias y un gran ejemplo de vida. Me han brindado apoyo, confianza y, sobre todo, amor. Muchas gracias por estar siempre conmigo. Abuelo, Gracias por existir, por estar conmigo hasta el último día de tu vida. Físicamente ya no estás, pero vivirás eternamente en mi corazón.

A mis padres, Mónica y Julio, quienes me han apoyado, comprendido, guiado y brindado herramientas durante toda la vida. Les agradezco por estar conmigo. Los quiero mucho.

A mi hermano, Oswaldo, quien siempre me ha brindado su confianza, su lealtad y su amor. Ha sido mi cómplice y una de las personas más importantes en mi vida. Agradezco tener un hermano como tú. ¡Te adoro!.

A mi novio y prometido, Enrique, una persona extraordinaria, con la que he compartido todo de mí. Gracias por ser tú y por brindarme amor incondicional hoy y siempre. Juntos hasta la eternidad. ¡Te amo!.

A mi asesor, el Dr. Emerson Augusto Baptista, quien me brindó su tiempo, paciencia, esfuerzo y confianza para realizar este trabajo. Le agradezco mucho haberme aceptado como su tesista y valoro su gran apoyo en todo este tiempo. ¡Muchas gracias!.

A mi lectora, la Dra. Marcela Agudelo Botero por el tiempo dedicado a la lectura del presente trabajo, por su paciencia y por los comentarios y recomendaciones en cada clase. ¡Muchas gracias!.

A mis compañeros de la maestría, por brindarme su tiempo, atención, apoyo, paciencia y recomendaciones para culminar este trabajo.

Finalmente, agradezco a todo el equipo de El Colegio de México, del CEDUA y de CONACYT por darme las herramientas necesarias para culminar un trabajo exitoso.

Resumen

Los homicidios son un problema a nivel global. México se encuentra en los países con mayor cantidad de homicidios, que afectan principalmente a los hombres jóvenes. Sin embargo, existen disparidades regionales en la distribución de los patrones de homicidio entre/dentro de los estados y a nivel de áreas pequeñas, como los municipios. El Estado de México está dentro de las tres primeras entidades con la mayor cantidad de homicidios, en número absolutos, y sus cifras se han mantenido constantes desde 2000.

Por lo que, el objetivo principal de este trabajo es aplicar métodos demográficos y estadísticos espaciales para analizar la mortalidad por homicidios, por sexo y en personas mayores a 15 años en los municipios del Estado de México en 2000, 2010 y 2020. Se utilizaron dos fuentes de datos obtenidas del INEGI. La primera hace referencia a las estadísticas vitales de mortalidad con base en la décima Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10). Y la segunda, a los censos de población y vivienda. El análisis de datos involucró aplicar dos métodos, la estandarización y el suavizado mediante estadísticas bayesianas para mejorar las estimaciones de mortalidad en áreas pequeñas (a nivel municipal). Con base en estas estimaciones fue posible aplicar métodos de análisis espacial para discutir los cambios espaciales de la mortalidad por homicidios.

Los resultados muestran que, las estimaciones tienen una apariencia más suave y resaltan con claridad, los patrones espaciales del riesgo alto o bajo de morir a causa de un homicidio, lo que permite identificar fácilmente las regiones más peligrosas dentro del Estado de México. En el caso de los hombres, el riesgo de morir se concentra en diferentes regiones por año, no obstante, el riesgo se incrementa en las zonas limítrofes con Guerrero, Michoacán y la Ciudad de México. En cuanto a las mujeres, se muestra un patrón de concentración de riesgo alto en los municipios que rodean o están cerca de la Ciudad de México, sin embargo, estos patrones también son distintos por año.

Estos hallazgos indican que los homicidios no son uniformes en tiempo y espacio. Además, estos resultados permiten conocer mejor la realidad de la distribución de los homicidios a través de mapas que exponen los focos de riesgo por este evento. Lo que hace posible, en ambos sexos, ver y comparar cómo van cambiando los focos de riesgo alto y bajo en todo el Estado de México, en los tres años de estudio.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos	4
1.3 Hipótesis.....	5
1.4 Justificación.....	5
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA	7
2.1 Homicidios	7
2.1.1 Panorama internacional y regional de la tendencia y magnitud de los homicidios	7
2.1.2 Tendencia, magnitud y distribución de los homicidios en México	10
2.2 Relación entre espacio y mortalidad por homicidios	14
2.2.1 Estudios de análisis espacial y temporal de los homicidios en América Latina.....	15
2.2.2 Estudios de análisis espacial y temporal de los homicidios en México	18
CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL	22
3. 1 Estimación de Tasas crudas y estandarizadas	22
3.2 Métodos de suavizado (regresión no paramétrica).....	23
3.3 Métodos desde el enfoque bayesiano	25
3.3.1 Métodos Empíricos bayesianos	26
3.3.2 Métodos completamente bayesianos	28
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA	31
4.1 Fuentes de información, población de estudio y nivel de análisis	31
4.2 Aplicación de Técnicas estadísticas y demográficas.....	32
4.2.1 Estandarización directa.....	32
4.2.2 Suavización.....	33
4.3 Autocorrelación espacial	35

CAPÍTULO 5. RESULTADOS	40
5.1 Caracterización de los homicidios en el Estado de México	40
5.2 Tasas brutas de mortalidad por homicidios (TBM)	42
5.3 Tasas estandarizadas de mortalidad por homicidios (TEM)	47
5.4 Suavización espacial de la mortalidad por homicidios	51
5.5 Autocorrelación espacial	56
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN	62
6.1 Tasas brutas (TBM) y estandarizadas (TEM)	64
6.2 Tasas suavizadas	65
6.3 Autocorrelación espacial	67
6.4 Fortalezas, limitaciones y trabajos futuros	68
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	78

Índice de Figuras

Figura 1. Tasas de homicidios por país o territorio, 2017	8
Figura 2. Tipos de autocorrelación espacial	36
Figura 3. Diagrama de dispersión del Índice de Morán.....	38
Figura 4. Tasa de homicidios masculinos por grupos quinquenales en el Estado de México, 2000, 2010 y 2020.....	41
Figura 5. Tasa de homicidios femeninos por grupos quinquenales en el Estado de México, 2000, 2010 y 2020.....	42
Figura 6. Tasa bruta de mortalidad por homicidios de la población masculina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020, por 100, 000 habitantes	44
Figura 7. Tasa bruta de mortalidad por homicidios de la población femenina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020, por 100,000 habitantes	46
Figura 8. Tasa estandarizada de mortalidad por homicidios de la población masculina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020, por 100,000 habitantes (método directo)	48
Figura 9. Tasa estandarizada de mortalidad por homicidios de la población femenina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020, por 100,000 habitantes (método directo)	50
Figura 10. Tasa suavizada de mortalidad por homicidios de la población masculina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020, por 100,000 habitantes.....	53
Figura 11. Tasa suavizada de mortalidad por homicidios de la población femenina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020, por 100,000 habitantes.....	55
Figura 12. Mapa de conglomerados LISA de la mortalidad por homicidios en la población masculina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020.	58
Figura 13. Mapa de conglomerados LISA de la mortalidad por homicidios en la población femenina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020.	61
Figura 14. Mapa de narcotráfico y crimen organizado en México	63

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Cuadro resumen de los métodos y técnicas más utilizadas para estimar casos de mortalidad en áreas pequeñas.	30
--	----

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La mortalidad, junto con la fecundidad y la migración, son los principales determinantes demográficos responsables de los cambios en la estructura de la población. De acuerdo con Welti et al. (1997), se debe considerar a la mortalidad como un riesgo al que la población está expuesta toda la vida y que ocurre una vez en cada persona. Sus determinantes están relacionados con factores biológicos (edad y sexo), sociales, conductuales y ambientales. Existe un consenso, a nivel científico, político y ético, en cuanto a la necesidad de reducir la mortalidad, la que por definición es considerada como algo que debe ser pospuesto el máximo de tiempo posible y tratar que sea por causas naturales. Sin embargo, además de la forma natural, la mortalidad también ocurre por efectos de período a los que puede estar expuesta una población, como las guerras, las epidemias, las hambrunas, los programas de planeación implementados y la violencia.

La violencia es un problema mundial, según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2002) se define como el uso intencional de la fuerza física, amenazas contra uno mismo, otra persona, un grupo o una comunidad que tiene como consecuencia o es muy probable que tenga como consecuencia un traumatismo, daños psicológicos, problemas de desarrollo o la muerte. Además, de acuerdo con Vidal (2008), también se actúa en una secuencia que causa indefensión en el otro, por lo que es un proceso en el que toda la sociedad participa.

La violencia se clasifica en 3 tipos: auto infligida, que incluye el comportamiento suicida y las autolesiones; colectiva, que puede ser social, política y económica; e interpersonal, que puede ser hacia la familia o pareja y a la comunidad donde se encuentran los homicidios (OMS, 2002). De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020), las muertes accidentales o violentas son todas aquellas defunciones debidas a acontecimientos ambientales y circunstancias como traumatismos, envenenamientos y otros efectos adversos, por lo que se clasifican en accidentes, homicidios y suicidios. Asimismo, se define a los homicidios como aquellas acciones ocasionadas por otras personas con el intento de lesionar o matar a través de cualquier medio. En este contexto, la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC, 2019) estandariza la definición del homicidio intencional, como la muerte ilegal causada resueltamente a una persona por otra persona, cuyo propósito del autor es matar o herir severamente a la víctima.

La mortalidad por homicidios es una causa externa que se relaciona con la violencia y es responsabilidad del hombre (Castañeda, 2017). Entender los homicidios desde una perspectiva demográfica es vincularlos con los cambios ocurridos en la población, así como los cambios en la salud y en la epidemiología, pues ha existido una transformación en la forma de enfermar y morir de la población. Los homicidios son fenómenos complejos de estudiar, ya que están interrelacionados con diversos factores económicos, sociales y políticos que convergen en tiempo y espacio y que generan impactos en la vida y la salud de la población.

Además de esta introducción, la tesis se estructura en cinco capítulos más. El segundo capítulo presenta una revisión de los trabajos previos realizados sobre la tendencia y magnitud de los homicidios a diferentes escalas. Así mismo, se subdivide en dos apartados, el primero hace referencia a la mortalidad por homicidios en un contexto internacional y en México. El segundo, muestra la relación entre homicidios y espacio, se exploran múltiples investigaciones y se exponen los métodos y principales resultados.

El tercer capítulo, hace referencia al marco teórico-conceptual, en el que se explican los métodos y técnicas comúnmente utilizadas en el contexto de la mortalidad. Se resaltan las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

El cuarto capítulo es la descripción de la metodología empleada en esta tesis. Se describen las fuentes de información, la población de estudio y la unidad de análisis. También, una descripción detallada del funcionamiento de los métodos a utilizar.

El quinto capítulo es sobre resultados, se presentan los resultados de esta investigación, que inicia con la descripción general de los niveles de homicidios en el Estado de México. A su vez, se subdivide en los resultados de cada método empleado.

El sexto capítulo es la discusión general del trabajo, que incluye las fortalezas, limitaciones y trabajos a futuro. Finalmente, el trabajo termina con un apartado de conclusiones globales, donde se exponen los hallazgos más relevantes.

1.1 Planteamiento del problema

Los homicidios son un problema a nivel global, aunque se ha visto que la tasa a nivel mundial ha ido disminuyendo a través de los años (UNODC, 2019). Sin embargo, este fenómeno no es homogéneo. Mientras en Europa, América del Norte y Asia las tasas disminuyeron, en América Latina sucede lo contrario. Esta última región es la que concentra las tasas más altas de homicidios (UNODC, 2019).

Este fenómeno presenta ciertas características, como las tasas de mortalidad por homicidios son más altas en hombres que en mujeres, de edades entre los 15 y 30 años. En el caso de las mujeres, aunque las tasas no sean tan elevadas, la mayor cantidad de homicidios de mujeres también se presentan en el mismo rango de edad que los hombres. Además, el incremento de las tasas de homicidios se asocia a la presencia del crimen organizado, los cambios en las relaciones de poder entre grupos del crimen organizado en competencia, los conflictos entre pandillas, al narcotráfico y al desarrollo político y económico (UNODC, 2019).

México está dentro de los países con mayores tasas de homicidios en América Latina (Santos, Porter, Lynch, 2019). De acuerdo con INEGI (2020) a partir del 2011 hubo un incremento abrupto en las tasas de homicidios, pero en 2020 tuvo un récord histórico de 29 homicidios por cada cien mil habitantes. En 2017 pasó a ser una de las 10 primeras causas de muerte y en 2019 la primera causa de muerte entre los jóvenes de 15 a 25 años en el país. Con todo, este comportamiento no se distribuye de la misma manera en el territorio mexicano. Además de las diferencias sociodemográficas y de comportamiento, es importante tener en cuenta los aspectos espaciales para comprender las disparidades regionales en la distribución de los patrones de homicidio entre/dentro de los estados y a nivel de áreas pequeñas, como los municipios.

Recientemente, en México los estudios de mortalidad por homicidios se han enfocado en el análisis espacial de las tasas brutas de homicidio a nivel municipal. Sin embargo, dado el número de casos y de población, la estimación de tasas puede no ser precisa debido a que las muertes por homicidios son de baja frecuencia, puede haber exceso de ceros, muy poca población, datos faltantes e incompatibles en cada municipio (Barceló et al., 2008; Morera y Aparicio, 2013; Lawson et al., 2000; Marshall, 1991; Romo, 2019).

Como consecuencia, el análisis se ve limitado y no alcanza a mostrar el riesgo real al que está expuesta la población en el espacio, pues se produce una variabilidad aleatoria (Barceló et al., 2008; Lawson et al., 2000; Baptista, 2015). Para ello, se utilizan métodos demográficos y estadísticos espaciales que mejoran las estimaciones de los casos de homicidios, pues incluyen los efectos que puede producir la estructura por edad y la fuerza que ejercen las áreas vecinas. Aunado a esto, la componente temporal también juega un papel importante en el análisis espacial de áreas pequeñas, pues pueden exhibir las diferentes tendencias de los casos de homicidios a lo largo del tiempo.

Por lo que, este tipo de estudios no se enfocan en ajustar o corregir los casos de homicidios a través de métodos estadísticos demográficos y espaciales, y tampoco incluyen la componente temporal para mejorar el análisis, lo que nos lleva a preguntarnos ¿cómo funcionan las técnicas estadísticas demográficas y espaciales en áreas pequeñas para el análisis de la mortalidad por homicidios?.

1.2 Objetivos

Debido a la heterogeneidad en la distribución espacial de las muertes por homicidios y al poco tratamiento de los casos a nivel municipal, el objetivo de esta tesis es aplicar métodos demográficos y estadísticos espaciales para analizar la mortalidad por homicidios por sexo y personas mayores a 15 años en los municipios del Estado de México, en 2000, 2010 y 2020.

Para resolver el objetivo general de esta investigación se plantean dos objetivos particulares:

- Estimar y analizar la tendencia de los casos de homicidio a través de tasas brutas, estandarizadas y suavizadas por sexo, para 2000, 2010 y 2020 en los municipios del Estado de México.
- Identificar las diferencias entre los patrones espaciales producidos por las tasas estandarizadas y suavizadas de homicidios, por sexo, a través del uso de métodos de análisis exploratorio de datos espaciales.

1.3 Hipótesis

Con base en lo anterior, se espera que los métodos estadísticos demográficos y espaciales permitan mejorar la estimación de los casos de mortalidad por homicidio en áreas pequeñas (municipios) para poder identificar e interpretar, lo más cercano, al riesgo real que está expuesta la población, y de esta manera entender el comportamiento geográfico de los homicidios.

1.4 Justificación

El estudio de la mortalidad por homicidios funciona como indicador del contexto socioeconómico, político y sanitario que existe en México, además que es un tema relevante y de preocupación universal dentro del ámbito de la salud. En México, la mayoría de los estudios sobre el homicidio se centran en los niveles y tendencias de los casos de homicidios en grandes áreas geográficas (estados). Dado que son áreas grandes de estudio no permite visualizar la variabilidad a nivel local. Por lo tanto, se hacen estudios a escalas geográficas más grandes, a nivel municipal. Sin embargo, este tipo de estudios no se enfocan en ajustar o corregir los casos de homicidios a través de métodos estadísticos demográficos y espaciales en áreas pequeñas (municipios).

Además, el análisis espacial se utiliza como herramienta para descubrir el comportamiento geográfico a partir de los eventos demográficos, pues la distribución de estos eventos (mortalidad por homicidios) pueden ser distintos por área geográfica y tenderán a ser afectados por lo que suceda en áreas cercanas.

Particularmente, se eligió al Estado de México como caso de estudio porque es una entidad diversa y, en números absolutos, está dentro de las tres primeras entidades con mayor cantidad de homicidios en el periodo de estudio. En 2000, había 2,013 defunciones, mientras que en 2020 las cifras incrementan 3,034 defunciones (INEGI, 2020). De acuerdo con INEGI (2020), esta entidad ha concentrado el 21.3% y el 14.4% del total de homicidios de mujeres y hombres en el país en 1990 a 2020, respectivamente.

Cabe destacar que sus cifras se han mantenido ligeramente constantes a lo largo del periodo de estudio. En otras palabras, no ha tenido un aumento y tampoco un descenso abrupto de homicidios en comparación con otras entidades. Por tanto, resulta importante analizar las zonas donde el

comportamiento temporal de los homicidios es constante, pues permite resaltar que ha sido una entidad que continuamente es problemática. Sin embargo, es importante entender si esta constancia también es interna, es decir, si es homogénea en el tiempo a nivel de municipios.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

El estudio de la violencia ha sido abordado desde distintas disciplinas sociales, como la criminología, sociología, antropología, demografía, geografía, entre otras. Cada disciplina utiliza diferentes herramientas metodológicas para su análisis. En este capítulo se presentan distintas investigaciones orientadas hacia la tendencia, magnitud, comportamiento y evolución de la mortalidad por homicidios a distintas escalas geográficas y a través de diferentes métodos estadísticos. En la primera parte se analizará el panorama general de la mortalidad por homicidios a nivel global, regional y para México, mientras que en la segunda parte se hablará de la relación entre los homicidios y el espacio, a través del uso de técnicas espaciales para estudiar los eventos demográficos y, sobre todo, resaltar los aportes metodológicos para el tratamiento de los casos de homicidios en áreas pequeñas.

2.1 Homicidios

2.1.1 Panorama internacional y regional de la tendencia y magnitud de los homicidios

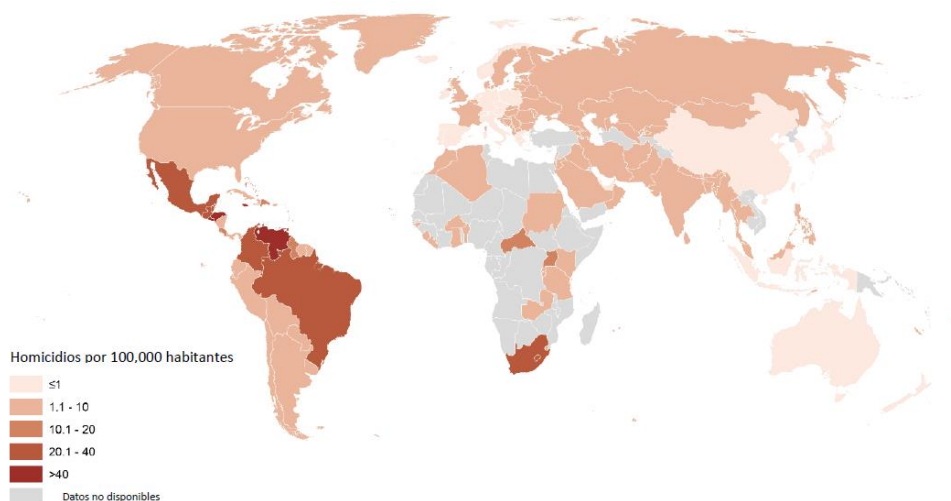
El estudio global de los homicidios publicado por la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC, 2019) muestra que, a nivel internacional, la proporción de muertes por homicidios han ido disminuyendo. En 1993, la tasa mundial de mortalidad por homicidios era de 7.4 por cada 100,000 habitantes, mientras que en 2017 fue de 6.1. Sin embargo, en cifras absolutas, hubo un aumento de 362,000 muertes por homicidio en 1990 a 464,000 muertes en 2017 (UNODC, 2019). No obstante, la mortalidad por homicidios se comporta de forma distinta por regiones, pues varias regiones con las tasas más altas de homicidios no experimentaron una disminución, sino todo lo contrario. La disminución más pronunciada entre 1990 y 2017 ocurrió en Europa, América del Norte y Asia, con un descenso del 40%, mientras que en América Latina ocurrió un aumento del 15% en la tasa de homicidios (Santos, Porter, Lynch, 2019).

En 2017, América central y del sur y África concentraron, cada uno, más de un tercio de los homicidios (37.4% y 35.1%, respectivamente). El resto se dividió en Asia (22.5%), Europa (4.7%) y Oceanía (0.2%) (UNODC, 2019) (Figura 1). De acuerdo con la UNODC (2019), esta actividad

delictiva sirve para exponer el nivel de violencia de cada región. Los homicidios causan muchas más muertes que los conflictos armados y el terrorismo, principalmente asociados al crimen organizado y las pandillas. Se estima que cada año, a nivel mundial 65,000 asesinatos fueron relacionados con el crimen organizado.

América Latina (AL), como se vio anteriormente, es la región que concentra la mayoría de los homicidios y este comportamiento ha sido constante durante tres décadas. Entre 1990 y 2016 la tasa promedio de la región se mantuvo entre 14.5 y 16.7 por cada 100,000 habitantes. Sin embargo, en 2017 se alcanzó la tasa de homicidios más alta observada en la región (17.2), mientras que a nivel mundial la tasa promedio fluctuó entre 6 y 7 por cada 100,000 habitantes en el mismo año. Al mismo tiempo, es posible observar variaciones significativas al tomar en cuenta regiones más pequeñas de AL. Por ejemplo, la región de Centroamérica tuvo un cambio drástico porque pasó de las tasas de homicidios más bajas a las más altas en AL. Mientras que en el período comprendido entre 2000 y 2006 las tasas se mantuvieron estables (entre 14.4 y 16.4), en 2007 y 2011 se incrementó la tasa a 28.6, y en 2017 el país con la tasa más alta fue San Salvador con 62.1 homicidios por 100,000 habitantes (Vilalta, Castillo y Torres, 2016; UNODC, 2019). Por otro lado, en América del sur, la tasa más alta fue de 56.8 por cada 100,000 habitantes en Venezuela (UNODC, 2019).

Figura 1. Tasas de homicidios por país o territorio, 2017



Fuente: UNODC, 2019.

Las características demográficas, como el sexo y la estructura etaria juegan un papel importante en la actividad delictiva, incluido el homicidio, porque pueden actuar como impulsores o factores protectores. El comportamiento violento aumenta durante la adolescencia y va disminuyendo a medida que las personas envejecen. Por lo tanto, existe una relación entre la estructura y composición de la población con el homicidio (UNODC, 2019). El estudio realizado por Santos, Porter y Lynch (2019), plantea que el incremento de los homicidios a nivel macro se relaciona con la estructura etaria. En otras palabras, a mayor proporción de individuos jóvenes debería aumentar la prevalencia de los homicidios, pues al existir una desproporción grande de individuos en edades jóvenes respecto al total de la población, son más vulnerables e impulsados a las actividades delictivas por diversas dificultades que podrían enfrentar en el mercado laboral, por la falta de supervisión de un adulto mayor y por la influencia de sus compañeros en el entorno social donde se desarrollan.

Santos, Porter y Lynch (2019) utilizaron como variable dependiente la tasa de homicidios y como variable independiente la proporción de población joven entre 15 y 29 años para cada región (Europa, América del Norte, América Latina, Asia, África y Oceanía). El objetivo fue identificar el efecto de la composición por edad en las tendencias de los homicidios. Encontraron que, en las regiones de Europa, América del Norte y Asia, existe una asociación bivariada entre las tendencias de homicidios y el porcentaje de población entre 15 y 29 años, mientras que en América Latina no existe una asociación, pese al proceso de envejecimiento. Por lo tanto, se concluye que, a nivel mundial la disminución de porcentaje de población joven y, a su vez, el envejecimiento ha sido un factor impulsor de la disminución de los homicidios. Sin embargo, este comportamiento no es igual en todos los países, pues la influencia de la estructura etaria en la tendencia de los homicidios no es evidente en los países con altos niveles de mortalidad.

Además, en América Latina, se observa que las víctimas de homicidios son relativamente jóvenes y predominantemente hombres, siendo los grupos de 15 a 29 años que corren el mayor riesgo (Vilalta, Castillo y Torres, 2016). En 2016, los jóvenes de 18 y 19 años tuvieron una tasa de homicidios de 46 por cada 100,000 habitantes, que supera la tasa a nivel mundial. Mientras tanto, en 2017, los hombres de 15 a 29 años presentan una tasa de 64 muertes por cada 100,000 habitantes. En el caso de las mujeres, en 2017 la tasa es de una muerte por cada 100,000 habitantes, y este valor se ha mantenido constante desde 2008. Esto resalta que, aunque el homicidio es un

fenómeno mayoritariamente masculino, las mujeres y las adolescentes presentan un patrón de edad similar al de las víctimas masculinas en cada región (UNODC, 2019).

Finalmente, la UNODC (2019) resalta que la masculinidad de los homicidios puede explicarse por el desarrollo sociopolítico, la desigualdad social, el crimen organizado, el narcotráfico, la corrupción y las pandillas que favorecen la prevalencia de los hombres jóvenes, ya sea como víctimas y victimarios. En AL, recientemente, la tendencia de los homicidios también se asocia con los cambios en las relaciones de poder entre grupos del crimen organizado en competencia, como es el caso de Brasil, Honduras y México.

2.1.2 Tendencia, magnitud y distribución de los homicidios en México

En México, la tendencia de los homicidios ha sido al alza (Ordorica y Cervantes, 2020). Eso ha traído diversas repercusiones sociales, económicas y de salud, como el estancamiento en la esperanza de vida, el incremento de la desigualdad, desempleo, pobreza, entre otros. Sin embargo, este fenómeno es heterogéneo a nivel estatal y municipal, así como en el tiempo. De acuerdo con INEGI (2020), encargado de elaborar el panorama nacional, estatal y municipal del conteo y las tasas de homicidios en México desde 1990, México presentó dos tendencias. La primera se relaciona con una disminución sostenida entre 1995 y 2007, y la segunda con un incremento abrupto de los homicidios a partir del 2011. Además, muestra que los homicidios se distribuyen de forma heterogénea en el territorio mexicano. Por lo tanto, existen patrones geográficos en ciertas entidades y, sobre todo, existen diferencias significativas por sexo.

González et al. (2012) muestran la tendencia de las tasas de homicidio entre 1990 y 2009 e identifican las variables que mejor explican las variaciones geográficas en México. A través de las tasas ajustadas por edad para ambos sexos, para cada estado, y el uso del análisis de regresión múltiple para identificar factores asociados a las variaciones de las tasas, destacan que la tasa de homicidios disminuyó entre 1992 y 2007, pero se ha duplicado entre 2008 y 2009. Uno de sus hallazgos fue que en 2009 la tasa de homicidio masculina fue cerca de 9 veces mayor que la tasa femenina. Además, las tasas más elevadas en el periodo de estudio se encuentran al norte del país y pegadas al Pacífico, entre los estados de Chihuahua, Durango, Sinaloa y Baja California, con más de 35 muertes por 100,000 habitantes. Los autores también señalan que las variables como

impunidad, narcotráfico, consumo de alcohol y drogas y deserción escolar son factores claves para explicar las variaciones geográficas en las tasas a nivel estatal.

Por su parte, González, Vega y Vega (2012) mostraron los efectos en la esperanza de vida de la población mexicana y la mortalidad por homicidios en cada estado. Calcularon los años de esperanza de vida perdidos (AEVP) por homicidios y otras causas, por sexo y grupos quinquenales. Encontraron que la tasa estandarizada se incrementó en 45% entre 1998 y 2010, y que hay un aumento mayor en la tasa masculina (casi 48%) que en la femenina (23%). En 2010, la tasa de homicidio se duplicó en 180% para hombres y 109% para mujeres. A nivel nacional, entre 2008 y 2010, los homicidios fueron la causa que generó el mayor porcentaje de AEVP masculinos entre 20 y 44 años. Los estados como Baja California, Chihuahua, Durango, Guerrero, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa y Sonora fueron los que presentaron a los homicidios como la causa principal de pérdida AEVP de vida masculina, destacando Chihuahua que representó más del 40%.

Al respecto, Agudelo, Zagal y Castro (2020) elaboran un diagnóstico de los homicidios en México a nivel nacional, a nivel estatal de las tasas estandarizadas de mortalidad por homicidios y a nivel municipal de las tasas brutas en tres periodos (2003-2007, 2008-2012 y 2013-2017). Resaltan que, entre 2008 y 2012, México tuvo la tasa más alta, siendo de 26.2 por cada 100,000 habitantes, respecto a los hombres la tasa es de 49.6, mientras que en las mujeres de 4.8, sin embargo, en el periodo de 2013 a 2017, la tasa de homicidios de mujeres incrementó a 5.5. La gran mayoría de los estados experimentaron un aumento en la tasa de mortalidad por homicidio entre 2003 y 2017, en los que destacan Baja California Sur, Colima, Guanajuato, Morelos, Nuevo León y Zacatecas por tener un aumento mayor al 200%, por el contrario, Yucatán, Aguascalientes, Tlaxcala y Querétaro son los estados con la menor tasa de homicidios. Además, se observó que los homicidios, tanto de mujeres como de hombres, se concentraron en el grupo de 15 a 34 años para la mayoría de los estados, y se resaltan 8 municipios que durante los tres periodos de estudio están dentro de los 10 primeros con la mayor tasa de homicidios, localizados dentro de los estados de Guerrero, Chihuahua, México, Ciudad de México y Guadalajara.

Ordorica y Cervantes (2020), en un estudio donde analizan la dinámica de la violencia y su efecto en los niveles de mortalidad, demuestran que México ha mostrado ser un país muy violento a lo largo de su historia. En 2017 la mortalidad por homicidios se encontraba dentro de las primeras 10 causas de muerte. Además, fue el año en el que ocurrieron más homicidios en la historia mexicana,

siendo de 32,079 casos. Se encontró que, entre 2007 y 2017, el incremento de los homicidios fue de 23,212, donde el 61% se concentraron en los estados de México, Baja California, Chihuahua, Veracruz, Michoacán, Jalisco, Sinaloa, Tamaulipas, Colima, Puebla, Zacatecas y Oaxaca. Destacan que, en valores absolutos, el Estado de México es el que tiene más casos de homicidios y mantiene el primer lugar entre 2007 y 2017.

Al mismo tiempo, observaron que el incremento de las muertes por homicidios afectó al incremento en la esperanza de vida al nacer, ya que la esperanza de vida se frenó súbitamente entre 2006 y 2015 a nivel nacional. En 2015, se esperaba que la esperanza de vida al nacer fuera de 77.6 años para hombres y mujeres, sin embargo, solo se alcanzaron los 74.4 años. En Ciudad Juárez, Chihuahua, por ejemplo, se encontró que la esperanza de vida al nacer de las mujeres se redujo de 72.9 a 72.1 años entre 2000 y 2010. Sin embargo, en los hombres se redujo 9 años en promedio que se espera que viva una persona desde su nacimiento, de 66.8 a 57.7 años (Ordorica y Cervantes, 2020).

Estudios más recientes, como el de Sánchez y Osorio (2021) elaboran un atlas de las tendencias de homicidios de México en 2020. Los autores muestran que el total anual de homicidios disminuyó 1% respecto al 2019. Sin embargo, estos datos pueden no ser de todo ciertos debido a la baja declaración, registro de los casos y corrección de datos. Ellos mencionan que la distribución de los homicidios es un fenómeno concentrado en el espacio, ya que, de los 2,465 municipios de México, cinco municipios acumularon el 17% de los homicidios, 1,072 menos de 10 casos y 908 no registraron homicidios durante el 2020. Los estados que concentraron el 46% de los homicidios en 2020 son Guanajuato, Chihuahua, Estado de México, Baja California y Michoacán. Sin embargo, solo Chihuahua, Guanajuato y Baja California son las entidades con mayor riesgo de morir a causa de un homicidio.

Como se ha visto, los homicidios predominan entre los hombres jóvenes, González y Vega (2019) estudian los homicidios masculinos juveniles entre 15 y 29 años y su impacto en la esperanza de vida masculina en México, por estado y en trienios 2004-2006 y 2014-2016. Ellos identifican factores que mejor explican las variaciones en los años de esperanza de vida masculina perdidos (AEVMP). Los AEVMP se incrementaron en todos los estados que conforman México, con énfasis en Guerrero, Sinaloa, Chihuahua y Colima. Además, las tasas más altas se observan en el grupo de 25 a 29 años, alcanzando valores superiores a 65 homicidios por cada 100,000 habitantes.

Finalmente, encuentran que las variables narcotráfico, armas de fuego ilegales y percepción de la inseguridad explican variaciones en los AEVMP.

En este sentido, Castañeda (2017) realiza un trabajo comparativo entre el Estado de México y Guerrero en relación con la evolución de las tasas de homicidios y el efecto en la esperanza de vida, así como los años de vida perdidos, por sexo para el 2014. Encontró que, efectivamente la mortalidad por homicidios es mayor en hombres que en mujeres jóvenes, por lo que, se reduce la esperanza de vida por esta causa y el grupo etario de 30 a 59 años es el que pierde más años de vida. Además, que las tasas de homicidios son mayores en Guerrero que en el Estado de México y, por ende, la esperanza de vida es mucho menor en Guerrero.

Además de estudiar las tendencias y el comportamiento de los homicidios a nivel estatal y municipal, hay trabajos que indagan sobre las relaciones de los homicidios con diferentes factores, Orozco (2012) hace un estudio exploratorio del comportamiento de los homicidios en todos los municipios urbanos de México y si existen relaciones con factores sociales, así como el efecto en la esperanza de vida por sexo. Encontró que el mayor impacto es en los hombres jóvenes (15 a 24 años) para 2000 y esto incrementa en 2010. A su vez, únicamente la variable tasa de divorcio presenta una relación positiva con las tasas de homicidios para los dos años de estudio.

Finalmente, Limberopulos (2016) relaciona el nivel de desarrollo social de los jóvenes con la tasa de homicidios juvenil (15 a 29 años) para 368 municipios metropolitanos de México en el año 2010, a través del modelo de regresión logístico ordinal generalizado, y tomando la tasa politómica ordinal de homicidios en 3 niveles (nulo, moderado y alto) como variable dependiente, encontró que la mayoría de los muertos son hombres (61%). Además, encontró que las variables explicativas como crimen organizado tuvieron un efecto positivo con relación a la variable dependiente, mientras que las variables programas gubernamentales, número de jóvenes beneficiarios y la vivienda tuvieron un efecto negativo. En otras palabras, a mayor proporción de crimen organizado mayor es la tasa de homicidios, a menor proporción de jóvenes beneficiarios de programas gubernamentales mayor es la tasa de homicidios.

2.2 Relación entre espacio y mortalidad por homicidios

Durante los últimos años, la perspectiva espacial se ha ido incorporando en muchos estudios en los campos de la demografía (Weeks, 2007; Castro, 2007; Voss, 2007), epidemiología y salud pública (Graham, Atkinson y Danson, 2004), entre otras. A través del uso de técnicas del análisis espacial y de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), es posible comprender y analizar la distribución geográfica de los fenómenos o eventos, por ejemplo, de las enfermedades, de los movimientos migratorios, de la fecundidad y de la mortalidad.

A grandes rasgos, el análisis espacial es un conjunto de técnicas espaciales, procesos sistemáticos y analíticos que proporcionan información acerca de la correlación de los patrones y de las tendencias producidas en el espacio, dependencia y relación espacial entre los datos y explicación y predicción del riesgo basados en modelos teóricos formulados matemáticamente para cuantificar y predecir la variación del comportamiento humano en el espacio (Valbuena-G y Rodríguez, 2018). Particularmente para la demografía, el interés está en la estructura y dinámica de la población. En otras palabras, un aspecto central es la composición de la población y los factores que provocan cambios en la composición (Raymer, Willekens y Rogers, 2019).

En este sentido, el estudio de la mortalidad, particularmente para áreas pequeñas, ha tomado un papel importante dentro del análisis espacial. Sin embargo, analizar áreas pequeñas con causas de muerte de baja frecuencia presenta un gran desafío, pues pueden distorsionar la realidad, ya que los niveles de mortalidad en áreas pequeñas tendrán variabilidad aleatoria (Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2017). Según Barceló et al. (2008), no hay consenso en cuanto a la definición de un área pequeña. Esto dependerá del contexto de estudio y del número de casos, aunque puede resumirse como cualquier región cuyo tamaño muestral es muy pequeño para producir estimaciones con un nivel de precisión aceptable, ya sea la población o el recuento del evento, que afectará al cálculo de las tasas. Como ejemplos de áreas pequeñas podemos citar un municipio, una localidad o una colonia.

Una de las formas de corregir el problema de la aleatoriedad de datos en áreas pequeñas es utilizar técnicas de ajuste como, por ejemplo, la estandarización directa o indirecta, aunque se utiliza frecuentemente la estandarización indirecta (OPS, 2019). Sin embargo, Morera y Aparicio (2013) mencionan que las tasas estandarizadas, aunque son muy utilizadas en el análisis geográfico de los eventos demográficos o de salud, presentan limitaciones. Cuando el tamaño de la población es

muy pequeño, las razones se vuelven inestables porque no hay diferencias en el tamaño de la población entre áreas geográficas, pasando de cero a razones muy altas o de cero a unos cuantos casos de mortalidad. Además, cuando los casos observados generalmente varían más que los esperados, producen extravariabilidad.

Otras alternativas para reducir la variabilidad aleatoria y que puedan mostrar, lo más cercano, al riesgo real que está expuesta la población en áreas pequeñas son los métodos de suavizado. Estos permiten estimar tasas estandarizadas mejoradas para cada área a partir de la información global o de áreas vecinas (OPS, 2017). Los métodos de suavizado se conocen como modelos bayesianos, los cuales parten del supuesto de que los casos se distribuyen como una Poisson (Barceló et al., 2008). “Los métodos bayesianos empíricos y jerárquicos son los que proporcionan resultados más consistentes, pues son capaces de modelar la extravariabilidad espacial” (Morera y Aparicio, 2013, p. 83).

Las investigaciones sobre la distribución espacial de la mortalidad por homicidios se enmarcan en la criminología ambiental, la cual se compone de varias teorías que se basan en que el comportamiento de la delincuencia está influenciado por el espacio en el que se produce el evento, es decir, utiliza la dimensión espacial y temporal de los eventos criminales. Anselin et al. (2000) afirman que estas teorías provienen de la tradición teórica de la ecología social y, sobre todo, parte de la idea que el comportamiento individual es producto de la relación entre el individuo y el entorno que lo rodea, pues buscan explicar las acciones individuales del criminal de acuerdo con las características generales de la estructura social en la que se desarrolla. Además, mencionan que la intersección espacial y temporal está determinada por la organización de ciertos tipos de actividades en lugares específicos, que van desde ambientes altamente estructurados como el trabajo y la escuela hasta ambientes menos estructurados en los lugares domésticos y de ocio.

2.2.1 Estudios de análisis espacial y temporal de los homicidios en América Latina

En América Latina, existen diversos estudios que relacionan el espacio y los homicidios a través de diversas técnicas de análisis espacial en escalas geográficas distintas. Cabe mencionar que, en este apartado, se seleccionaron aquellos estudios que aportan diferentes metodologías para mejorar los datos en áreas pequeñas. En Brasil, se ha trabajado a los homicidios desde esta perspectiva,

Baptista et al. (2019) producen estimaciones de mortalidad en áreas pequeñas por diferentes causas, entre ellas causas externas que incluye a los homicidios, para el periodo de 1990 a 2016, con el objetivo de analizar la evolución espacial de la mortalidad. Aplican algunos métodos demográficos tradicionales y estadística bayesiana para producir estimaciones más sólidas, como la estandarización indirecta, el estimador bayesiano empírico espacial y la regresión TOPALS por edad y sexo. Encontraron que utilizar la estandarización indirecta presenta muchas limitaciones; que el estimador bayesiano empírico espacial, pese a que robustece la estimación, este enfoque se centra en usar las tasas crudas; y que la regresión TOPALS estima un perfil más completo de mortalidad por edad, sexo y causa de muerte. Sin embargo, ellos mencionan que, bajo la perspectiva de utilizar métodos para áreas pequeñas, existe potencial de proporcionar nuevos conocimientos sobre las tendencias temporales y geográficas de la mortalidad en Brasil.

Por su parte, Carvalho et al. (2012) utilizan el total de homicidios para sus estimaciones en el año 2008. Aplican el método de la tasa empírica bayesiana, empírica espacial y bayesiana de Clayton y Kaldor, utilizados para corregir las deficiencias en las tasas brutas, los cuales resultan favorables y con mayor precisión a escalas locales. Estos modelos utilizan el promedio de los vecinos para obtener la tasa, y de esta manera aplicar técnicas de autocorrelación espacial que muestran que efectivamente existe una variabilidad y concentración de los homicidios en ese país.

Aunado a lo anterior, Oliveira et al. (2019) muestran una comparación del Índice de Morán y LISA entre las tasas crudas, estandarizadas y suavizadas con el estimador bayesiano empírico espacial. Aplicaron técnicas de autocorrelación espacial para el periodo de 2011 a 2016. Se resalta que, a través de las tasas estandarizadas y suavizadas se incrementa el valor de la I de Morán, lo que permite observar la existencia de un patrón espacial definido, pues se muestran mayores concentraciones en ciertas áreas en comparación con las tasas brutas que muestran que puede ser un fenómeno aleatorio.

Por otro lado, Piedad, Torres y Alexander (2017) elaboran un atlas de homicidio en Colombia. Ellos proponen un método espacial bayesiano para identificar el subregistro de la mortalidad a nivel municipal por sexo, porque la mayoría de los países en desarrollo presentan problema de subregistro en estadísticas vitales en áreas pequeñas. Encontraron que las mujeres presentan mayor

problema de subregistro que los hombres y, sobre todo, que al corregir los subregistros facilitan la interpretación e identificación en áreas pequeñas.

Cabe mencionar que, recientemente también ha habido un interés en la modelación espacio-temporal de datos en áreas pequeñas, con presencia fuerte de ceros. Esto se debe a la heterogeneidad de la distribución de la mortalidad por homicidios, que por naturaleza son raros o poco frecuentes en ciertas regiones o periodos de tiempo (Romo, 2019). Romo (2019) menciona que para robustecer el análisis espacial de la mortalidad por homicidios se usan modelos donde se pueda tener inferencias y predicciones más precisas que preserven las interacciones entre la ubicación espacial y el periodo de tiempo, por ejemplo, los modelos bayesianos espacio-temporales.

El trabajo de Law, Quick y Chan (2013) hace uso de la suavización de los casos de homicidios en pequeñas áreas en la región de Ontario, Canadá, con datos de 2006 y 2007. Explora los métodos espacio-temporales bayesianos para analizar patrones locales del tiempo y espacio de los delitos. Resaltan que, es de los primeros estudios que aplica este modelo a actividades delictivas, el cual es ajustado por la simulación Monte Carlo de la cadena de Markov, y sirve para estabilizar las estimaciones del riesgo en áreas pequeñas y de datos escasos. La implementación del modelo efectivamente estabiliza las estimaciones del riesgo, controla la autocorrelación espacial, identifica la variación de las tendencias de los delitos y permite mostrar los puntos calientes o fríos (*hots y cold spots*).

En otro estudio, Nóbrega et al. (2021) examinan y presentan patrones espaciales y temporales de víctimas de homicidio de 2006 a 2015 en Alagoas, Brasil, diferenciados por sexo. Al igual que los trabajos anteriores, utiliza métodos empíricos locales de bayes para ajustar estimaciones del riesgo de homicidios. Se encontró que la diferencia entre las tasas de hombres es mucho mayor en comparación con las de mujeres y que el mapeo local empírico bayesiano mostró una fuerte agrupación del riesgo de homicidio masculino en ciertas zonas, mientras que el riesgo femenino estaba disperso en toda la región. Este modelo ajusta las tasas de incidencia en función de los valores de los vecinos a través de una matriz de pesos espaciales y al mismo tiempo estima el riesgo basado en las tasas locales promedio de homicidio para ajustar la variación local.

Además, hay trabajos que buscan relacionar la tasa de homicidios con algunas variables explicativas de corte social y económica, Silva et al. (2020) presentan un análisis espacial de los homicidios en Brasil, entre los años 2016 y 2019, mediante el uso de un análisis exploratorio de datos espaciales de homicidios con cinco variables que podrían explicar su ocurrencia. Aplicaron el Índice de Morán y LISA, así como la regresión de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) y Regresión Geográficamente Ponderada (GWR). Encontraron que existe una autocorrelación espacial positiva de las tasas de homicidios, y que las variables: concentración de población urbana, mayor proporción de hombres de entre 18 y 24 años, el nivel de ingresos, el narcotráfico y el rezago escolar presentan relación a nivel estatal y municipal. Por su parte, las variables de analfabetismo y el bajo ingreso per cápita no presentan relación. Cabe mencionar que el uso de GWR es importante, ya que presenta detalles locales que la regresión OLS es no es capaz de visualizar.

2.2.2 Estudios de análisis espacial y temporal de los homicidios en México

En México, también existen muchos estudios que aplican técnicas de análisis espacial. Sin embargo, no todos corrigen los datos en áreas pequeñas a través de métodos estadísticos demográficos y espaciales. Rodríguez (2020) muestra el comportamiento de las tasas brutas de mortalidad por homicidios de hombres y mujeres en México a través de representación cartográfica, a nivel municipal de 1990 a 2018. Sin embargo, además de mostrar una visión general del comportamiento de los homicidios, incorpora el uso de otras herramientas geoestadísticas para verificar la existencia de patrones espaciales, en el cual corrobora que la distribución de los homicidios no es aleatoria, sino que hay una concentración de las tasas en ciertas zonas, y que además coincide con algunas características socioeconómicas que habilitan zonas para la violencia.

Valdivia, Rodríguez y Castro (2020) resaltan el uso de los índices espaciales locales, utilizando las tasas brutas tanto de hombres como de mujeres. Encuentran autocorrelación positiva en el periodo de 1990 a 2017 a nivel municipal, es decir, presentan un patrón de concentración, sobre todo, en los homicidios de los hombres. Por otro lado, en el caso de las mujeres, no existe concentración sino valores atípicos (*outliers*). Por lo tanto, en los hombres las dinámicas de los

homicidios son más susceptibles a ser transmitidas entre municipios, mientras que en las mujeres la dinámica es todo lo contrario. En este sentido, Arteaga, Dávila y Pardo (2019) se centran en la autocorrelación espacial de la violencia homicida y la presencia de grupos que tienen la capacidad de ejercer la soberanía. Estos actores (sicarios, traficantes, policías o militares) poseen necropoder y operan a veces dentro, a veces fuera del marco de la ley. Utilizan el análisis de la autocorrelación espacial de los homicidios a nivel municipal de tres periodos (2004-2006, 2009-2011 y 2014-2016), a su vez, permite conectar las relaciones espaciales entre los homicidios con descripciones de los grupos que construyen regímenes de violencia en esos espacios. Encontraron que la violencia en un lugar específico no ocurre por casualidad, sino que está vinculado a dinámicas territoriales y sociales más amplias.

Reyna et al. (2020) se enfocan en las colonias de la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, del periodo de 2013 a 2018. Cabe destacar que la fuente de datos se generó a partir de datos de prensa y se implementó un modelo matemático para las proyecciones de población a nivel colonia en los años de estudio. Además, los casos de homicidios se corrigieron a través del método empírico de Bayes para evitar los efectos producidos por las diferencias en el tamaño de la población, lo que mostró que los homicidios se han desplazado y aumentado en colonias del centro, por lo que existe un patrón de concentración.

Además de hacer estudios espaciales exploratorios, también se han aplicado modelos de regresión globales y locales con la finalidad de asociar la tasa de homicidios con variables que puedan explicar el comportamiento y tendencia de estos. Vilalta y Muggah (2014) analizan, en 2009 y 2010, los distritos policiales de Ciudad Juárez, Chihuahua, donde presenta la variabilidad espacial del comportamiento de los homicidios. Incorporan un análisis de regresión para correlacionar las tasas con factores demográficos y socioeconómicos dentro del contexto del crimen organizado, donde el indicador de cohesión familiar es el que más se relaciona con los homicidios.

En el trabajo de Fuentes y Sánchez (2015) se investiga el patrón de la distribución espacial de los homicidios y su relación con variables sociodemográficas en las colonias de la Ciudad de México con mayores tasas de homicidios. A través de técnicas de análisis exploratorio de datos geoespaciales y geoestadísticas buscan mapear cómo se distribuyen los homicidios y cuáles son las variables asociadas. Destaca la asociación del uso de suelo no residencial, densidad de

población y el índice de marginación. Sin embargo, la relación de estas variables con el homicidio es distinta por zonas.

Al respecto, Sánchez (2014) analiza la distribución espacial de algunos delitos, como los robos y homicidios, y la relación existente entre algunas variables socioeconómicas dentro del contexto urbano basado en la perspectiva de la criminología ambiental y el análisis espacial. Mide, a través de GWR, la variabilidad espacial e identifica en dónde son más fuertes las relaciones, por lo que muestra que existe una asociación entre densidad de población, uso de suelo no residencial, tasa de desempleo y población joven.

Vilalta y Muggah (2016) se enfocan en los municipios de la zona metropolitana de la ciudad de México, pero incluyen todo tipo de delitos, entre ellos el homicidio. Revelan que existe una heterogeneidad en las tasas de delitos que conlleva a la concentración de las tasas en la zona periférica a la Ciudad de México. Además, incluye un análisis de regresión lineal en el que encuentra una relación fuerte con los hogares de jefatura femenina.

Desde la perspectiva de género y la desigualdad, Mejía, Spijker y Manetta (2020) hacen el análisis de los homicidios con técnicas demográficas y geoestadísticas para mostrar la relación entre las tasas de homicidios y algunos indicadores demográficos. Se enfocan solo en algunos municipios del Estado de México y en todas las alcaldías de la Ciudad de México entre 2000 y 2012. Consideran a los municipios con población mayor a 100,000 habitantes, únicamente hombres de 15 a 34 años y utilizan la estandarización por el método directo de las tasas brutas respecto a la tasa nacional. Aplican un análisis de *clusters* y también relacionan a los homicidios con algunas variables explicativas, donde la pobreza patrimonial y el coeficiente de Gini presentan una relación con la variable dependiente. Además, resaltan que la I de Morán no resulta significativa en el periodo de 2000 a 2002 pero si en 2010 a 2012, por lo que, se explica que en el 2000 los homicidios están poco influidos por el comportamiento de los municipios circundantes, mientras que para 2010 es lo contrario.

Por último, Gasca y Flores (2017) presentan un análisis exploratorio de datos espaciales de los homicidios de mujeres a escala municipal utilizando un modelo espacio-temporal para los años 1990, 2000 y 2010 con el objetivo de determinar cambios en los patrones de distribución de los homicidios en mujeres. Este modelo se basa en el modelo discreto de Poisson, los grupos de alto riesgo se identifican de acuerdo con la población en riesgo subyacente en los municipios

mexicanos. Encontraron que los municipios que presentan mayor aglomeración espacio-temporal se localizan tanto en el norte como en el sur. Sin embargo, esto cambia en el tiempo, porque en 2010 existe una distribución espacial de los homicidios hacia el norte del país, en los estados de Chihuahua, Nuevo León y Durango, mientras que, en 1990 y 2000 había mayor incidencia de homicidios en el sur, en los estados de Oaxaca y Guerrero. No obstante, la mayor prevalencia del riesgo se ubica en los estados fronterizos, específicamente en Chihuahua, que se relaciona con los carteles de droga que luchan por apropiarse del mercado local y la guerra con el narcotráfico, pues este territorio ha sido escenario de diversos fenómenos que afectan la mortalidad por homicidios en las mujeres.

Los estudios anteriormente mencionados trabajan con muertes por homicidios desde perspectivas demográficas y geográficas. En su mayoría se trabajan en grandes regiones geográficas, a un nivel nacional y estatal, que logran mostrar el panorama general de la tendencia del comportamiento de los homicidios dentro del país. Aunque esto implica un análisis bajo una sola perspectiva, pues son muy pocos los estudios que juntan la demografía y la geografía.

Por otro lado, existen trabajos que se enfocan en estudiar a los homicidios a un nivel más micro, como los municipios, a través de diferentes métodos. Sin embargo, son pocos los estudios que lo hacen desde la perspectiva de áreas pequeñas, ya que, como se explicó anteriormente, analizar la mortalidad en áreas pequeñas se convierte en un desafío por las inconsistencias que se producen al estimar las tasas. En otros países latinoamericanos, como Brasil y Colombia, se ha explorado mucho el análisis de la mortalidad bajo esta perspectiva, y han aplicado diversos métodos estadísticos demográficos y geográficos, como el suavizamiento de los casos de homicidios a través de la estadística bayesiana, los modelos espacio-temporales bayesianos y el análisis espacial. Pues lo que se busca es robustecer las estimaciones de las tasas para identificar el riesgo real que está expuesta la población a causa de este evento.

En México, son pocos los estudios que se basan en la perspectiva de áreas pequeñas, sin embargo, en los últimos años se ha incrementado el interés por mejorar las estimaciones de los casos de mortalidad. Bajo este contexto se inserta esta tesis, porque se trata de utilizar en conjunto técnicas demográficas y espaciales para estudiar un evento en áreas pequeñas. De esta manera, se refuerzan las estimaciones y esto permite entender el comportamiento más real de los homicidios en tiempo y espacio.

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

En este capítulo se presentarán algunos de los métodos demográficos y estadísticos más comúnmente utilizados para la estimación de tasas de mortalidad en áreas pequeñas. Una descripción general de cada uno de ellos, sus ventajas y limitaciones se abordará a lo largo de este capítulo.

3. 1 Estimación de Tasas crudas y estandarizadas

Los datos brutos, si bien son esenciales en cualquier investigación, presentan una serie de problemas cuando se analizan sin el cuidado y tratamiento adecuados. La información que proporcionan es limitada, ya que no tienen en cuenta la población que está expuesta o en riesgo ante una situación determinada, como la mortalidad. Para ello, se utilizan las tasas brutas, que resulta de la relación entre el número total de casos observados (datos crudos) y el total de la población en riesgo en cada área geográfica. Estas tasas también pueden desagregarse por sexo y edad, como las tasas específicas de mortalidad, que representan la frecuencia con que ocurren las defunciones en una determinada edad o grupo de edades con respecto al total de población de esta misma edad o grupo (INEGI, 2020).

No obstante, el uso directo de las tasas crudas y específicas está sesgada y no permiten la comparación entre distintas áreas. Las diferencias entre este tipo de tasas pueden deberse a muchos factores que no son tomados en cuenta, como la estructura por edad. Para ello, se utilizan dos técnicas, la estandarización directa e indirecta.

En términos generales, el método directo consiste en aplicar las tasas específicas de mortalidad de las poblaciones estudiadas a una misma población hipotética denominada población estándar (Silva, Benavides y Vidal, 2003). Calcula la tasa que se esperaría encontrar en las poblaciones bajo estudio si todas tuvieran la misma composición según la variable cuyo efecto se espera ajustar o controlar. Se utiliza la estructura de una población llamada estándar, que corresponde al factor que se quiere controlar y a la cual se aplican tasas específicas por esos mismos grupos de poblaciones estudiadas. Por lo que, se obtiene el número de casos esperados en cada grupo de edad si la estructura de la población fuera la misma de la población estándar. Esta tasa resulta de dividir el total de casos esperados entre el total de la población estándar (OPS, 2002).

El método indirecto consiste en la comparación, por ejemplo, de las muertes observadas en un área geográfica con las muertes esperadas si los riesgos para cada grupo de edad fueran los mismos que en la población de referencia (Barceló et al., 2008). En otras palabras, en lugar de utilizar una población estándar, como en la estandarización directa, se utilizan tasas específicas estándares o de referencia aplicadas a las poblaciones de referencia. Así se obtiene el total de casos esperados. Sin embargo, no se obtiene una tasa estandarizada sino una razón de mortalidad estandarizada (RME), que es la relación que existe entre el conteo de casos observados y casos esperados de cada área. Esta estimación de casos se basa únicamente en un tamaño de muestra de uno, por lo que, desde el punto de vista estadístico no es realmente útil (Lawson et al., 2000). “Las principales limitaciones son que dependen en gran medida del tamaño poblacional” (Barceló et al., 2008, p.2), pues la varianza de RME es grande en áreas con población pequeña y pequeña en áreas con población grande. No tienen en cuenta la variación de la población entre diferentes áreas geográficas. “No hay diferencia entre regiones cuando se observan las muertes y no es parsimonioso, que es una ley común de todos los estimadores de modelos saturados” (Lawson et al., 2000, p. 3).

Para ello, existe una variedad de modelos alternativos que proporcionan estimaciones adecuadas de la mortalidad en áreas pequeñas. Lawson et al. (2000) mencionan que existen modelos de suavizado, como la regresión no paramétrica, que intentan suavizar el ruido en función de las funciones de los datos en las áreas circundantes; modelos bayesianos, que asumen que los riesgos relativos son realizaciones de una distribución; y, por último, los modelos bayesianos empíricos que son similares a los bayesianos, pero estiman la distribución previa de los riesgos relativos a partir de los datos observados.

3.2 Métodos de suavizado (regresión no paramétrica)

Los modelos de regresión no paramétrica se basan en un planteamiento no paramétrico, que permite mayor flexibilidad y adaptación a diversas situaciones reales. Son útiles cuando los datos son considerablemente no normales, es decir, cuando no se cumple el supuesto de normalidad. Por lo que, se desea hacer inferencias sobre el centro de la distribución, dado que no hay una distribución específica para esos datos. En general, basado en el diagrama de dispersión de los

datos, este método trata de definir una banda centrada en cada observación y un ancho de banda o parámetro de suavizado. De esta manera, estima la curva de regresión en cada observación utilizando únicamente las observaciones que caen dentro del parámetro de suavizado. Además, para obtener la curva de regresión estimada, la banda definida por el parámetro de suavizado recorrerá todo el diagrama de dispersión de izquierda a derecha. Así, se puede esperar que los valores próximos a una observación puedan dar información (Boukichou, 2009).

Dentro de estos modelos, se destacan cuatro tipos de técnicas (Boukichou, 2009, p. 10):

- a) *Estimadores de tipo núcleo*, que realizan un promedio de las observaciones que caen en cada banda, como el suavizador de *kernel* Nadaraya-Watson (1964). Este estimador, se aplica al RME, es un promedio ponderado y tiene una función de densidad de probabilidad radialmente simétrica de media cero, donde el parámetro de suavizado se elige para minimizar alguna medida de bondad de ajuste (Lawson et al., 2000). Aunque, existe una variación de este método para suavizar las RME, que es propuesto por Kelsall y Diggle (1995), solo que éste suaviza por separado el numerador y denominador de la RME. Se aplica para contar datos en áreas pequeñas usando la validación cruzada de mínimos cuadrados para obtener una constante de suavizado común para el estimador de la razón resultante. Sin embargo, “ambos métodos no utilizan una formulación de probabilidad directamente” (Lawson et al., 2000, p.4).
- b) *Regresión polinomial local*, que realiza un ajuste polinomial con las observaciones que caen en la banda, se destaca el modelo de Cleveland (1979).
- c) *Suavizamiento por splines*, se define como la solución a un problema de mínimos cuadrados penalizados. En general, cada región se ajusta a un modelo de regresión polinómica y están unidos en los extremos (nodos) para dar continuidad a la curva. Sin embargo, este tipo de regresiones pueden ser vulnerables a la cantidad y ubicación de los nodos (Isern y Cuesta, 2013).

3.3 Métodos desde el enfoque bayesiano

Desde el enfoque bayesiano, existen más alternativas para la estimación de tasas o riesgos de los casos de mortalidad en áreas pequeñas. Este tipo de estadística utiliza el teorema de Bayes, que es un sistema de cálculo de probabilidades, donde tiene en cuenta información que se conoce que se ha producido en un determinado entorno. Se utiliza como una forma de variar las expectativas de acuerdo con la información empírica concreta que ya se tiene sobre algo. Este enfoque utiliza los datos y, además, información extra (Barceló et al., 2008).

Por lo tanto, estos métodos combinan la información empírica con criterios *a priori* que posee el investigador de estudios previos y/o de reflexiones razonales. Como resultado de tal integración, “se obtiene una visión *a posteriori* que constituye la base de las inferencias subsiguientes” (Silva, Benavides y Vidal, 2003, p. 2).

Para la estimación de tasas de mortalidad en un área geográfica determinada, se utilizan dos tipos de información primordial. La primera es el total de la población en un tiempo determinado y, la segunda, el número de casos o defunciones observados en un área geográfica. En otras palabras, estos datos permiten el cálculo de la estimación de tasas por máxima verosimilitud, “bajo el supuesto de que la variable estudiada (por ejemplo, número de defunciones observadas en un lapso dado) sigue una distribución Poisson” (Silva, Benavides y Vidal, 2003, p. 2).

Como se ha mencionado, se pueden producir estimaciones extremas de las tasas en algunas áreas, cuando se trabaja con áreas pequeñas. Por lo que, de acuerdo con Silva, Benavides y Vidal (2003) y Barceló et al. (2008), se puede configurar información *a priori* a partir de algunos criterios, por ejemplo, la proximidad geográfica, la similitud en materia económica, el nivel de ingresos, entre otras. El objetivo es producir estimaciones en las áreas que tienen pocos datos mediante otras áreas que pudieran tener tasas similares a esas áreas, que dependen del conocimiento previo del investigador. Aunque, como mencionan los autores, también se pueden utilizar con un desconocimiento de información *a priori*, de manera que se atribuye el promedio de todas las áreas presentes en el estudio.

En este sentido, “se obtiene la distribución *a posteriori* para las tasas desconocidas como una magnitud proporcional al producto de la distribución *a priori* y la verosimilitud de los datos. La

estimación de la tasa es entonces una medida central de la distribución *a posteriori*” (Silva, Benavides y Vidal, 2003, p. 6).

Para especificar la estructura *a priori* para RME, existen diversas posibilidades, que van desde el modelo más simple, en el cual se considera un valor medio o global hacia el que tiende cada área, hasta los que postulan una compleja variante de interdependencia entre las áreas. “El proceso de establecimiento de los valores *a posteriori* para las RME es considerablemente complejo desde el punto de vista computacional. Para conseguirlo hay que estimar los parámetros del modelo jerárquico, para lo cual se utilizan técnicas de simulación” (Silva, Benavides y Vidal, 2003, p. 6).

3.3.1 Métodos Empíricos bayesianos

Los métodos bayesianos se pueden utilizar para producir estimaciones suavizadas de las RME o directamente de los casos de mortalidad. Dado que existen limitaciones derivadas de la utilización directa de las RME, Clayton y Kaldor (1987) elaboraron una propuesta para modelar los riesgos relativos con base en la estadística empírica bayesiana para disminuir la inestabilidad de las REM.

En general, sus modelos propuestos imponen una estructura a los riesgos relativos modelándolos colectivamente como un proceso estocástico espacial. En otras palabras, los riesgos relativos se distribuyen de acuerdo con una distribución *a priori* multivariante, donde los parámetros determinan el nivel global del riesgo y la interdependencia geográfica entre los valores correspondientes a las áreas. Por lo que, esta distribución *a priori* toma información de todas las áreas y para cada área produce una estimación (Silva, Benavides y Vidal, 2003).

El método bayesiano empírico, además de suponer una distribución de probabilidad para los casos observados, habitualmente una Poisson, asume que el riesgo relativo también es una variable aleatoria. “Se puede suponer que éste se distribuye según una determinada distribución de probabilidad (habitualmente una gamma, aunque también pueden ser otras como una log-normal), o bien se puede dejar libre, y no suponer ninguna distribución determinada” (Barceló et al., 2008, p. 5).

A) Modelo Gamma

En este modelo se supone que los riesgos relativos siguen una distribución gamma con parámetros de escala y parámetro de forma. En general, con este método se observa que las estimaciones del riesgo relativo de los casos de mortalidad en áreas pequeñas están menos dispersas que las REM. Pues, las estimaciones basadas en un gran número de defunciones están cerca de la REM correspondiente, y las basadas en números pequeños de defunciones están cerca del riesgo relativo promedio general (Clayton y Kaldor, 1987). Dentro de sus ventajas es que estima su media y varianza a través de la máxima verosimilitud y, dado que estima el total posterior, puede usarse para dar intervalos de confianza y pruebas de hipótesis. Sin embargo, es incapaz de modelar frente a la correlación espacial (Lawson et al., 2000).

Clayton y Kaldor (1987) mencionan que este modelo se puede extender para ingresar covariables. Por ejemplo, si se sabe que alguna covariable predice fuertemente la mortalidad, entonces se utiliza la relación entre la covariable y la variable de mortalidad para mejorar las estimaciones del riesgo relativo. En otras palabras, se obtiene un valor estimado compatible con la covariable, por lo que la estimación en un área pequeña no se basa en la mortalidad relativa promedio general.

B) Modelo logarítmico normal

Este modelo parte de una distribución logarítmica normal multivariada, donde supone que el vector de riesgos relativos logarítmicos presenta una distribución normal multivariante. Se adopta una aproximación en la que la probabilidad de Poisson del vector de riesgos relativos logarítmicos se asume como cuadrática. Por lo que, las estimaciones logarítmicas de las RME basadas en números grandes se ven menos afectados que los basados en números pequeños. Particularmente, cuando el número de defunciones es muy pequeño, la aproximación cuadrática es sospechosa, sin embargo, sirve para ponderar la estimación correspondiente del riesgo relativo (Clayton y Kaldor, 1987).

Aunque, estos modelos se pueden robustecer cuando se supone que los riesgos relativos logarítmicos están correlacionados, es decir, dependen de la proximidad geográfica. Como el modelo de autorregresión condicional (CAR), que permite suavizar los riesgos tomando en cuenta

la posible sobredispersión de los datos. Este tipo de modelo tiene en cuenta la estructura espacial y temporal (Clayton y Kaldor, 1987; Ugarte et al., 2014).

C) *Estimador bayesiano empírico espacial*

Aunado a lo anterior, dentro de los métodos empíricos bayesianos, el modelo propuesto por Marshall (1991) es muy similar a los mencionados anteriormente. Sin embargo, ninguno de ellos trata explícitamente el aspecto espacial de los datos. Marshall (1991) propone un método empírico bayesiano con estimadores locales, que se reducen a una media local y no a una global. Pues los enfoques globales son espacialmente invariantes, por lo que, cualquier reordenamiento de las áreas geográficas deja las estimaciones sin cambios. Para ello se usan los estimadores locales, en el que se define un vecindario para cada área, que incorpora el área con sus vecinos y, por lo tanto, “usa la vecindad para establecer parámetros previos para los casos de mortalidad o de la RME” (Marshall, 1991, p. 5). En otras palabras, utiliza la media del vecindario o local de un área pequeña y no la media global como los modelos propuestos por Clayton y Kaldor (1987).

De esta manera, los casos o las RME de los vecinos (contiguos o no) de cada área pequeña, se pueden utilizar como información *a priori*. Pues los mismos datos se utilizan para construir *a priori* (Carvalho et al., 2012).

3.3.2 Métodos completamente bayesianos

En el enfoque completamente bayesiano, la idea es introducir en el modelo uno o más efectos aleatorios que recojan (toda) la variabilidad no explicada (Silva, Benavides y Vidal, 2003). El modelo más utilizado para suavizar las razones es el propuesto por Besag, York y Mollie (BYM), el cual incluye 2 efectos aleatorios: uno de ellos recoge la heterogeneidad espacial, mientras que el otro la extravariabilidad (no espacial) desestructurada (Besag, York y Mollie, 1991; Lertxundi, 2006). Respecto a los efectos aleatorios, el efecto no espacial se distribuye como una normal. El efecto espacial, la aproximación más habitual es el modelo condicional autorregresivo (CAR). En general, asume una dependencia espacial por la que las estimaciones del riesgo en un área determinada dependen de las áreas vecinas. Así, los pesos o ponderación espacial son máximos

(igual a la unidad) si las áreas son adyacentes y mínimos (igual a cero) en otro caso (Besag, York y Mollie, 1991; Lertxundi, 2006).

De acuerdo con Lawson et al. (2000, p. 7), el modelo BYM divide el parámetro de riesgo relativo en tres componentes. El primero se refiere a que tiene un término de regresión al permitir la tendencia espacial y covariables. Estos términos podrían ser reemplazados por un modelo aditivo no paramétrico. El segundo hace referencia a la sobredispersión espacial, donde se puede permitir tener una variable aleatoria que esté correlacionada con otra, para que las regiones cercanas entre sí presenten un riesgo similar. En otras palabras, se correlaciona espacialmente donde la varianza depende del número de vecinos. El tercero se refiere a la sobredispersión, pero no espacial. Se tiene que introducir este otro término, que es una sobredispersión no correlacionada, porque en la correlación espacial la independencia no está bien definida en el modelo.

En resumen, en un contexto completamente bayesiano se asignan a todos los parámetros del modelo distribuciones *a priori*. Alternativamente, en el contexto bayesiano empírico, los parámetros del modelo pueden estimarse maximizando directamente su distribución *a posteriori*.

Aunque Clayton y Kaldor (1987) mostraron que ambos métodos, el empírico y el bayesiano completo, aunque proporcionan diferentes valores para los estimadores del riesgo relativo, en términos absolutos, coinciden en el rango y en el orden del riesgo, en términos relativos. Además, utilizando una gran variedad de escenarios con datos simulados, así como aplicaciones reales, Lawson et al. (2000) muestran que ambos métodos son los que proporcionan los resultados más consistentes respecto a otras alternativas.

El problema más importante de los métodos bayesianos empíricos, en relación con los modelos completamente bayesianos, es que no son capaces de modelizar, al menos fácilmente, la dependencia (extravariabilidad) espacial, ya que no tienen en cuenta la incertidumbre inicial de los parámetros del modelo. Sin embargo, los estimadores bayesianos empíricos pueden ser útiles a la hora de realizar una valoración inicial de la distribución espacial de los datos. Esto se debe a que en comparación con los completamente bayesianos su estimación es computacionalmente menos exigente (Lawson et al., 2000).

Cuadro 1. Cuadro resumen de los métodos y técnicas más utilizadas para estimar casos de mortalidad en áreas pequeñas.

	Métodos	Técnicas y/o Modelos
Estimación de tasas	Tasas crudas y tasas específicas	
	Estandarización	Técnica directa
		Técnica indirecta (Razón de Mortalidad Estandarizada (REM))
Suavizado de tasas o casos	Modelos de regresión no paramétrica	Suavizador de kernel Nadaraya-Watson
		Regresión polinomial local
		Suavizamiento por splines
	Empírico Bayesiano	Modelo Gamma
		Modelo logarítmico normal
		Estimador bayesiano empírico espacial
	Completamente Bayesiano	Besag, York y Mollie (BYM)

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

En este capítulo se describirán los datos, métodos y algunas técnicas estadísticas, demográficas y espaciales utilizadas para cumplir con los objetivos planteados en este trabajo. Inicialmente, se presentará la población objeto de estudio, las fuentes de información utilizadas y el nivel de análisis al que se trabajará. Posteriormente, se presentarán los métodos y técnicas para estimar las tasas específicas, estandarizadas y suavizadas. Finalmente, con base en la estimación de las tasas, se probará la existencia de patrones espaciales a través de dos técnicas espaciales.

4.1 Fuentes de información, población de estudio y nivel de análisis

Este trabajo es de corte ecológico, descriptivo y transversal que tiene el objetivo de aplicar métodos demográficos y espaciales para analizar la mortalidad por homicidios en los municipios del Estado de México, por sexo, en 2000, 2010 y 2020. Se usarán dos fuentes de datos: las estadísticas vitales de mortalidad y los censos de población y vivienda para el Estado de México y sus municipios.

Para estimar las tasas de homicidios, se requieren dos informaciones. En el numerador, mortalidad por homicidios, procedente de las estadísticas vitales, mientras que, en el denominador, población, viniendo del Censo de Población y Vivienda. Respecto a las estadísticas vitales de mortalidad por la causa de homicidio, se utilizará la décima Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10), que incluye a las causas externas de mortalidad por agresiones de tipo homicidio en los códigos X85 a Y09. Cabe mencionar que la fuente de datos no incluye secuelas (Y871). Esta información se encuentra disponible en la base de datos de estadísticas vitales de mortalidad del INEGI. Los datos fueron recolectados por la causa de muerte (homicidio), sexo, grupos de edad (población mayor de 15 años y en quinquenios hasta 85 años y más), entidad y municipio de ocurrencia y año de ocurrencia (2000, 2010 y 2020) para el Estado de México y sus municipios. Cabe mencionar que se excluyeron los datos no especificados por edad y sexo, y se incorporaron los registros tardíos para 2000 y 2010.

En relación con los Censos de Población y Vivienda, se utilizarán los datos de población por grupos de edad (población mayor de 15 años y en quinquenios hasta 85 años y más) y sexo. Estos datos se recolectaron para el Estado de México y sus municipios de los censos 2000, 2010 y 2020 y se encuentran disponibles en los microdatos de los censos del INEGI. Los censos de población

y vivienda recopilan información sobre las características demográficas y socioeconómicas de toda la población residente en el país, y ubican su distribución en el territorio nacional. Enumeran y captan datos sobre las características básicas de las viviendas, abarcando la totalidad del territorio mexicano y se realiza de forma periódica cada 10 años. Cabe mencionar que, obedecen al criterio *de jure*, lo que implica que la población se contabiliza en los lugares de residencia habitual (INEGI, 2010). El periodo de levantamiento censal se llevó a cabo del 7 al 18 de febrero de 2000, del 31 de mayo al 25 de junio de 2010 y del 2 al 27 de marzo de 2020. Para el Estado de México, la población total en el año 2000 fue de 13,096,686 personas, mientras que en el 2020 fue de 16,992,418.

Es importante mencionar que se seleccionaron los tres años de análisis para tomar los datos de población de los censos y así poder comparar las estimaciones de tasas.

Finalmente, las unidades de análisis para este trabajo, como caso de estudio, serán los 125 municipios pertenecientes a la entidad federativa del Estado de México, obtenidos del Marco geoestadístico, el cual es un sistema único y de carácter nacional que presenta la división territorial en diferentes niveles de desagregación para referir geográficamente la información estadística de los censos (INEGI, 2020).

4.2 Aplicación de Técnicas estadísticas y demográficas

El primer paso consiste en estimar las tasas específicas de homicidios por sexo para el Estado de México y sus municipios. Luego, se aplica la técnica de estandarización directa para controlar el efecto de la estructura por edad y de las tasas específicas.

Finalmente, se aplica un suavizado sobre las tasas específicas de homicidios por sexo a nivel municipal como forma de reestimar una tasa más cercana al riesgo real al que está expuesta la población, ya que existen problemas en el recuento del evento en áreas pequeñas que se ve reflejado en la inestabilidad de las tasas brutas y estandarizadas.

4.2.1 Estandarización directa

Las tasas crudas de mortalidad, morbilidad o de otros eventos de salud son una de las medidas resumen de la experiencia de cada población que facilitan el análisis comparativo. Sin embargo,

la comparación de tasas crudas puede ser inapropiada, en particular cuando las estructuras de las poblaciones no son comparables en cuanto a factores como la edad, el sexo, el nivel socioeconómico, etc., que determinan la magnitud de las tasas crudas y “distorsionan su interpretación por medio de un efecto llamado confusión” (OPS, 2002, pág. 1).

Además, dado que se generan fluctuaciones aleatorias y problemas producidos por los números pequeños, la estimación de las tasas brutas se vuelve inestable, y esto se intensifica cuando la unidad de análisis es pequeña y el evento es raro. En este sentido, se utiliza la estandarización, como una técnica que permite controlar el efecto que producen ciertos factores, como la composición por edades de una población.

La estandarización por el método directo consiste en aplicar las tasas específicas de mortalidad de las poblaciones estudiadas a una misma población hipotética denominada población estándar (Silva, Benavides y Vidal, 2003). Se estiman tasas específicas por edad que, aplicadas a una distribución de edad estándar, producirán tasas brutas estandarizadas, que se pueden comparar para el análisis de diferencias de nivel entre varias poblaciones, o para la misma población, durante un período determinado. Esta comparación resulta posible porque, en este caso, todas las tasas se refieren a una única distribución por edades (estándar). En este trabajo se utilizó como población estándar la población nacional del 2020.

4.2.2 Suavización

Existe una alternativa metodológica para los problemas de fluctuaciones aleatorias y eventos raros de mortalidad y/o enfermedades en áreas pequeñas. Se trata de suavizar la fluctuación aleatoria, reestimando una tasa que se cree más cercano al riesgo real que está expuesta la población (Baptista, 2015). En este trabajo se utilizará el estimador bayesiano empírico espacial sobre las tasas específicas de defunciones por homicidios.

De acuerdo con Marshall (1991), el estimador bayesiano empírico espacial se expresa de la siguiente manera:

$$\theta_i = m + C_i * (x_i - m)$$

Donde C_i está dado por:

$$C_i = \frac{\left(s^2 - \frac{m}{n^M} \right)}{\left(s^2 - \frac{m}{n^M} + \frac{m}{n_i} \right)}$$

Donde:

θ_i - Tasa suavizada

x_i - Tasa bruta del área geográfica i

m - Tasa promedio de vecinos

s^2 - Varianza de la tasa a estimar

n^M - Población media de los vecinos

n_i - Población del área

Nota: Dentro de esta técnica el multiplicador C_i estará cerca de 1 si la población del área i muestra un valor alto. En este caso, la tasa suavizada tenderá a tener el mismo valor que el estimado sin la aplicación del procedimiento X_i . En caso contrario, si la población del área i tiene una población efectiva muy pequeña, el multiplicador C_i será cercano a cero, lo que implica que la tasa suavizada tenderá a estar cerca de la tasa promedio (Barbosa y Freire, 2004, p. 6).

Además, en la fórmula anterior, el estimador bayesiano empírico también puede utilizar como valores de m , la tasa bruta media de todas las zonas en estudio (global) y la población global media, respectivamente. En este caso, para el valor de m , el estimador calcula un promedio ponderado entre la tasa bruta de la localidad i y la tasa global de la región (relación entre el número total de casos y la población total). Por lo que, si la localidad tiene una población considerable, su tasa mostrará poca variabilidad y se mantendrá prácticamente sin alterar. Si, por el contrario, “la ubicación tiene una población pequeña, la estimación de la tasa bruta tendrá una gran varianza y se asignará poco peso a esa tasa inestable, como resultado la tasa bayesiana se acercará más al valor esperado de un área elegida al azar en esa región” (Dos Santos, Rodrigues y Lopes, 2005, p. 302).

Respecto a la tasa promedio de vecinos, que incluye el efecto espacial, calcula la estimación localmente y utiliza únicamente los vecinos geográficos de la zona en la que se quiere estimar la tasa (el valor obtenido converge hacia la media local en lugar de una media global). Las tasas corregidas son menos inestables, ya que tienen en cuenta en su cálculo no solo información del área, sino también información de su entorno (Baptista, 2015).

Para aplicar esta técnica se utilizó el software *GeoDa*. Se definió una estructura de vecindad tipo reina, de orden 1, con 1 vecino como mínimo y 13 como máximo.

En general, cualquier problema donde se calculen tasas para muchas áreas contiguas y con poblaciones pequeñas podría beneficiarse de esta metodología. Pues los métodos actualmente utilizados no consideran la estructura espacial subyacente en los eventos demográficos. Por lo que, es posible extender este método.

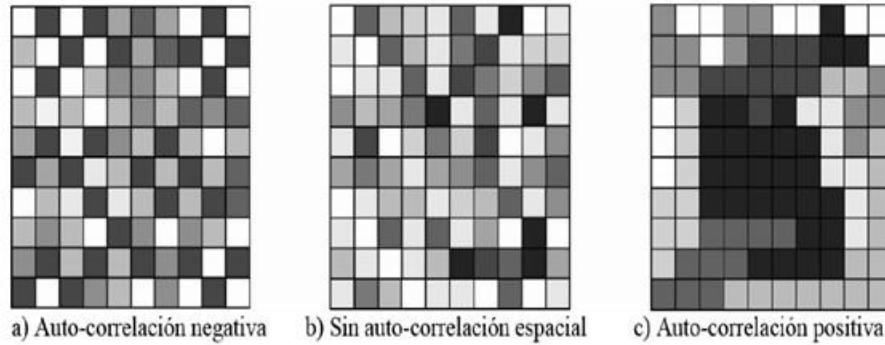
4.3 Autocorrelación espacial

Para probar la existencia de conglomerados espaciales, se utiliza la autocorrelación espacial, como parte del análisis exploratorio de datos. El concepto de autocorrelación espacial (AE) se sustenta en la primera ley geográfica de Tobler (1970), que afirma que en el espacio todo se encuentra relacionado con todo lo demás, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las distantes (Miller, 2004). En este sentido, la AE es la concentración o dispersión de los valores de una variable y refleja el grado de influencia en que los objetos o actividades en una unidad geográfica son similares a otros objetos o actividades en unidades geográficas próximas (Goodchild, 1987).

Por lo tanto, la medición de la AE da lugar a tres tipos (Celemín, 2009; Baptista, 2015):

- AE Negativa (Figura 2a): cuando la ocurrencia del mismo evento dificulta o impide la ocurrencia de otros en su entorno, por lo que, las unidades vecinas presentarán valores disímiles. Indica una tendencia a la dispersión de los eventos.
- Sin autocorrelación espacial (Figura 2b): cuando el evento se produce de forma aleatoria.
- AE positiva (Figura 2c): cuando la ocurrencia de un evento implica que otros eventos similares ocurran a su alrededor, por lo que, las unidades vecinas presentarán valores similares. Indica una tendencia al agrupamiento de los eventos.

Figura 2. Tipos de autocorrelación espacial



Fuente: Celemín, 2009.

La AE se puede calcular mediante índices globales y/o locales de asociación espacial. Estos índices muestran la distribución de los eventos ocurridos en el espacio para identificar patrones de agrupaciones espaciales o si los datos se distribuyen de forma aleatoria. Los índices globales solo consideran la tendencia espacial general de los eventos, en otras palabras, identifican si existe o no autocorrelación para toda el área de estudio. Sin embargo, resultan útiles cuando se hace un análisis preliminar. Mientras que, los locales, identifican variaciones a través del área de estudio, es decir, especifican donde ocurre la autocorrelación. En esta tesis, se utilizarán ambos índices. Como técnica global se utilizará el Índice de Morán (IM) y como técnica local el Indicador Local de Asociación Espacial (LISA), ambos implementados en el software *GeoDa*.

a) Índice de Morán Global

El Índice de Morán (IM) es un estadístico global que permite medir la correlación espacial del área total de estudio (Siabato y Guzmán-Manrique, 2018). Es la técnica más antigua y típica para la detección de la AE. Utiliza una matriz de pesos espaciales que determina el grado de asociación entre las observaciones basada en los vecinos más cercanos calculados en la distancia radial de los municipios (Siabato y Guzmán-Manrique, 2018) y se expresa de la siguiente manera:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} * \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

n: total de las unidades (áreas o puntos) en el mapa

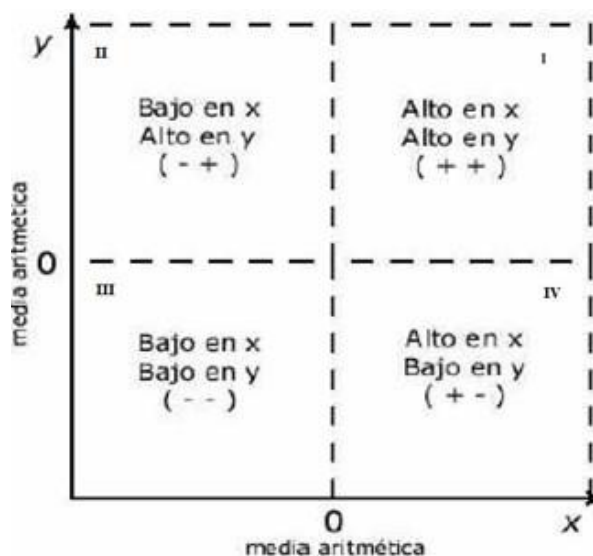
W_{ij}: matriz de pesos que define si las unidades (áreas o puntos), *i* y *j* son o no vecinos

Nota: La matriz de pesos se calculó con contigüidad de reina, de orden 1, con 1 vecino como mínimo y 9 como máximo.

El IM se representa a través del diagrama de dispersión de Morán, el cual consta de 4 cuadrantes que corresponden a los lugares en los que los valores están representados (Figura 3):

- Cuadrante I = Alto-Alto, se presentan las unidades espaciales con valores superiores a la media, rodeados de unidades que también presentan valores superiores a la media, conocidos como *hotspots*.
- Cuadrante III = Bajo-Bajo (inferior izquierdo), se presentan las unidades con valores por debajo de la media, de baja incidencia rodeados de unidades que también están por debajo de la media, conocidos como *coldspots*. En ambos casos, es posible detectar aglomeraciones de unidades espaciales, en otras palabras, indican una autocorrelación espacial positiva.
- Cuadrantes II y IV indican autocorrelación negativa, es decir, que existen valores bajos que están rodeados de valores altos o viceversa.

Figura 3. Diagrama de dispersión del Índice de Morán.



Fuente: Buzai, 2005.

Los resultados del I de Morán oscilan entre -1 y +1. Entre más cercano a 1 indica una autocorrelación positiva y entre más cercano a menos 1 indica autocorrelación negativa; por lo que 0 significa que no hay autocorrelación. Cabe resaltar que para que la I de Morán sea significativa, debe rechazar la H_0 , con un valor de significancia >0.05 .

b) Indicadores Locales de Asociación Espacial (LISA)

Los LISA permiten desagregar los indicadores globales (I de Morán) para observar cada unidad espacial local (Anselin, 1995). En lugar de calcular un solo estadístico global, es decir, para el total de la región de estudio, los LISA permiten calcular la autocorrelación espacial para cada unidad espacial (municipio), lo que lo convierte en un indicador local. Anselin (1995) menciona que los LISA para cada observación proveen una indicación de la magnitud de la agrupación espacial de valores similares en torno a dicha observación y que “la suma de LISA para todas las observaciones es proporcional a un indicador global de asociación espacial” (Anselin, 1995, p. 94).

Según Anselin (1995), los LISA deben cumplir dos criterios: la capacidad, para cada unidad geográfica, de indicar conglomerados espaciales estadísticamente significativos; y la propiedad de

que la suma de los indicadores locales, para todas las regiones, debe ser proporcional al indicador de autocorrelación espacial global correspondiente.

Un aspecto importante se refiere al nivel de significación estadística, que se puede probar mediante permutaciones para obtener LISA más robustos. En este trabajo, el número de permutaciones utilizadas fue de 9999, siendo rotadas hasta estabilizar los resultados, con el nivel de significación del 5%. Se utilizó una matriz de vecindad de tipo reina, contigüidad de orden 1.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

En este capítulo se presentarán los resultados alcanzados de la investigación. Primero, se mostrará el panorama general de los homicidios en el Estado de México. Segundo, se visualizarán las tasas brutas de muertes por homicidios para el Estado de México, a nivel municipal. Tercero, se expondrá el mapeo y análisis de las tasas específicas estandarizadas por el método directo y la suavización de las tasas brutas realizada por el estimador bayesiano empírico espacial. Finalmente, se presentará y analizará la autocorrelación espacial para las muertes por homicidios de las tasas estandarizadas y suavizadas.

5.1 Caracterización de los homicidios en el Estado de México

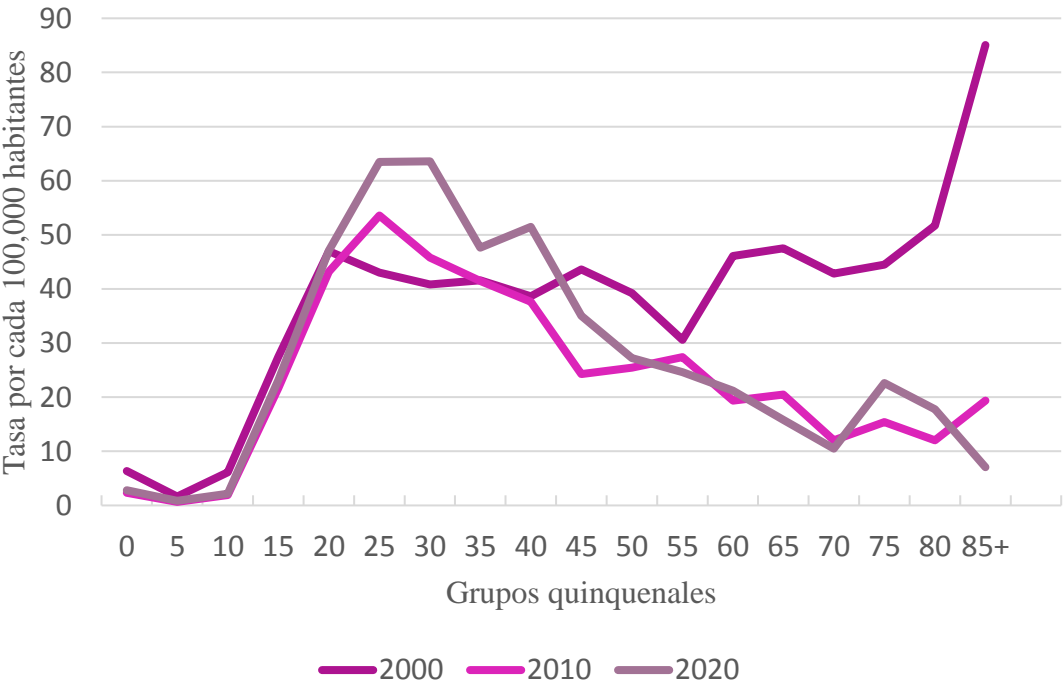
En el Estado de México, en 2000, ocurrieron 2,022 homicidios, de los cuales 1,691 corresponden a hombres y 320 a mujeres. En 2010, la cantidad de homicidios incrementó a 2,091, donde 1,813 fueron hombres y 278 mujeres. Y, en 2020, fueron 2,896 homicidios en total, de entre los cuales 2,496 corresponden a hombres y 400 a mujeres. En otras palabras, de 2000 a 2010, la cantidad de homicidios incrementó en un 7.2% en hombres, mientras que en mujeres disminuyó en un 13.1%. Y, de 2010 a 2020, la cantidad de homicidios incrementó en hombres y mujeres, en un 37.7% y 43.9%, respectivamente.

Sin embargo, el patrón de los homicidios cambia por edad y sexo. En la Figura 4 y Figura 5 se presentan las tasas específicas de homicidios masculinos y femeninos, respectivamente, de los tres años estudiados en el Estado de México.

Respecto a los hombres, las tasas más altas se concentran en los grupos de 20 a 29 años, no obstante, este patrón es distinto por año. En 2000, existe un incremento en la tasa de homicidios a partir de los 15 años y se mantienen entre 30 a 50 homicidios por cada 100,000 habitantes, sin embargo, a partir de los 60 años se incrementan las tasas. En 2010, la tasa más alta se concentra en el grupo de 25 a 29 años, a partir de este grupo, las tasas decrecen. Y, en 2020, el patrón es muy similar al de 2010, las tasas más altas se encuentran en los grupos de 25 a 29 y 30 a 34 años. Pero, a pesar de que las tasas descienden a partir de los 35 años, hay un ligero incremento en los grupos de 40 a 44 y 75 a 79 años.

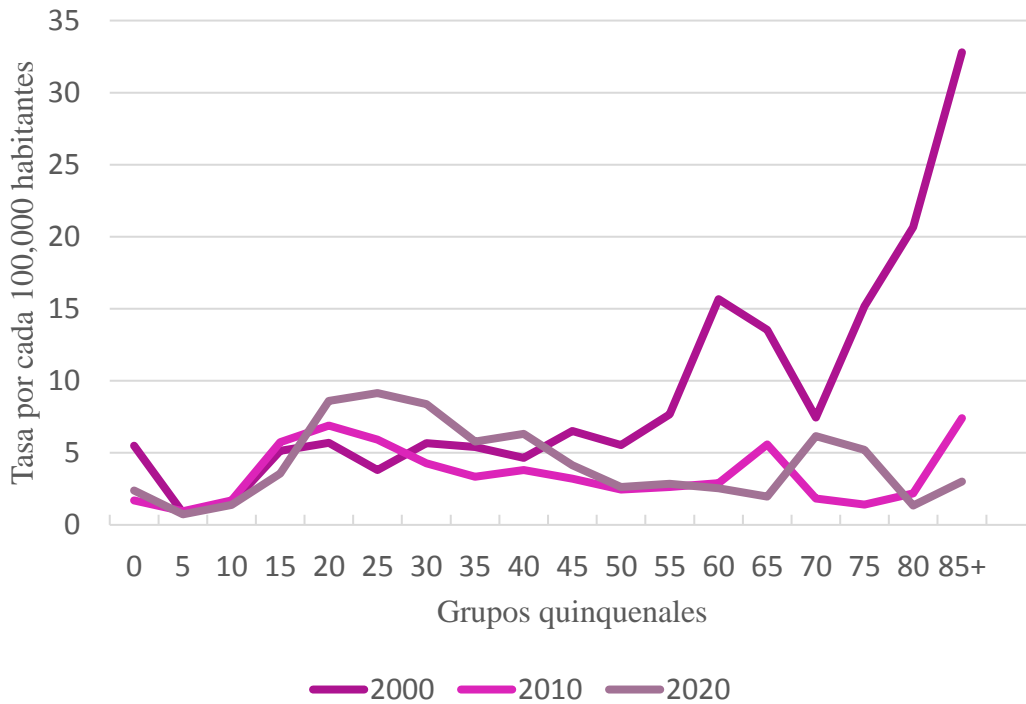
Respecto a las mujeres, las tasas son menores que las de los hombres, y los patrones por edad son completamente diferentes en los tres años estudiados. En 2000, las tasas más altas se presentan los grupos de 60 a 64 y mayores a 85 años, patrón que coincide con los homicidios masculinos. En 2010, la tasa más alta se encuentra en el grupo de 20 a 24 años, a partir de los 25 años las tasas descienden, aunque, en los grupos de 65 a 69 y mayores a 85 años hay un ligero incremento. En 2020, las tasas más altas están en los grupos de 20 a 34 años, y en los grupos de 40 a 44, 70 a 74 y mayores a 85 años hay un ligero incremento.

Figura 4. Tasa de homicidios masculinos por grupos quinquenales en el Estado de México, 2000, 2010 y 2020



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2000, 2010 y 2020

Figura 5. Tasa de homicidios femeninos por grupos quinquenales en el Estado de México, 2000, 2010 y 2020



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2000, 2010 y 2020

En resumen, aunque los homicidios son diferentes entre hombres y mujeres, presentan similitudes respecto a los patrones por edad y año. Pues, en 2000, en hombres y mujeres, las tasas más altas se presentan en los adultos mayores (> 60 años). Mientras que en 2010 y 2020, las tasas más altas se concentran en hombres y mujeres jóvenes, con ligeros repuntes en edades más avanzadas. Sin embargo, esto es distinto por municipio.

5.2 Tasas brutas de mortalidad por homicidios (TBM)

En la Figura 6 y Figura 7 se muestran las tasas brutas de mortalidad por homicidios para hombres y mujeres, respectivamente, a partir de los datos primarios de los tres años estudiados. Inicialmente, los hombres tienen una TBM de homicidios mucho mayor que las mujeres para todos los años de estudio, lo que se corrobora con la literatura, pues es un fenómeno que tiene un impacto

mayor en los hombres jóvenes. Sin embargo, se observa una configuración espacial más homogénea al comparar ambos sexos por año, y al mismo tiempo, más heterogénea dentro del propio sexo.

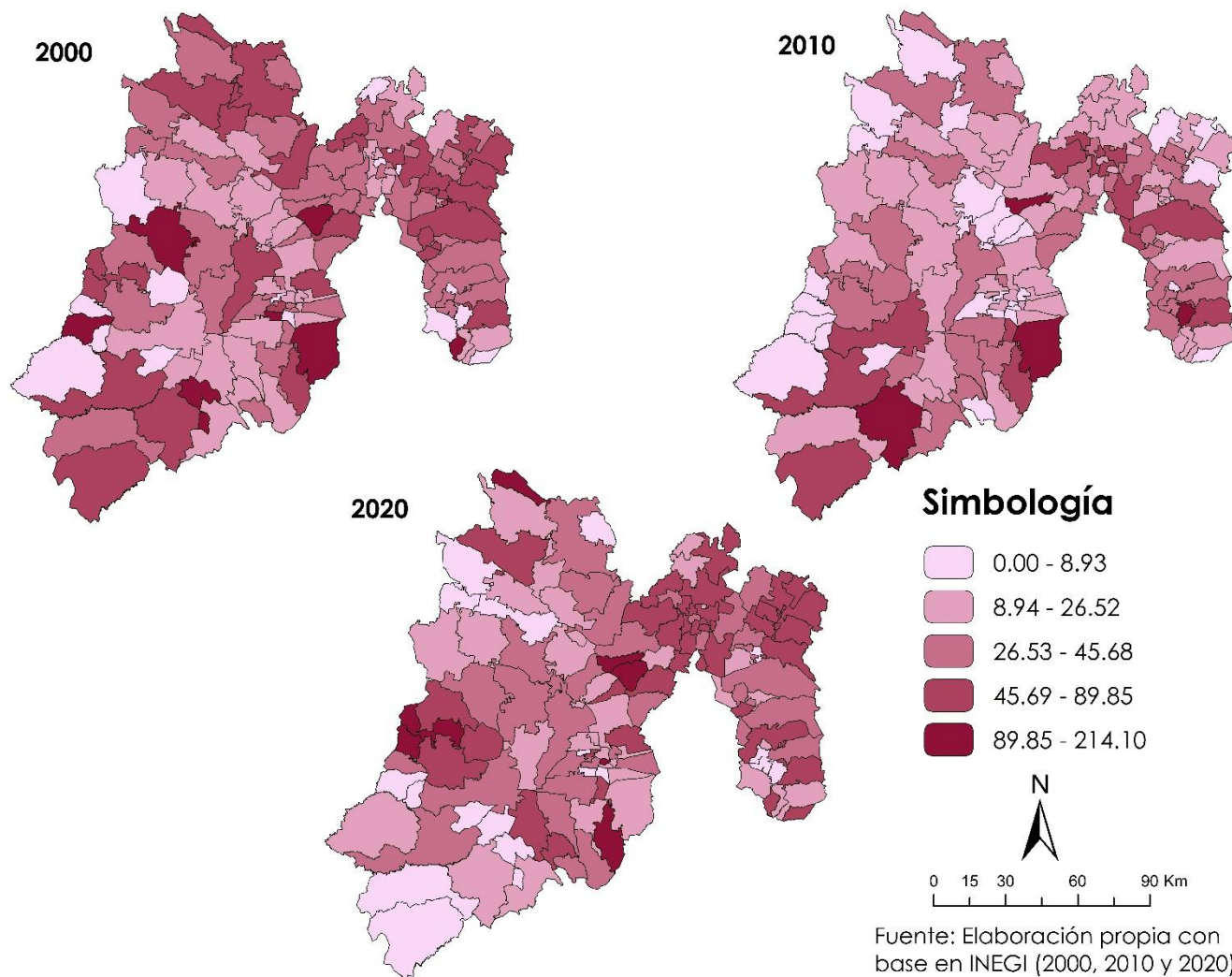
En el caso de los hombres, se observa que en el año 2000 las TBM son más altas en la mayoría de los municipios en comparación con 2010 y 2020. Pues, en 2000, tanto las tasas más altas como las más bajas se presentan, mayoritariamente, en la zona sur del estado. Los municipios con las tasas más altas son: Otzoloapan (153.2), Tepetlixpa (119.8), Ocuilan (113.8), Jilotzingo (112.1), Almoloya de Alquisiras (111), Rayón (103.2) y Villa Victoria (99.3). Sin embargo, se observa que este evento, en este año, es muy heterogéneo (ver Anexo).

En 2010, se incrementa la cantidad de municipios con tasas bajas, pasando de 16, en 2000, a 28 municipios. Estos se encuentran principalmente en la zona norte y suroeste. En tanto, las tasas más altas se concentran en la zona sur y oriente del estado, siendo Sultepec (214.1), Ayapango (135.9), Isidro Fabela (116.8) y Ocuilan (111.1) los municipios con las tasas más altas.

Sin embargo, no todos los municipios se comportaron de la misma manera. Hay municipios que mantuvieron la misma tasa bruta que en 2000, como Luvianos, Zacazonapan, Texcalyacac, Santo Tomás, San Simón de Guerrero, Ecatzingo, Chapultepec y Cocotitlán. Hay otros que disminuyeron drásticamente el valor de la tasa bruta entre 2000 y 2010, como Rayón, Otzoloapan, Papalotla, Timilpan, Nopaltepec, El Oro y Tonatico, llegando incluso a 0. Por último, hay municipios que incrementaron drásticamente el valor de la tasa de 2000 a 2010, como Ayapango, Jaltenco, Amanalco, Juchitepec y Tonanitla.

En 2020, se observa que parte de la zona sur y norte presenta las tasas más bajas, la zona noreste y oriente tasas intermedias, y la zona sur y centro las tasas más altas. Las tasas más altas se presentan en los municipios como, Polotitlán (188.6), Ixtapan del Oro (137.6), Donato Guerra (117.2) y Jilotzingo (113.1). En este año, los valores de las tasas disminuyeron.

Figura 6. Tasa bruta de mortalidad por homicidios de la población masculina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020, por 100, 000 habitantes



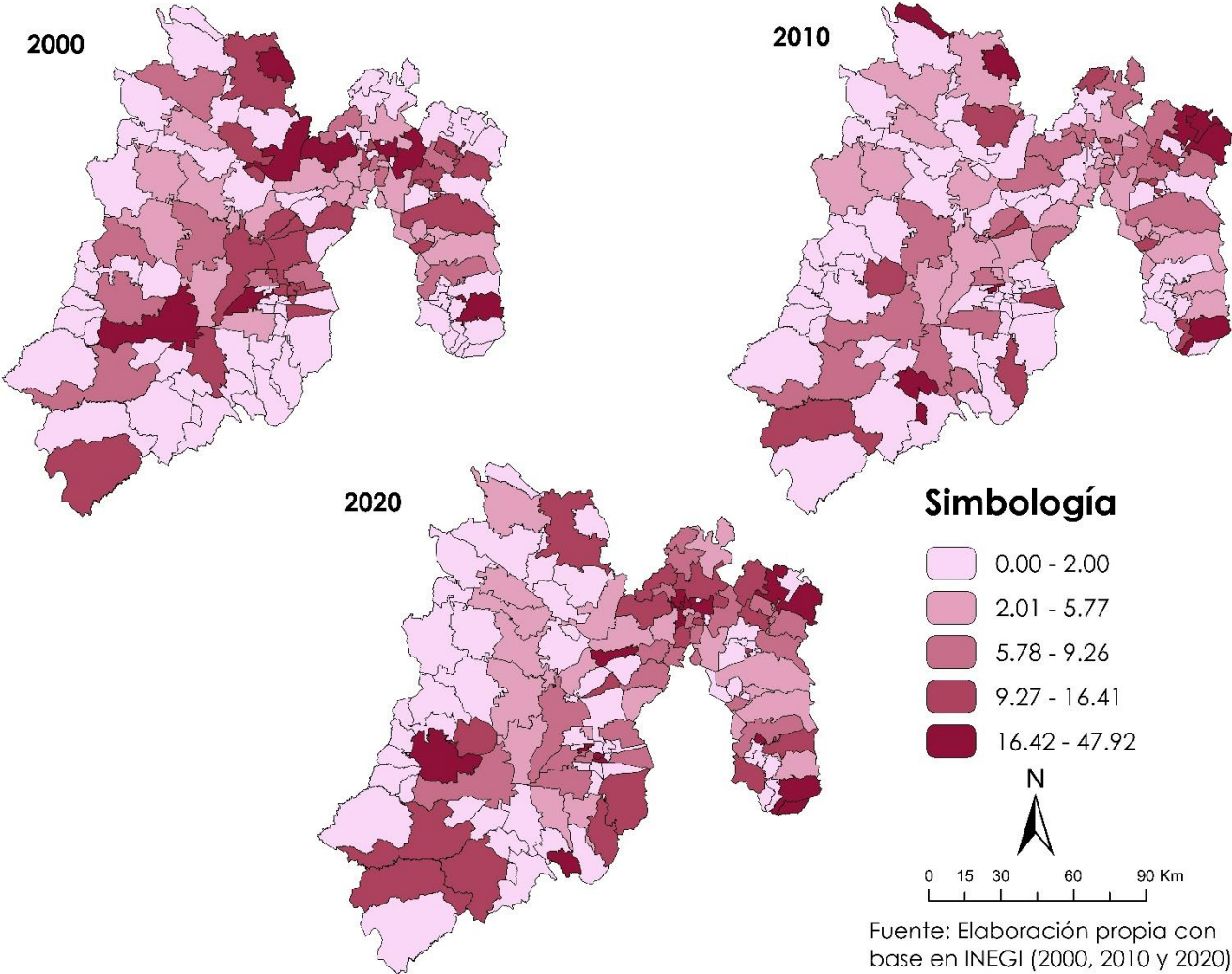
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2000, 2010 y 2020)

En cuanto a las mujeres, a pesar de que presentan menores TBM por homicidios que los hombres, el número de municipios con tasas altas aumentó de 2000 a 2020. Además, el fenómeno es más heterogéneo en las mujeres que en los hombres, por lo que no se observa un patrón de concentración definido. Sin embargo, alrededor de la Ciudad de México se presentan las TBM más altas en todos los años de estudio. En 2000, hay 65 municipios sin casos de homicidios, distribuidos de forma heterogénea en toda el área de estudio. Las tasas más altas se encuentran al norte, oeste y oriente de la Ciudad de México, en los municipios como, Villa del Carbón (47.9), Soyaniquilpan de Juárez (32.6), Amecameca (26.1), Tepetzotlán (24.7), Temascaltepec (23.2), y Tecámac (17.7) (ver Anexo).

En 2010, incrementan los municipios con casos de homicidios, sin embargo, las TBM disminuyeron en todo el territorio en comparación con 2000. No obstante, hay municipios que incrementaron drásticamente la TBM y que no están localizados alrededor de la Ciudad de México, sino en las fronteras del Estado de México, colindantes con los estados de Hidalgo y Morelos, como son: Nopaltepec (32.6), Chapultepec (29.6), Soyaniquilpan de Juárez (23.6), Axapusco (22.3), Polotitlán (21.1), Atlautla (20.1), Almoloya de Alquisiras (19.1) y Atlautla (20.1).

En 2020, el comportamiento de las TBM es muy similar al de 2000. Pues, nuevamente se observa que alrededor de la Ciudad de México se presentan los municipios con las tasas más altas, como: Almoloya del Río (41.5), Chapultepec (40.6), Cocotitlán (33.7), Teoloyucan (31.9), Ecatzingo (25.7), Nextlalpan (23.8), Isidro Fabela (21.9) y Atizapán (20.6).

Figura 7. Tasa bruta de mortalidad por homicidios de la población femenina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020, por 100,000 habitantes



5.3 Tasas estandarizadas de mortalidad por homicidios (TEM)

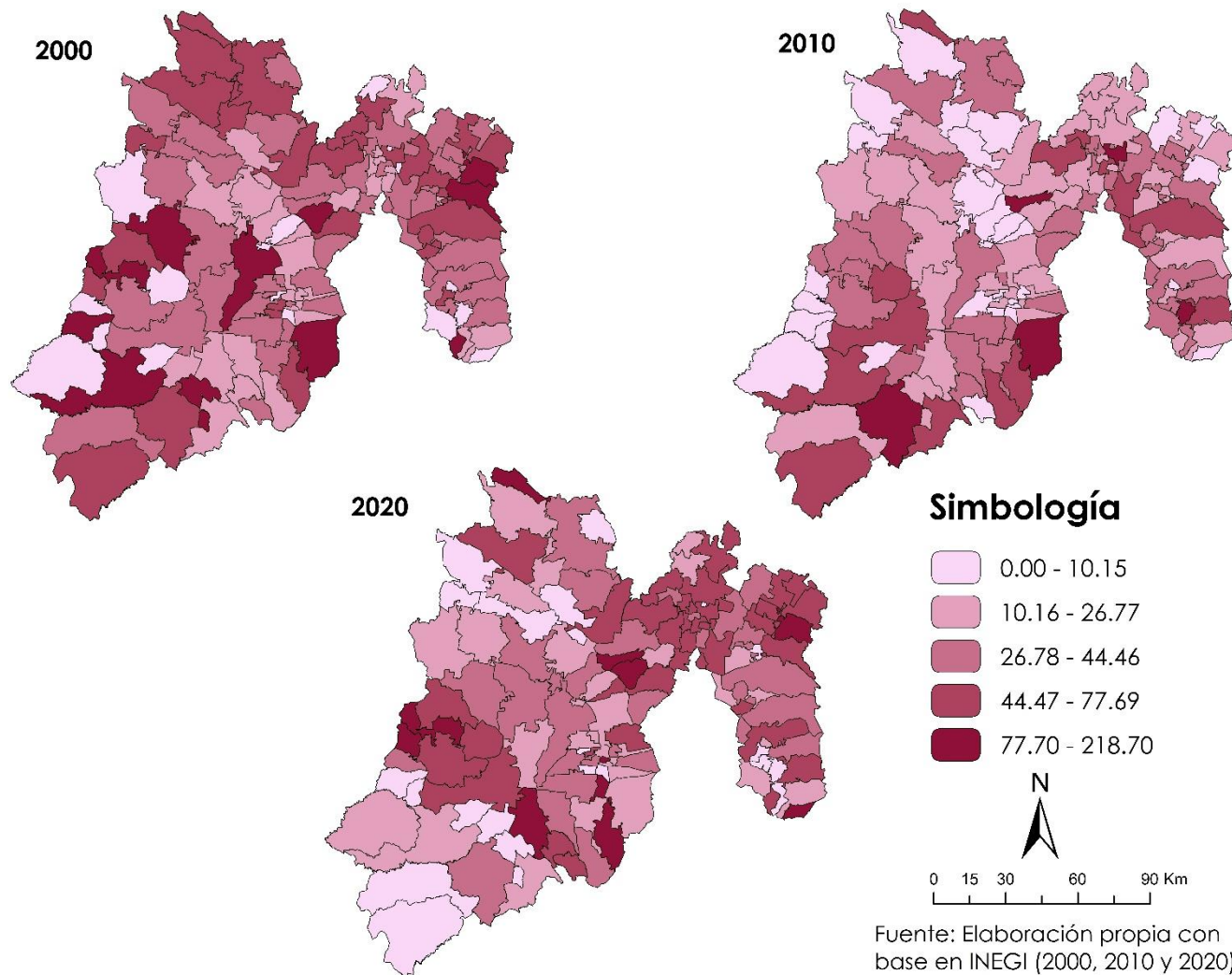
Las figuras 8 (hombres) y 9 (mujeres), muestran las tasas estandarizadas por el método directo de las defunciones por homicidios, por sexo y, para los tres años de estudio. En general, los valores de las TBM estandarizadas son similares a las TBM específicas.

En el caso de los hombres, se observa que, en el 2000, la variación geográfica de los homicidios es bastante heterogénea. Sin embargo, las tasas más altas se localizan en la zona suroeste y en la zona noreste y oriente. Los municipios con las tasas más altas son: Otzoloapan (180.6), Tepetlixpa (113.1), Villa Victoria (112.9), Ocuilan (109.8), Almoloya de Alquisiras (107.5), Jilotzingo (101.4), Tejupilco (95.2), Toluca (94.3), Tepetlaoxtoc (88.9), Otumba (84.4) y Donato Guerra (81.9) (ver Anexo). Cabe mencionar que estos mismos también tuvieron las tasas más altas de TBM, sin embargo, los valores de la tasa cambiaron. Para la mayoría de los municipios la tasa estandarizada disminuyó, con excepción de Otzoloapan que la tasa incrementó en un 15%.

En 2010, se observa una concentración de las tasas estandarizadas hacia la zona sur, limítrofe con los estados de Guerrero y Morelos, donde existen municipios con altos índices de violencia y con tasas elevadas de homicidios. Aunque, en comparación con 2000, disminuyó la cantidad de municipios con tasas estandarizadas altas y se observa que hubo un desplazamiento de los homicidios hacia la zona sur del estado. Sultepec (218.7), Isidro Fabela (121.6), Ocuilan (117.3), Nextlalpan (105.3), Ayapango (101.9) y Zumpahuacán (77.8) son los municipios con las tasas más altas para 2010.

En 2020, las tasas estandarizadas más altas se concentran en la zona norte, sur y oriente de la entidad. En los que destacan los municipios como: Polotitlán (202.4), Ixtapan del Oro (157.2), Donato Guerra (113), Isidro Fabela (99.3), Malinalco (95.6), Atizapán (94.2), Otumba (88.8), Coatepec Harinas (87.3), Ecatzingo (79.5) y Joquicingo (78.7). Cabe resaltar, una vez más, que son los mismos municipios que se presentan en las TBM y que en la mayoría de ellos las tasas disminuyeron, con excepción de Ixtapan del Oro y Polotitlán, cuyas tasas aumentaron en un 12%.

Figura 8. Tasa estandarizada de mortalidad por homicidios de la población masculina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020, por 100,000 habitantes (método directo)



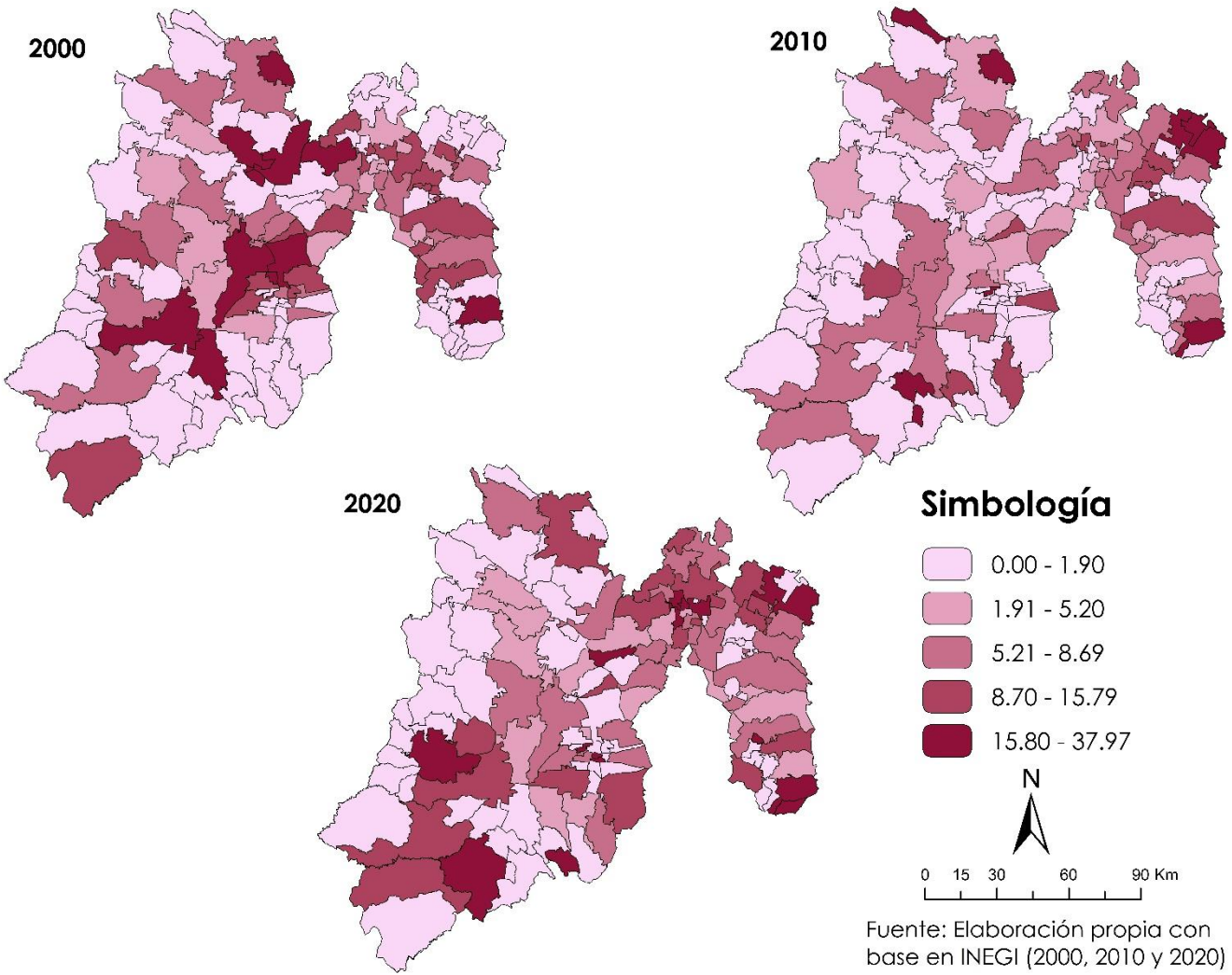
En cuanto a las mujeres, los valores de las TBM y tasas estandarizadas también son similares para los tres años de estudio, aunque los valores de las tasas estandarizadas disminuyeron. Cabe mencionar que, el fenómeno presenta comportamientos distintos por sexo, ya que los municipios con tasas brutas y estandarizadas altas no son los mismos para hombres y mujeres.

En 2000, los municipios con las tasas más altas se presentan en la zona centro, norte y oriente del Estado de México, la mayoría de ellos localizados cerca de la Ciudad de México e Hidalgo. En los que resaltan Villa del Carbón (37.6), Tepetzotlán (35.5), Amecameca (26.7), Temascaltepec (22.8), Soyaniquilpan de Juárez (22.2), Morelos (18.7), Coatepec Harinas (18.6), Toluca (18.6), San Mateo Atenco (17.6) y Lerma (17.3) (ver Anexo). En comparación con las TBM, las tasas estandarizadas para este año disminuyeron en todos los municipios.

En 2010, las tasas disminuyen en comparación con 2000. Y de igual manera que con los hombres, las tasas más altas se desplazan hacia los bordes de la entidad, limítrofes con Hidalgo, Morelos y Guerrero. Resaltan los municipios como: Nopaltepec (30.9), Atlautla (25.6), Chapultepec (25.5), Axapusco (24.1), Almoloya de Alquisiras (20.1), Soyaniquilpan de Juárez (19.8), Polotitlán (18.1) y Malinalco (15.8).

En 2020, se observa una concentración de los homicidios femeninos en los alrededores de la Ciudad de México, así como de las tasas estandarizadas más altas. Siendo los mismos municipios con las tasas brutas y estandarizadas más altas.

Figura 9. Tasa estandarizada de mortalidad por homicidios de la población femenina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020, por 100,000 habitantes (método directo)



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2000, 2010 y 2020)

5.4 Suavización espacial de la mortalidad por homicidios

Debido a los problemas de fluctuación aleatoria y al escaso registro de defunciones por homicidios, por ser un evento raro, existe una alternativa metodológica que permite mejorar las estimaciones en áreas pequeñas.

Las figuras 10 (hombres) y 11 (mujeres) muestran los resultados de la aplicación metodológica del suavizamiento de las tasas brutas para hombres y mujeres, respectivamente. En general, las estimaciones empíricas bayesianas del riesgo por defunciones de homicidios están más concentradas que las estimaciones producidas por las tasas brutas o estandarizadas, tanto para hombres como mujeres. Esto se explica porque el efecto de la estimación depende del tamaño de la población en riesgo. Por ejemplo, los municipios con mucha población no experimentaron cambios importantes entre la tasa bruta y la tasa estandarizada. Para ello, se hace uso de este tipo de metodologías, pues al utilizar la información de los municipios vecinos produce tasas más estables. Incluso, visualmente, las estimaciones bayesianas muestran una apariencia más suave y resaltan, con claridad, los patrones espaciales del riesgo de mortalidad por homicidios, lo que hace más fácil identificar las regiones más peligrosas para este tipo de delitos dentro del estado.

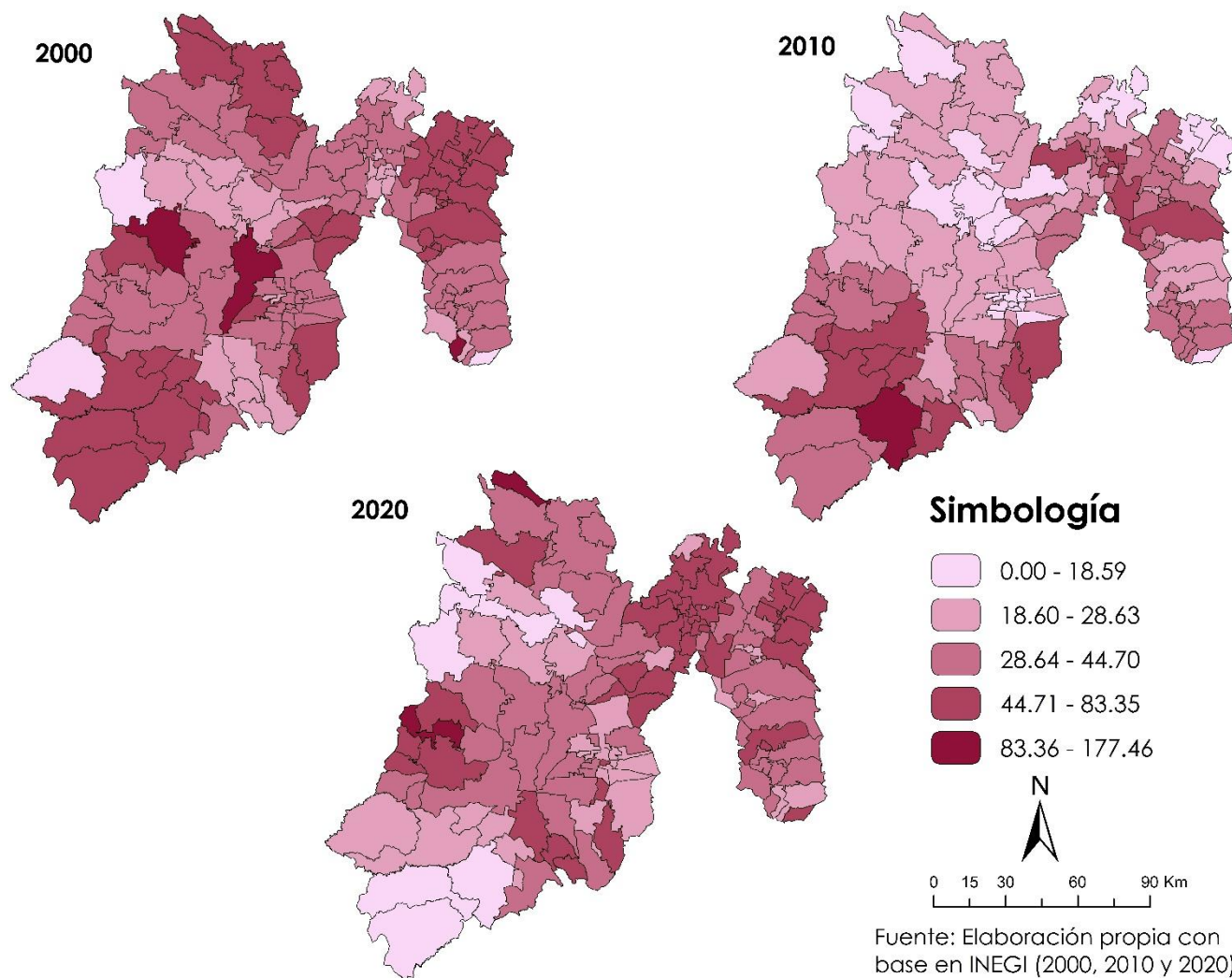
De esta manera, en el caso de los hombres, para el año 2000, en todos los municipios hay presencia de homicidios, la mayor parte de la entidad presenta tasas mayores a 28.64 homicidios por cada 100,000 habitantes, sin embargo, se observan aglomeraciones en ciertas zonas. Por ejemplo, las tasas altas se concentran en zonas periféricas y fronterizas con los estados de Hidalgo, Guerrero, Tlaxcala y Morelos. Aunque también existen regiones al norte, oriente y sur de la Ciudad de México colindantes con las alcaldías de Azcapotzalco, Gustavo A. Madero, Iztapalapa y Tlalpan, las cuales presentan altos índices de violencia. Las tasas más altas se encuentran en la zona centro y sureste del Estado de México, en los municipios de Toluca (que es la capital del estado), Villa Victoria y Tepetlixpa (ver Anexo).

En 2010, se observa que las tasas suavizadas disminuyen en la mayoría del territorio, pues oscilan entre los 18.60 a 44.70 por cada 100,000 habitantes. Sin embargo, se muestra un desplazamiento del fenómeno hacia la zona sur, limítrofe con Guerrero; noreste, limítrofe con las alcaldías Gustavo A. Madero y Venustiano Carranza; y oriente, limítrofe con la alcaldía Iztapalapa, Tláhuac y Milpa Alta. Las tasas altas se concentran en la zona noreste y oriente del estado colindantes con la Ciudad de México, en los que destacan los municipios de Texcoco, Chimalhuacán, Nezahualcóyotl,

Ecatepec, Nextlalpan, Cuautitlán y Tepetzotlán. Aunque, también se concentran en la zona sur del estado, en los municipios como Ocuilan, Malinalco, Zacualpan, Tejupilco, Texcaltitlán, Temascaltepec y San Simón de Guerrero. En esta zona se encuentra la tasa más alta en el municipio de Sultepec.

En 2020, en general, se observa un desplazamiento de los homicidios hacia la zona centro y norte del Estado de México. Las tasas altas se concentran en diferentes zonas, por ejemplo, la zona norte del estado, que colinda con la zona norte y noroeste de la Ciudad de México, destacan los municipios de Naucalpan de Juárez, Huixquilucan, Tlalnepantla de Baz, Tultitlán, Ecatepec de Morelos, Tepetzotlán, Cuautitlán Izcalli, Tultepec, Nextlalpan, entre otros. También se concentran en la zona noreste, colindantes con el estado de Tlaxcala, entre los que destacan Axapusco, Otumba, Tepetlaoxtoc y Nopaltepec. Y, en la zona centro del estado, aunque contiguo con el estado de Michoacán, se encuentran los municipios como Valle de Bravo, Villa de Allende, Ixtapan del Oro y Santo Tomás. En esta zona se encuentra Donato Guerra, municipio con una de las tasas más altas en 2020. Sin embargo, el municipio de Polotitlán es el que presenta la tasa más alta, localizado en la zona noroeste del estado, colindante con el estado de Hidalgo y Querétaro.

Figura 10. Tasa suavizada de mortalidad por homicidios de la población masculina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020, por 100,000 habitantes

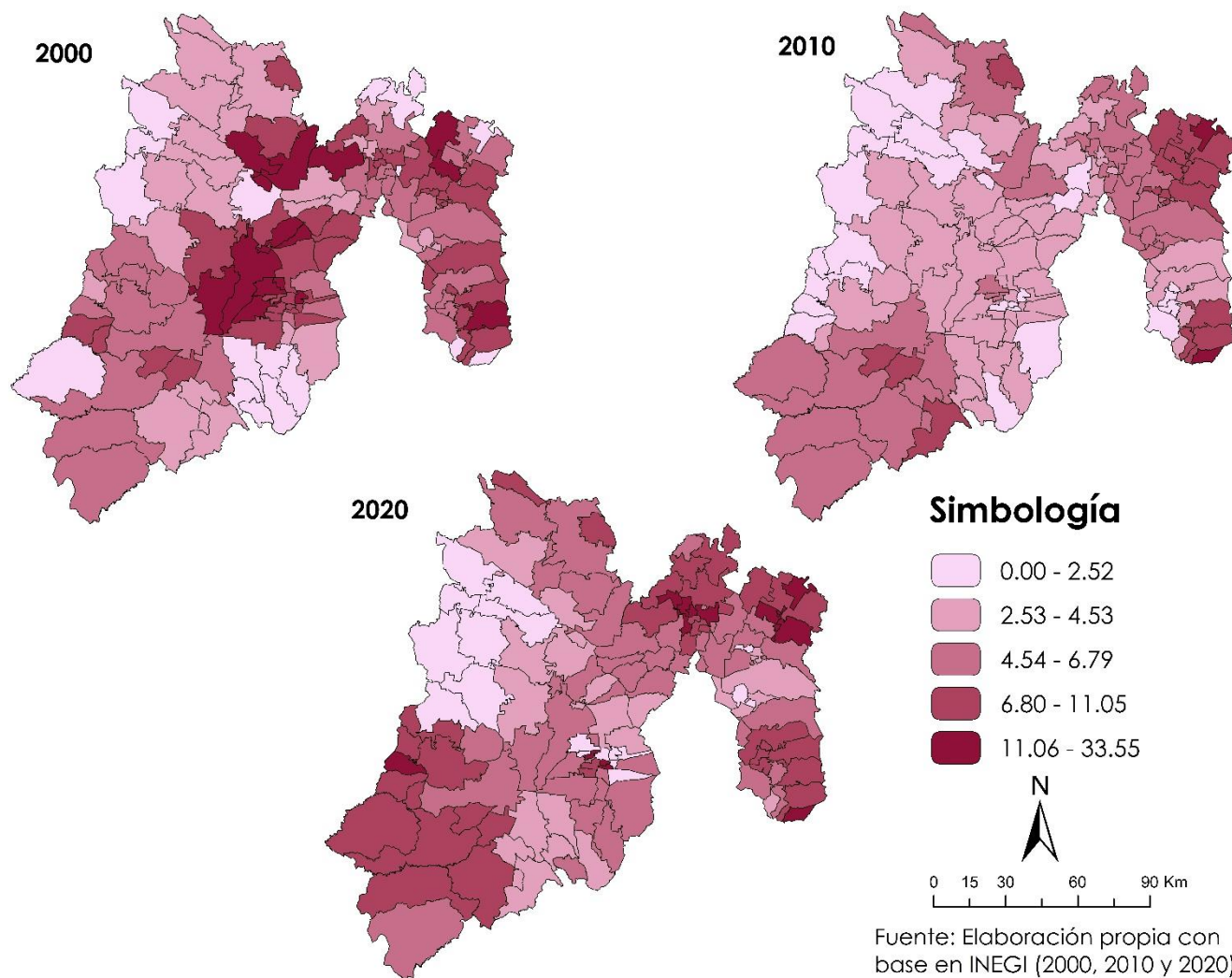


En relación con las mujeres, claramente se observa un patrón de concentración hacia los municipios que rodean o están cerca de la Ciudad de México, sin embargo, estos patrones son distintos por año. En 2000, las tasas más altas se concentran en la zona centro, norte y sureste del estado de México, aunque muy cercanas o rodeando a la Ciudad de México. Destacan los municipios de Zinacantepec, Toluca, Calimaya, Metepec, Oztolotepec y Xonacatlán localizados en la zona centro; Tepetzotlán, Villa del Carbón, Morelos, Temascalapa y Teotihuacán en la zona norte; y Amecameca en la zona sureste (ver Anexo).

En 2010, el patrón cambia completamente, desplazándose hacia la zona este y sur del estado de México. Las tasas altas se concentran en la zona noreste, colindantes con el estado de Hidalgo y Tlaxcala, destacan los municipios como, Axapusco, Otumba, Tepetlaoxtoc, Temascalapa y Nopaltepec, este último es uno de los municipios con la tasa más alta de 2010. En la zona sureste, también se presentan tasas altas en los municipios de Amecameca, Atlautla y Ozumba, y Ecatingo, este último con la tasa más alta. En la zona sur, también se presentan una concentración de tasas altas, colindantes con el estado de Guerrero, entre los que destacan los municipios de San Simón de Guerrero, Texcaltitlán y Zacualpan.

En 2020, además de incrementar los homicidios femeninos, el patrón de concentración es una combinación entre 2000 y 2010, pues se observa una concentración de homicidios femeninos en la zona sur, sureste y noreste del estado de México. Destacan los municipios por las tasas más altas como, Nopaltepec, Otumba, San Martín de las Pirámides, Nextlalpan, Cuautitlán, Teoloyucan, Coyotepec, Almoloya del Río, Atizapán, Chapultepec, Ecatingo y San Tomás. Mientras que en la zona occidente, las menores tasas están en los municipios de San José del Rincón, Villa de Allende, Villa Victoria, San Felipe del Progreso, Jocotitlán, Atlacomulco, Temascalcingo y El Oro.

Figura 11. Tasa suavizada de mortalidad por homicidios de la población femenina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020, por 100,000 habitantes



5.5 Autocorrelación espacial

Los resultados anteriores se elaboraron con la finalidad de generar estimaciones de muertes por homicidios en áreas pequeñas, para resolver el problema de las fluctuaciones aleatorias y los problemas derivados de números pequeños. Al mismo tiempo, es necesario abordar el aspecto espacial, como la autocorrelación espacial, para visualizar las diferencias espaciales a través del uso de las estimaciones anteriormente presentadas.

Por lo que, se generaron los indicadores I de Morán y LISA para las tasas estandarizadas y suavizadas, los cuales fueron mapeados y se representan en la Figura 12 y Figura 13 a continuación. A través de estas técnicas espaciales, se puede comprender mejor la correlación de las muertes por homicidios, para hombres y mujeres, resaltando las aglomeraciones con alta o baja mortalidad por homicidios en los periodos de estudio.

En la Figura 12, se muestran los resultados de las técnicas de autocorrelación espacial para hombres. Se observa que los valores de I de Morán y LISA cambian entre las estandarizadas y suavizadas. Pues con las tasas estandarizadas el índice de Morán y LISA incrementan, lo que ayuda a visualizar de forma definida las aglomeraciones espaciales locales de las defunciones por homicidios.

En relación con las estandarizadas, en 2000, la autocorrelación global es negativa, los valores de LISA son casi iguales y la mayor parte del territorio es no significativo. Los conglomerados espaciales Alto-Alto se presentan al sur y noreste del estado, en los municipios de Amatepec, Tepetlaoxtoc, Chiautla y Papalotla. Los conglomerados Alto-Bajo se localizan en los municipios de Otzoloapan, Tepetlixpa, Villa Victoria, Amecameca y Nextlalpan. Y los conglomerados Bajo-Alto en Luvianos, Teotihuacán y Santo Tomás.

En 2010, el IM es positivo para las tasas estandarizadas, aunque el valor es muy bajo. Los conglomerados Alto-Alto se presentan en la zona sur, en los municipios de Tejupilco, Tonanitla, Zacualpan y Texcaltitlán. Los *cluster* Bajo-Bajo están al centro del estado, en San Antonio la Isla, Atizapán y Almoloya del Río. Los *cluster* Bajo-Alto están al sur y en la frontera con la Ciudad de México, en Tenango del Aire, Tepetlixpa, Almoloya de Alquisiras, Melchor Ocampo, Tultitlán y Amatepec. Los *cluster* Alto-Bajo en Cocotitlán Isidro Fabela y Acambay.

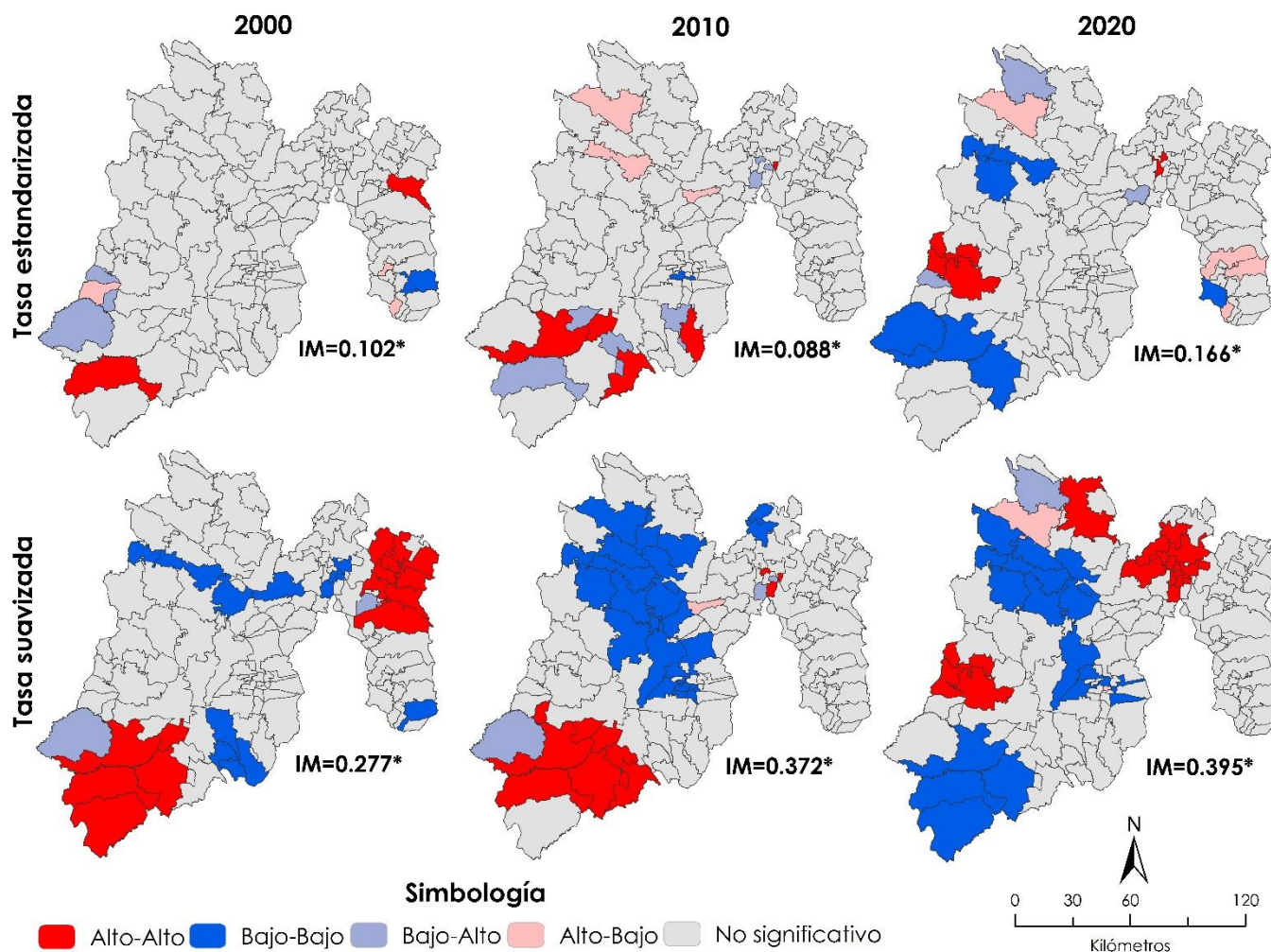
En 2020, para la tasa estandarizada el valor de IM incrementa a 0.2, es decir, una autocorrelación positiva, aunque el valor sigue siendo bajo, pero significativo. En este año, los *cluster* Alto-Alto están al suroeste y norte, en Ixtapan del Oro, Donato Guerra, Cuautitlán y Coyotepec. Los *cluster* Bajo-Bajo están en la zona sur, noroeste y sureste, en Tejupilco, Luvianos, San Felipe del Progreso, Sultepec, El Oro, Juchitepec y Jocotitlán. Los conglomerados Bajo-Alto en Atizapán de Zaragoza y Aculco. Y los *cluster* Alto-Bajo en Tlalmanalco, Tepetlixpa, Chalco y Acambay.

Respecto a las tasas suavizadas, los valores de IM incrementaron para los tres años de estudio. Los *cluster* Alto-Alto se localizan al sur y al noreste de la entidad, colindantes con el estado de Guerrero, Hidalgo y el norte de la Ciudad de México, en los municipios de Texcoco, Acolman, Temascalapa, Otumba, Teotihuacán, Axapusco, entre otros. Los *cluster* Bajo-Bajo en la zona centro y norte del estado, en los municipios de Tultepec, Nextlalpan, Tultitlán, Nicolas Romero, El Oro, entre otros. Los *cluster* Bajo-Alto en Luvianos y Atenco.

En 2010, la distribución de los conglomerados es distinta que, en 2000, aunque en los *cluster* Alto-Alto se mantienen muy similar, pues se siguen localizando al sur y norte, en Sultepec, Tejupilco, Texcaltitlán, Amatepec, entre otros. Los *cluster* Bajo-Bajo incrementan y se localizan en la zona centro, en Morelos, Almoloya del Río, Acambay, El Oro, Jocotitlán, entre otros. Los *cluster* Bajo-Alto en Tultitlán y Luvianos. Y los Alto-Bajo en Isidro Fabela.

En 2020, los *cluster* cambian significativamente. Los Alto-Alto ahora se encuentran hacia la zona suroeste, norte y noroeste, en Tepetzotlán, Melchor Ocampo, Valle de Bravo, Huehuetoca, Cuautitlán, Tultitlán, Zumpango, entre otros. Los *cluster* Bajo-Bajo en la zona sur, centro y noroeste, entre los que destacan Sultepec, Amapetec, Atlacomulco, Temascalcingo, Toluca, Metepec, etcétera. Los *cluster* Bajo-Alto solo en Aculco y los Alto-Bajo en Acambay y Atizapán.

Figura 12. Mapa de conglomerados LISA de la mortalidad por homicidios en la población masculina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2000, 2010 y 2020).

En la Figura 13, se muestran los resultados de las técnicas de autocorrelación espacial para mujeres. En general, el IM es bajo en comparación con los hombres, sobre todo, en las tasas estandarizadas, incluso algunos de estos índices no son significativos en 2020. Sin embargo, el IM es mayor en las mujeres que en los hombres para las tasas suavizadas en los tres años de estudio.

En relación con las estandarizadas hay ligeros cambios tanto en el IM como en LISA en los tres años. En 2000, los *cluster* Alto-Alto se localizan al centro y norte del estado, en Toluca, San Mateo Atenco, Tepetzotlán, Villa del Carbón, Metepec y Lerma. Los *cluster* Bajo-Bajo en Tenancingo y Zumpahuacán. Los Bajo-Alto se localizan al centro y norte, en Huixquilucan, Nicolás Romero, Chapa de Mota, Teoloyucan, etcétera. Y los *cluster* Alto-Bajo, al sur del estado, en Tlatlaya y Amecameca.

En 2010, el IM es muy similar al de 2000 para la tasa estandarizada, sin embargo, los *cluster* son diferentes. Pues los Alto-Alto se localizan al noreste, en la frontera con el estado de Hidalgo, en Axapusco, Temascalapa y Nopaltepec. Los *cluster* Bajo-Bajo en la zona centro en Almoloya del Río, Texcalyacac y San Antonio de la Isla. Los *cluster* Bajo-Alto en Tianguistenco y Temamatla y los alto-bajo en Tenango del Valle, Tonicato, Ocoyoacac, Juchitepec y Jilotepec, algunos de ellos cercanos a la zona sur de la Ciudad de México.

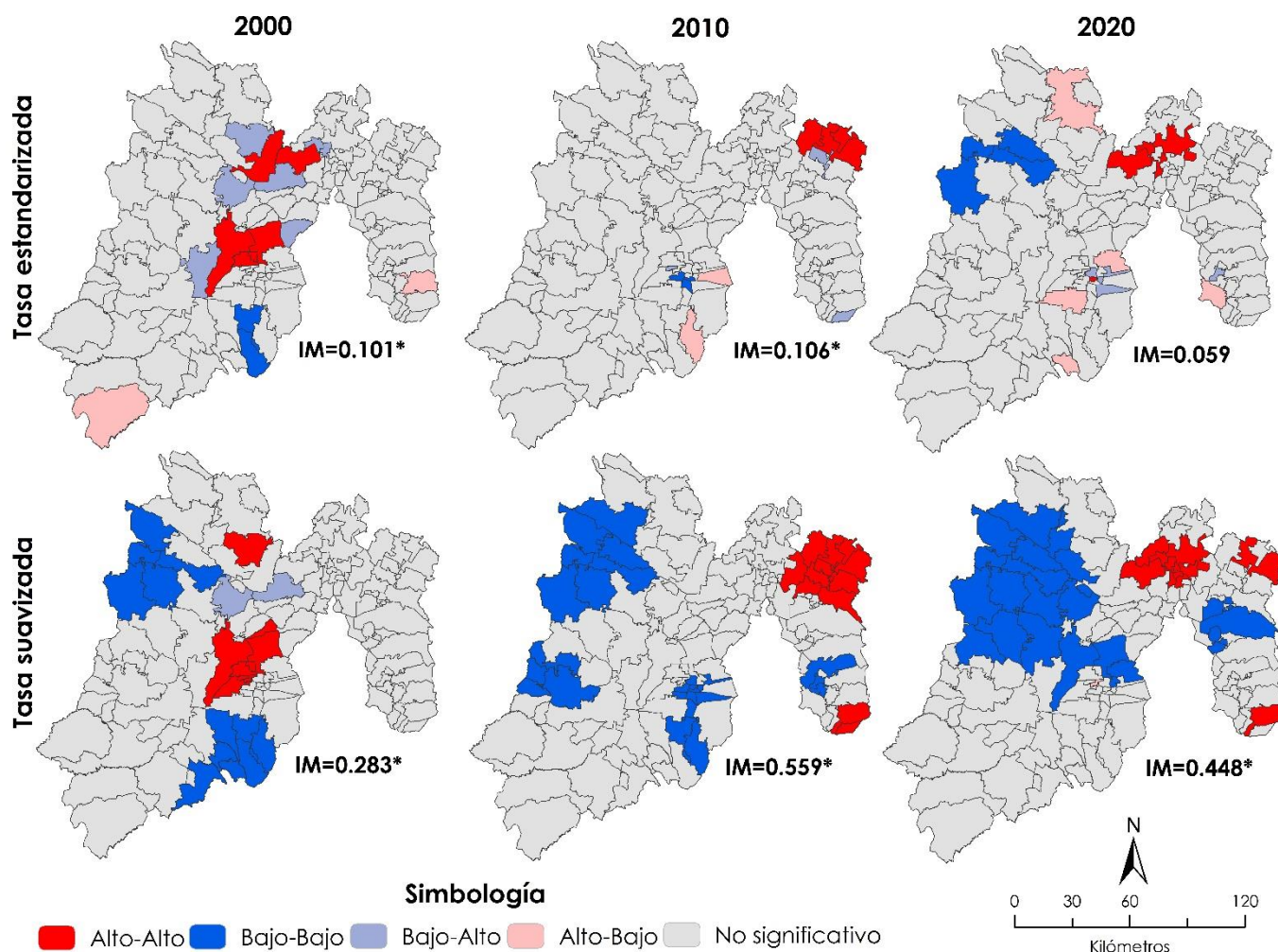
En 2020, aunque el valor de IM no es significativo en las tasas estandarizadas, los LISA sí lo son. Por lo tanto, los *cluster* Alto-Alto se localizan al norte de la Ciudad de México, en Zumpango, Tepetzotlán, Cuautitlán, Coyotepec y Jilotepec. Los *cluster* Bajo-Bajo al noroeste, colindantes con Michoacán, en San José del Rincón, Atlacomulco, El Oro y Jocotitlán. Los *cluster* Bajo-Alto en el centro, pegados a la zona suroeste de la Ciudad de México, en Tianguistenco y Temamatla; y los Alto-Bajo casi en la misma zona que los Bajo-Alto, en los municipios de Tonicato, Juchitepec, Ocoyoacac, Tenango del Valle y Jilotepec al norte.

Respecto a las tasas suavizadas, existe una fuerte autocorrelación positiva en 2010 y 2020. En 2000, el valor de IM es casi igual que el de los hombres, los *cluster* Alto-Alto se ubican al centro y norte del estado de México, en Lerma, Metepec, Toluca, Xonacatlán, Chapa de Mota, etcétera. Los *cluster* Bajo-Bajo al sur y noreste, en las fronteras con Michoacán y Guerrero, en San José del Rincón, Temascalcingo, Jocotitlán, Malinalco, Zumpahuacán, entre otros. Y los *cluster* Bajo-Alto en Jiquipilco y Nicolás Romero.

En 2010, el patrón de concentración cambia, pues los *cluster* Alto-Alto se encuentran en la zona noreste y sureste, en los bordes con Hidalgo y Morelos, donde destacan los municipios de Nopaltepec, Axapusco, Temascalapa, Atlauta, Ecatzingo, entre otros. Los conglomerados Bajo-Bajo cercanos al sur de la Ciudad de México, al centro y noroeste del estado de México, en Temascalcingo, Acambay, El Oro, Donato Guerra, Ixtapan del Oro, Malinalco, Tenancingo, Chalco, Temamatla, Tenango del Valle, etcétera.

En 2020, el patrón de concentración es una combinación entre 2000 y 2010. Los *cluster* Alto-Alto se ubican al norte, noreste y sureste del estado de México, cercanos a Hidalgo, Querétaro, Morelos y la Ciudad de México, en los municipios de Nextlalpan, Tepotzotlán, Zumpango, Axapusco, Atlautla, entre otros. Los Bajo-Bajo al noroeste, colindantes con Michoacán como Temascalcingo, Ixtlahuaca, Jiquipilco, Acambay, etcétera; al centro, como Toluca, Lerma y Ocoyoacac; y al este, colindante con la zona oriente de la Ciudad de México, como Texcoco, La Paz, Atenco, Chimalhuacán, Chiautla, etcétera. Y el *cluster* Alto-Bajo en Chapultepec.

Figura 13. Mapa de conglomerados LISA de la mortalidad por homicidios en la población femenina (> 15 años) de los municipios del Estado de México, 2000, 2010 y 2020.



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2000, 2010 y 2020).

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN

En México, la mayoría de los estudios de mortalidad por homicidios se han enfocado en el análisis de la tendencia de las tasas brutas de homicidios, por lo que no se detienen en ajustar o corregir los casos de homicidios a través de métodos demográficos y estadísticos espaciales, además que, no siempre se compara por años.

Dado que hay poco tratamiento de los casos de mortalidad en áreas pequeñas (nivel municipal), el objetivo de la tesis fue aplicar métodos demográficos y estadísticos espaciales para analizar la mortalidad por homicidios en los municipios del estado de México para tres años. Después del análisis de resultados la hipótesis planteada se cumplió, ya que hay cambios significativos en la estimación de las tasas brutas, estandarizadas y suavizadas. En general, para hombres y mujeres, el utilizar el suavizamiento de las tasas brutas, a través del método bayesiano empírico espacial, mejoró la estimación de los casos de mortalidad por homicidio a nivel municipal. Lo que permite una mejor interpretación del comportamiento geográfico de este evento que se ve reflejado en los valores de los índices de autocorrelación espacial global y local.

De acuerdo con los resultados, como primer punto, los valores de las tasas brutas, estandarizadas y suavizadas fueron mayores en los hombres que en las mujeres para los tres periodos de estudio. Además, se tomaron en cuenta los homicidios en personas mayores a 15 años debido a que la mayoría de los homicidios se concentran por encima de esta edad, es decir, en esa tesis no se trató el tema de homicidios infantiles. Esto se corrobora con la literatura, pues según la UNODC (2019), los homicidios, particularmente en la región de AL, son un fenómeno que genera mayor impacto en los hombres jóvenes que en las mujeres. De acuerdo con Santos, Porter y Lynch (2019), el sexo y la estructura etaria juegan un papel importante en la actividad delictiva de un país, incluido el homicidio, porque pueden actuar como impulsores o factores protectores y que están presentes en los hombres jóvenes mayores a 15 años, que son más vulnerables y fácilmente impulsados hacia actividades delictivas.

Aunado a lo anterior, de acuerdo con la UNODC (2019), el que los homicidios impacten más a los hombres jóvenes se asocia con la presencia del narcotráfico, grupos armados y crimen organizado. El Estado de México se encuentra dentro de la zona con estas tres características, involucrado desde antes del 2000, y que conforme pasa el tiempo, el narcotráfico y el crimen organizado han evolucionado y se han modificado los cárteles, lo que incrementa la violencia en este estado. Como

se encontró en González y Vega (2019), la variable narcotráfico explica la variación de los homicidios en los hombres en México. Limberopulos (2016) explica que el crimen organizado tiene un efecto positivo en relación con los homicidios, pues a medida que crece la proporción de crimen organizado, mayor es la tasa de homicidios. González et al. (2012) muestran que las variaciones geográficas en las tasas de homicidios son explicadas por la impunidad y el narcotráfico.

Esto se ve reflejado en el valor de los tres tipos de tasas y en las diferencias de estas entre los tres años de estudio, pues la configuración espacial de las tasas es distinta por regiones dentro del mismo estado y por sexo. En este sentido, algo que caracteriza al Estado de México, es que su territorio pertenece a diversos grupos criminales comandados por diversos cárteles. De acuerdo con el Centro de Investigación y Docencias Económicas (CIDE, 2020) aproximadamente hay entre 20 y 24 grupos delictivos comandados entre 8 y 10 cárteles, siendo una de las entidades con mayor presencia de grupos y cárteles, junto con Michoacán, Guerrero y la Ciudad de México (Figura 14). Esto podría explicar la heterogeneidad y a la vez homogeneidad espacial de las tasas de homicidios en los municipios del Estado de México, pues como lo menciona INEGI (2020), hay patrones geográficos en ciertas entidades.

Figura 14. Mapa de narcotráfico y crimen organizado en México



Fuente: Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2020

6.1 Tasas brutas (TBM) y estandarizadas (TEM)

En general, en hombres y mujeres, los valores de las tasas brutas y estandarizadas son muy similares, esto se debe a que se tomó como población estándar a la población nacional, ya que el comportamiento en la estructura etaria y composición de la población es muy similar entre la escala nacional, estatal y municipal, por eso no hay diferencias significativas en los valores de las tasas. No obstante, los valores extremos sí cambian significativamente. Además, los municipios se comportan de forma distinta en los tres años de estudio. Sin embargo, la distribución de las tasas es muy parecida, por lo que, los patrones geográficos también.

En 2000, para los hombres, en las tasas brutas y estandarizadas el fenómeno es muy heterogéneo, que difícilmente muestra un patrón definido. Lo que quiere decir que, en todo el estado persisten los homicidios, aunque la cantidad de homicidios es menor en comparación con 2010 y 2020. Resultado que concuerda con INEGI (2020) porque en el año 2000 se presentó una disminución constante y sostenida de las tasas de homicidios en todo el país, pero a partir de 2011 hubo un incremento abrupto de los homicidios. Siendo los mismos municipios con las tasas brutas y estandarizadas más altas, aunque las tasas estandarizadas disminuyeron.

En 2010, aunque en todo el estado los homicidios aumentaron, las tasas brutas y estandarizadas disminuyeron en comparación con 2000. Esto podría estar relacionado con el incremento de la población de 15 años y más en 2010 y 2020. Además, en este año se muestra una concentración más definida de las tasas brutas y estandarizadas, siendo las tasas más altas localizadas al sur, que colindan con el estado de Guerrero. Al respecto, como lo muestra Castañeda (2017) el estado de Guerrero se posiciona como una entidad violenta en ese año, donde la tasa de homicidios es mayor que en el Estado de México.

En 2020, existe un patrón de las TBM y TEM de homicidios más definido, desplazándose hacia la zona centro, norte y suroeste en comparación con 2010, donde las TBM y TEM están definidas hacia el sur.

Aunque se sabe que el fenómeno impacta más a los hombres que a las mujeres, de acuerdo con Agudelo, Zagal y Castro (2020) en las mujeres las tasas han ido incrementado, lo que se ve reflejado en los valores resultantes de las TBM y TEM de homicidio femenino de 2000, 2010 y 2020. Sin embargo, su distribución es más heterogénea en los tres años de estudio, y a través de

las tasas brutas no se alcanza a percibir algún patrón geográfico, en comparación con los hombres. Dado que el evento es más raro, la presencia de patrones definidos es más confusa y las TBM y TEM están más dispersas. No obstante, sí existe una tendencia general en los tres años de estudio, pues la distribución de las tasas se concentra hacia los municipios periféricos a la Ciudad de México, pero que, a su vez, colindan con los estados de Morelos, Hidalgo y Guerrero. Lo que puede explicarse porque en el homicidio en mujeres intervienen otros factores que, precisamente, no están relacionados con el crimen organizado o el narcotráfico como en el caso de los hombres. Sin embargo, sí coinciden con algunos municipios donde las tasas son mayores en los hombres.

Por un lado, las tasas brutas mostraron un panorama *a priori* del comportamiento general de los homicidios a nivel municipal, mostrando algunos patrones geográficos. Sin embargo, el uso directo de estas tasas sesga los resultados, no permite la comparación entre áreas y dificulta la presencia de patrones. Para ello se utilizaron las tasas estandarizadas, para ajustar o controlar y así disminuir los sesgos provocados por factores como la estructura etaria. No obstante, los resultados arrojados por las tasas brutas y estandarizadas no fueron muy diferentes, debido a que el comportamiento de la estructura etaria es muy similar a diferentes escalas geográficas dentro del país.

Una de las principales limitaciones de utilizar las tasas estandarizadas en áreas pequeñas, en este caso a nivel municipal, es que dependen en gran medida del tamaño poblacional y no tienen en cuenta la variación de la población en diferentes áreas. Por lo que, se recurrió a utilizar técnicas alternativas, en este caso un suavizado de las tasas a través del método bayesiano empírico espacial, el cual se configuró a partir de un criterio *a priori* de proximidad geográfica, donde influyen los valores de los municipios vecinos.

6.2 Tasas suavizadas

Con base en los resultados del suavizamiento de las tasas, se logró ajustar las tasas brutas a nivel municipal, mostrando patrones de concentración definidos, que dependen del tamaño de la población en riesgo. De esta manera, se logran visualizar regiones de concentración de tasas, tanto para hombres como mujeres, cosa que no sucedió con las tasas brutas y estandarizadas. Estos resultados refuerzan los hallazgos encontrados en el trabajo de Carvalho et al. (2012) en el que, aplicando esta técnica, efectivamente se corrigen las deficiencias de las tasas brutas de homicidios.

Al igual que Nóbrega et al. (2021) que mostraron una fuerte agrupación del riesgo de homicidios en ciertas regiones de Brasil, sin embargo, encontraron que la agrupación solo se observa en los hombres, mientras que, en las mujeres, el riesgo estaba disperso en toda la región. Esto coincide con nuestros resultados, aunque no del todo, ya que la agrupación del riesgo de homicidios es visible para ambos sexos en el Estado de México.

Se refuerza lo que se había mencionado en los resultados de las tasas estandarizadas, que en las mujeres el riesgo de homicidios presenta concentración en ciertas zonas, pues existe una tendencia de los municipios que rodean la Ciudad de México y algunos municipios fronterizos con otros estados en los tres años de estudio. Un punto importante y que se corrobora con lo que menciona Lawson (2000) respecto a suavizar los datos, es que se hacen visibles los municipios con mayores casos de homicidios femeninos y también con mayor población en riesgo, pues las tasas dependen del tamaño de la población y de los vecinos. Porque, aunque existan muchos casos de homicidios, si la población en riesgo es grande, la tasa de homicidios disminuye, pero al utilizar el promedio de los vecinos, esto cambia.

Sucede lo mismo con los hombres en los tres años de estudio, donde claramente se muestra que en 2000 hay una concentración de las tasas, mientras que en las TBM y TEM no se apreciaban. En el caso de 2010 y 2020 se afinaron las concentraciones de las tasas a través de este método y se logra ver cómo van cambiando las concentraciones de homicidios en todo el estado. Fenómeno que es explicado por la diversidad de los grupos de narcotráfico y del crimen organizado. De acuerdo con la UNODC (2019), el que disminuyan o aumenten los homicidios también se relaciona con la disputa que hay en el territorio entre los cárteles y los grupos del crimen organizado. Situación que en México se ha ido acrecentando con el paso de los años, por ello, en el Estado de México hay zonas bien definidas donde el riesgo es mayor, ya que depende tanto del nombre del cártel, de cómo operan y de las disputas con los demás grupos.

Como se vio en los resultados, si bien existen concentraciones del riesgo en hombres y mujeres, no se comportan de la misma manera por sexo, ya que cambian casi por completo los municipios con mayor riesgo y la distribución de estos. Aunque, hay ciertas zonas que sí coinciden para ambos sexos, como las que se encuentran al norte de la Ciudad de México y al sur del estado de México.

6.3 Autocorrelación espacial

Finalmente, en relación con los resultados de la autocorrelación espacial entre las tasas estandarizadas y suavizadas, son muy diferentes. Pues los valores de IM incrementan con las tasas suavizadas, ya que se usan los valores vecinos para estimar la tasa de un municipio determinado, por lo que tienden a ser más similares y, en consecuencia, hay más conglomerados espaciales. Lo que no sucede con las tasas estandarizadas, pues los resultados muestran que, los homicidios a nivel municipal no tienen mucha influencia de los municipios vecinos, aunque esto es distinto con el indicador local.

Además, los valores de IM y LISA son diferentes por sexo, pues en los hombres el IM de las tasas estandarizadas es mayor en 2000 y 2020. Mientras que los resultados con las tasas estandarizadas muestran un valor de IM mayor en los tres años, aunque en 2010 y 2020 el IM se va incrementando y con ello cambian los patrones de conglomerados espaciales. No obstante, hay algunas zonas que tienen los mismos *clusters* en los tres años. Resultado que coincide con lo que menciona Valdivia, Rodríguez y Castro (2020) en donde se resaltan los patrones espaciales a nivel municipal, principalmente en los homicidios de hombres, por lo que, las dinámicas de los homicidios en hombres son más susceptibles a ser transmitidas entre municipios. Al igual que Arteaga, Dávila y Pardo (2019) que encontraron que la violencia no ocurre por casualidad, aunque ambos autores utilizaron las tasas brutas. Sin embargo, los resultados del IM de las tasas estandarizadas en este estudio no presentan una fuerte asociación. Esto puede deberse a que se necesita del análisis de los estados vecinos para complementar los LISA, dado que los municipios localizados en las fronteras del Estado de México presentan mayores casos de homicidios.

En el caso de las mujeres, el IM de las tasas estandarizadas es parecido en 2000 y 2010, mientras que en 2020 no es significativo, y se visualizan menos concentraciones espaciales. Es importante mencionar que los IM de las tasas estandarizadas son muy parecidos entre los hombres y mujeres en los tres años de estudio, resultado que no coincide con el trabajo de Valdivia, Rodríguez y Castro (2020), ellos encuentran que los homicidios de mujeres no presentan concentración, sino valores atípicos, lo que quiere decir que en las mujeres la dinámica del homicidio es que no son susceptibles a ser transmitidas entre municipios, aunque ellos hicieron un análisis de todos los municipios de México, con tasas brutas y en un periodo de 27 años, mientras que en este estudio se utilizaron las tasas estandarizadas, para una sola entidad y por año.

Otro punto importante se relaciona con el trabajo de Mejía, Spijker y Manetta (2020). Ellos utilizan tasas estandarizadas, con el método directo, de los homicidios en algunos municipios del Estado de México y la Ciudad de México y encuentran que en 2000 los homicidios están poco influidos por los municipios vecinos, mientras que en 2010 sí lo están. Esto se ve reflejado en nuestros resultados de las tasas estandarizadas, donde los IM y LISA son positivos y significativos, aunque muy similares entre ellos.

En relación con la autocorrelación de las tasas suavizadas, en los hombres se incrementa la IM y, por ende, hay más conglomerados espaciales. Aunque, en 2010 y 2020 el IM es casi igual, pero hay diferencias representativas por tipo de *cluster*. Resultado que se refuerza con lo que menciona Oliveira et al. (2019) que muestra que el valor de IM incrementa con la tasa suavizada, y con ello la existencia de patrones espaciales definidos, dejando a un lado que el fenómeno sea aleatorio.

En el caso de las mujeres, hay una fuerte correlación espacial a través del uso de las tasas suavizadas, incluso algo mayor que la de los hombres. Aunque, los valores del IM son mayores en 2010 y 2020, comportamiento similar al de los hombres. Sin embargo, los *clusters* son completamente diferentes entre ambos sexos. Esto puede deberse al incremento de los homicidios femeninos, a que responden a otras variables que no necesariamente se relacionan con el narcotráfico y el crimen organizado y a que esta entidad siempre ha sido un foco de atención para los homicidios femeninos. Es interesante mostrar que, en comparación con la literatura, los homicidios femeninos ya no se muestran como fenómenos aleatorios o atípicos, sino como conglomerados, y esto se refleja más en el 2010 y 2020.

6.4 Fortalezas, limitaciones y trabajos futuros

Resulta adecuado mencionar algunas de las limitaciones y fortalezas de estas tesis, así como trabajos futuros. Dentro de las fortalezas se encuentran el uso de técnicas estadísticas y demográficas para el tratamiento de cualquier evento demográfico (fecundidad, natalidad y/o mortalidad) en áreas pequeñas, por ejemplo, a nivel municipal. Pues con ellas se pueden ajustar los datos crudos y las fluctuaciones aleatorias, específicamente, a través de la aplicación del suavizamiento de las tasas brutas. Mediante la técnica utilizada, que viene de los modelos estadísticos bayesianos, se pueden configurar criterios previos, en este trabajo se utilizó la

proximidad geográfica, que resalta la influencia de la población en riesgo y los casos de mortalidad de los municipios vecinos. Así logra mostrar la configuración, lo más cercano a la realidad, del riesgo al que está expuesta la población en cada área.

En relación con las limitaciones, es importante mencionar que la calidad de los datos de las estadísticas vitales, en este caso mortalidad por homicidios, pueden ser ineficientes por los casos de subregistro, particularmente en las mujeres, por ser un fenómeno muy diferente al de los hombres, que podría tener complicaciones por el tema de los feminicidios. Además, que existen más técnicas estadísticas bayesianas para robustecer los resultados, pues el estimador empírico bayesiano espacial solo proporciona valores estimados, pero no hay forma de evaluar el ajuste, de calcular un intervalo de confianza o una prueba de hipótesis, por lo que se vuelve una limitante. No obstante, este estimador es útil para realizar una valoración inicial de la distribución espacial del evento.

Finalmente, en materia de trabajos a futuro, podría resultar interesante aplicar la técnica anteriormente mencionada para todos los municipios de México, por sexo para una visualización más clara de cómo se distribuyen los homicidios en otras áreas pequeñas. Y no solo de los homicidios, sino de otra causa de mortalidad, o cualquier evento demográfico raro.

Además, podría resultar atractivo la aplicación de otras técnicas estadísticas bayesianas más robustas en áreas pequeñas, donde incorporen otras variables, como el tiempo, por ejemplo, los modelos bayesianos jerárquicos espacio-temporales.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

En general, la aplicación de técnicas estadísticas, demográficas y espaciales en áreas pequeñas contribuyen a mejorar el análisis de la mortalidad por homicidios y así mostrar patrones espaciales del riesgo de mortalidad más claros, a través de un mapa. En este sentido, el suavizamiento (estimador bayesiano empírico espacial) de las tasas brutas de la mortalidad resuelve problemas como, las fluctuaciones aleatorias, el escaso número de casos, por ser eventos raros, y los números pequeños que pueden producirse en áreas pequeñas. Además, hay que enfatizar el papel que puede desempeñar el análisis espacial en cualquier evento demográfico, en este caso la mortalidad por homicidios. Pues, a través del método de autocorrelación espacial, contribuyó a evaluar los patrones espaciales de las estimaciones generadas.

Dado los problemas que se generan por usar las tasas brutas en áreas pequeñas, se requiere desarrollar nuevas formas de obtener estimaciones de los registros vitales. Como método inicial se optó por la estandarización directa, usando como factor de confusión a la estructura etaria de la población. En este sentido, se mostró que existe una diferencia significativa en los valores de las tasas entre hombres y mujeres en los tres años de estudio, esta diferencia se explica por la naturaleza del fenómeno, ya que en los hombres los homicidios se asocian más al narcotráfico y al crimen organizado, mientras que, en las mujeres incluyen otros factores. En este sentido, es importante mencionar que el Estado de México es una entidad que cuenta con diversidad de grupos delictivos que operan bajo el narcotráfico y crimen organizado, lo que crea disputas entre estos grupos. Lo que puede ayudar a entender el porqué del comportamiento de las tasas y las diferencias por sexo.

En el caso de los hombres, en 2000 las tasas estandarizadas son muy heterogéneas, difícilmente se observó un patrón de concentración. Pero, en 2010 y 2020 sí se presentan patrones más definidos de los homicidios. En las mujeres, su distribución es más heterogénea por ser un evento todavía más raro que los hombres, por lo que, es confuso observar patrones. Sin embargo, en los tres años de estudio se observó una tendencia general, pues las tasas estandarizadas se concentran en los municipios periféricos a la Ciudad de México y en municipios colindantes con otras entidades. En resumen, la técnica de la estandarización directa permitió comparar las diferencias en los niveles de las tasas brutas de muerte por homicidios, ya que esta variable tiene relación con la edad, pues los homicidios se presentan más en jóvenes y adultos.

Por otro lado, dadas las limitaciones que generan las estimaciones de las tasas brutas y estandarizadas, se optó por utilizar un suavizamiento (estimador bayesiano empírico espacial) de los casos de mortalidad por homicidios, a través de una técnica estadística bayesiana que incluye un criterio previo (proximidad espacial) para ajustar las tasas. Este método permitió estimar el riesgo de mortalidad por homicidios utilizando información de las unidades espaciales vecinas. Por lo que, los mapas de estas tasas tienen una apariencia más suave y exponen, de manera más clara, los focos del riesgo alto o bajo de muertes por homicidios. Aunado a esto, este tipo de estimación contribuye a que el análisis sea más certero y seguro, ya que se estiman con mayor estabilidad. Pues los valores *outliers* se pueden estudiar con la seguridad de que se resuelva el problema de las fluctuaciones aleatorias causadas por poblaciones pequeñas. Como resultado, se obtuvieron mapas más confiables y fáciles de interpretar.

En este sentido, dada la característica del método utilizado, en ambos sexos se pudieron observar con más claridad los focos de riesgo de mortalidad por homicidios, resaltando que la distribución y concentración del evento cambian rotundamente dependiendo del año. Pues, en las mujeres se corrobora, se hace más visible y definida la concentración de las muertes por homicidios alrededor de la Ciudad de México en los tres años de estudio. En los hombres, se presenta claramente la concentración de las tasas suavizadas. Lo que hace posible, en ambos sexos, ver y comparar cómo van cambiando los focos de riesgo alto y bajo en todo el Estado de México, en 2000, 2010 y 2020.

Finalmente, para cubrir el aspecto espacial, se utilizó la técnica de autocorrelación espacial. Este método reflejó la existencia de conglomerados espaciales sobre la distribución relativa de los eventos observados en el espacio. En este sentido, efectivamente, los valores de estos índices incrementaron entre las tasas estandarizadas y suavizadas. Pues, con las tasas estandarizadas, los homicidios no presentan mucha influencia de los municipios vecinos, mientras que con las tasas suavizadas resulta que sí, y se representa por la presencia de más conglomerados espaciales locales, lo que deja a un lado que el fenómeno sea aleatorio.

En general, el índice incrementa en 2010 y 2020, resaltando asociaciones espaciales en ciertas regiones del Estado de México. En los hombres, la dinámica de los homicidios es más propensa a ser transmitida en los municipios, por los factores asociados a este fenómeno. Pues, se presentaron conglomerados espaciales, tanto con las tasas estandarizadas como suavizadas, hacia la zona sur, centro y norte del Estado de México, colindantes, principalmente con el estado de Guerrero y

Michoacán. Aunque, los resultados fueron más satisfactorios mediante el uso de las tasas suavizadas.

En las mujeres, se resalta que con las tasas suavizadas los conglomerados espaciales son claros, y que aumentan a medida que avanzan los años, por lo que, los homicidios femeninos empiezan a mostrarse como fenómenos no aleatorios, particularmente en 2010 y 2020. Sin embargo, con las tasas estandarizadas, la autocorrelación cambia y sucede todo lo contrario que con las tasas suavizadas. Pues, a medida que avanza el tiempo, la autocorrelación es baja o incluso nula, ya que 2000 y 2010 los valores son similares, mientras que en 2020 la autocorrelación es muy baja. Lo que da a entender que el fenómeno sigue siendo aleatorio. Además, hay mayor presencia de *outliers* con las tasas estandarizadas, mientras que con las tasas suavizadas hay mayor dependencia espacial. Valdría la pena indagar más acerca del verdadero comportamiento del fenómeno y sobre los datos de muertes por homicidios.

La contribución de este estudio fue discutir y analizar la mortalidad por homicidios a través de las diferencias en las estimaciones de las tasas brutas, estandarizadas y suavizadas, en conjunto con el análisis espacial desde una perspectiva demográfica y a un nivel más desagregado (área pequeña). Ya que, existe un vacío en los estudios que involucran al análisis demográfico junto con el análisis espacial. Pues, resulta importante estimar y entender los eventos demográficos a escalas cada vez más pequeñas para analizar el comportamiento espacial de este evento (mortalidad por homicidios) lo más certero y cercano a la realidad. Por tanto, permitirá diseñar políticas que apunten a reducir los niveles de violencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association – LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 91-115. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Anselin, L., Cohen J., Cook, D., Gorr, W. y Tita, G. (2000). *Spatial Analyses of Crime en Measurement and Analysis of Crime and Justice (Vol 4)*. Department of Justice, Washington, DC.
- Agudelo, Zagal y Castro (2020). Homicidios en México 2003-2017: Diagnóstico nacional, estatal y municipal Disponible en: <https://www.gob.mx/conapo/documentos/la-situacion-demografica-de-mexico-2020>
- Arteaga, N., Dávila, C. A., y Pardo, A. (2019). Necro-spaces and Violent Homicides in Mexico. *International Journal of Conflict and Violence*, 13. <https://doi.org/10.4119/ijcv-3125>
- Barceló, M., Saez, M., Cano-Serral, G., Martínez-Beneito, M., Martínez, J., Borrel, C., Ocaña-Riola, R., Montonya, I., Calvo, M., López-Abente, G., Rodríguez-Sanz, M., Toro, S., Alcalá, J., Saurina, C., Sánchez, Villegas, P. y Figueiras, A. (2008). Métodos para la suavización de indicadores de mortalidad: aplicación al análisis de desigualdades en mortalidad en ciudades del Estado español (Proyecto MEDEA). *Gaceta Sanitaria*, 22(6), 596-608. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112008000600017
- Baptista, E. (2015). *Mortalidade por doenças cardiovasculares na população adulta: um estudo têmporo-espacial e demográfico para as microrregiões brasileiras entre 1996 e 2010*. [Tesis de doctorado]. Universidade Federal de Minas Gerais. <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-A2UHH9>
- Baptista, E., Lima, E., Queiroz, B., Freire, F. y Gonzaga, R. (2019). Trends and patterns of geographic variation of mortality by causes of death for Small Areas in Brazil, 1990-2010. https://www.researchgate.net/publication/332549949_Trends_and_patterns_of_geographic_variation_of_mortality_by_causes_of_death_for_Small_Areas_in_Brazil_1990-2010/citation/download
- Barbosa, L. y Freire, F. (2004). O SINASC como fonte de informação sobre fecundidade no Rio Grande do Norte, 2000. En *Encuentro Nacional de Estudios de Población* (pp.1-14). <https://silo.tips/download/o-sinasc-como-fonte-de-informacao-sobre-fecundidade-no-rio-grande-do-norte-2000>
- Besag J, York J, Mollie A. (1991). Bayesian image restoration, with two applications in spatial statistics. *Institute Statistical Mathematics* (43), 1-59.
- Bouchichov, N. (2009). *Regresión no paramétrica en R* [Tesis de maestría]. <https://masteres.ugr.es/moea/pages/tfm0809/regresin-no-paramtrica-en-r/>
- Buzai, G. (2005). Los Sistemas de Información Geográfica y sus métodos de análisis en el continuo resolución-integración. Universidad de Puerto Rico. https://www.researchgate.net/publication/299285917_Los_Sistemas_de_Informacion_Geografica_y_sus_metodos_de_analisis_en_el_continuo_resolucion-integracion
- Castañeda, M. (2017). *Análisis de la mortalidad por homicidios. Un estudio comparativo entre el Estado de México y Guerrero, 2014*. [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma del Estado de México, México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/94468>
- Carvalho, A., Marques da Silva, G., Almeida Júnior, G. y Albuquerque, P. (2012). Taxas bayesianas para o mapeamento de homicídios nos municípios brasileiros. *Cadernos de Saúde Pública*, 28(7), 1249–1262. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2012000700004>

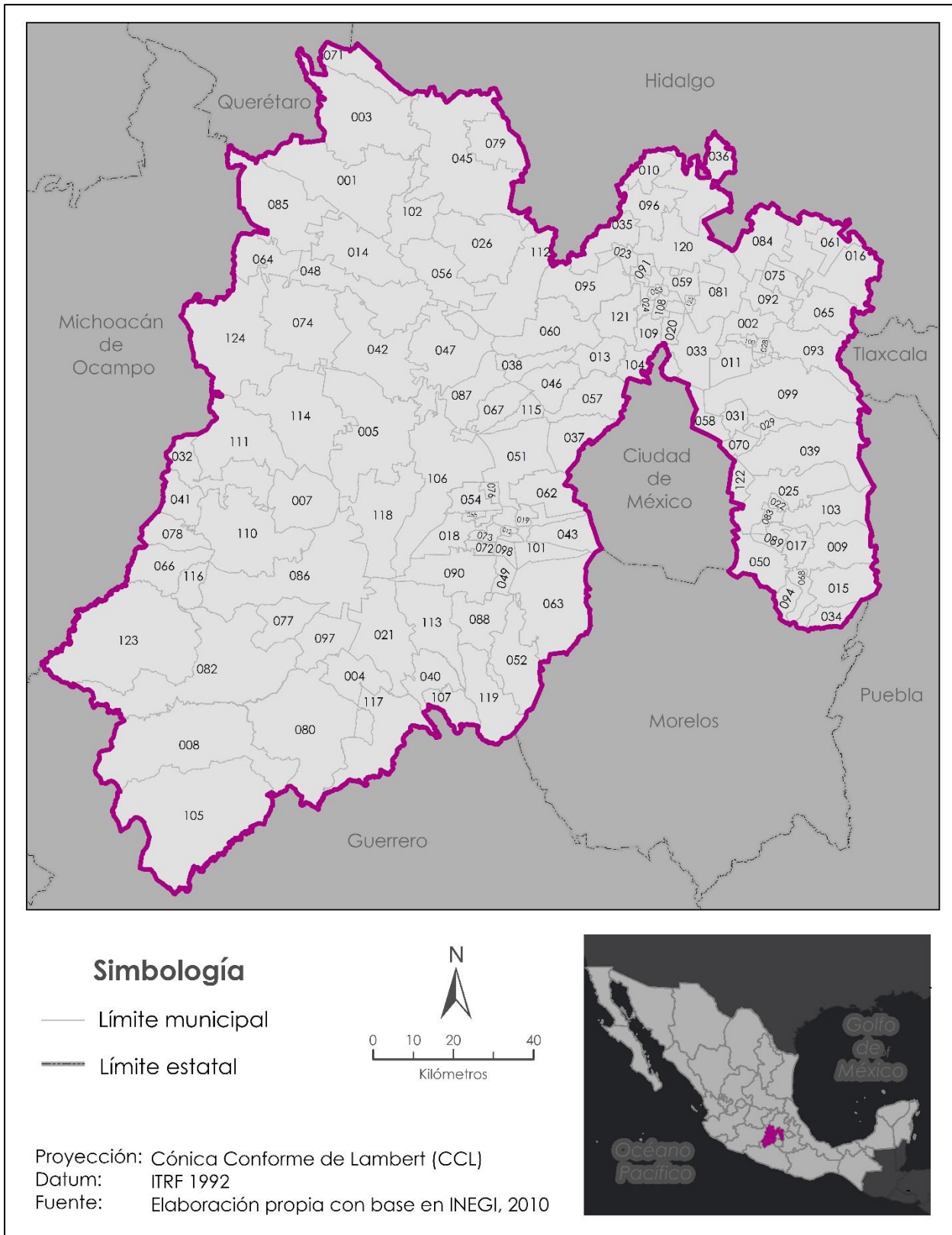
- Castro, M. (2007). Spatial demography: an opportunity to improve policymaking at various decision levels. *Population Research and Policy Review* 26(5), 477-509.
- Celemín, P. (2009). Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial. Importancia, estructura y aplicación. *Revista Universitaria de Geografía* 18(1), 11-31. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652009000100002
- Clayton, D. y Kaldor J. (1987). Empirical Bayes estimates for age-standardized relative risks. *Biometrics. International Biometric Society* 43(3). 671-681. <https://www.jstor.org/stable/2532003>
- Dos Santos, A., Rodriguez, A. y Lopes, D. (2005). *Aplicações de Estimadores Bayesianos Empíricos para Análise Espacial de Taxas de Mortalidade* [Presentación de paper]. VII Simpósio Brasileiro de Geoinformática, Campos do Jordão, Brasil. <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/geoinfo@80/2006/07.11.13.29/doc/P63.pdf>
- Fuentes, C. y Sánchez, O. (2015). Contexto sociodemográfico de los homicidios en México D.F.: Un análisis espacial. *Rev Panam Salud Publica*, 7.
- Gasca, F. y Flores, M. (2017). Patrones de distribución espacio-temporal de los homicidios de mujeres en México en 1990, 2000 y 2010. *Sociedad y Economía*, 32, 15–40.
- Graham, A., Atkinson, P. y Danson, F. (2004). Spatial analysis for epidemiology. *Acta Tropica* 91(3), 209-225. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2004.05.001>
- Goodchild, M. (1987). *Spatial Autocorrelation*. Geo Books. <https://alexsingleton.files.wordpress.com/2014/09/47-spatial-aurocorrelation.pdf>
- González, G., Vega, M., Cabrera, C., Vega, A. y Muñoz de la Torre, A. (2012). Mortalidad por homicidios en México: Tendencias, variaciones socio-geográficas y factores asociados. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17(12), 3195–3208. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012001200005>
- González, G., Vega, M. y Vega, A. (2012). *La mortalidad por homicidios y su relación con el estancamiento de la esperanza de vida en México*. Congreso Nacional de Ciencias Sociales. Recuperado de http://saludpublica.cucs.udg.mx/tem/_69C1F6ME8.pdf
- González-Pérez, G. J. y Vega-López, M. G. (2019). Homicidio juvenil en México y su impacto en la esperanza de vida masculina: Variaciones geográficas y factores asociados. *Salud colectiva*, 15, 9–10. <https://doi.org/10.18294/sc.2019.1712>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019). Patrones y tendencias de los homicidios en México. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825188436>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Censo Nacional de Población y Vivienda 2010. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Datos preliminares revelan que de enero a junio de 2019 se registraron 17 198 homicidios, Comunicado de prensa.
- Isern, G. y Cuesta, C. (2013). Elección del parámetro de suavizado óptimo en regresiones P-spline. Un estudio por simulación. Universidad Nacional de Rosario. https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/7552/Isern_Cuesta_eleccion%20del%20parametro.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Kelsall, J y Diggle, P. (1995). Non-parametric estimation of spatial variation in relative risk. *Statistics in Medicine* (14), 2335-2342.

- Law, J., Quick, M. y Chan, P. (2013). Bayesian spatio-temporal modeling for analysing local patterns of crime over time at the small-area. *Journal of Quant Criminol*, 30, 57-78. <https://rd.springer.com/article/10.1007/s10940-013-9194-1>
- Lawson, A., Biggeri, A., Böhning, D., Lesaffre, E., Viel, J-F., Clark, A., Schlattmann, P. y Divino, F. (2000). Disease mapping models: an empirical evaluation. *Statistics in Medicine* (19), 2217-2241.
- Lertxundi, A. (2006). Métodos de estadística espacial para evaluar la influencia de factores medioambientales sobre la incidencia y mortalidad por cáncer [Tesis de doctorado]. Universidad de Girona <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/7703/talm.pdf?sequence=3>
- Limberopulos, Y. (2016). *Homicidio juvenil y desarrollo social en zonas metropolitanas de México en 2010* [Tesis de maestría]. El Colegio de México. https://colmex.userservices.exlibrisgroup.com/view/delivery/52COLMEX_INST/1270076180002_716
- Marshall, R. (1991). Mapping disease and mortality rates using empirical Bayes estimators. *Applied Statistics* 40(2), 283-294. <https://www.jstor.org/stable/2347593>
- Miller, H. J. (2004). Tobler's first law and spatial analysis. *Annals of the Association of American Geographers*, 94(2), 284-289.
- Mejía, M., Spijker, J. y Manetta, A. (2020). Distribución espacial del homicidio juvenil masculino y desigualdad territorial en Ciudad de México y Estado de México (2000-2002 y 2010-2012). *Revista Latinoamericana de Población*, 14(27), 185-227. <https://doi.org/10.31406/relap2020.v14.i12.n27.6>
- Morera, M. y Aparicio, A. (2013). Importancia de la modelización bayesiana espacio-temporal en el análisis de eventos en salud. *Revista Costarricense Salud Pública*, 22(2), 83-84. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v22n2/art01v22n2.pdf>
- Nóbrega, K., Walker, B., Vieira da Silva, A., Procópio, G., Maio de Brum, E. y Ribeiro, M. (2021). Spatial-temporal patterns of homicide in socioeconomically deprived settings: Violence in Alagoas, Brazil, 2006–2015. *Global Health Action*, 14(1), 1952752. <https://doi.org/10.1080/16549716.2021.1952752>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2002). *Informe mundial sobre la violencia y la salud*. OMS. http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/67411/a77102_spa.pdf;jsessionid=DD4697EDE9A189D40A27E7E2F35482B6?sequence=1
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2017). *Lineamientos básicos para el análisis de la mortalidad*. OPS. <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/34492/9789275319819spa.pdf?sequence=7>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2002). La Estandarización: Un Método Epidemiológico Clásico para la Comparación de Tasas. *Boletín Epidemiológico*, 23(3),1-16. https://www3.paho.org/Spanish/SHA/EB_v23n3.pdf
- Ordorica-Mellado, M., & Cervantes-Salas, M. P. (2020). El fin de la esperanza: Los homicidios como causa de la expectativa de vida perdida. *Papeles de Población*, 26(105), 39–68.
- Orozco, A. (2012). Factores sociodemográficos asociados a la tasa de homicidios en áreas urbanas, 2000-2010. El Colegio de la Frontera Norte. Recuperado de <https://colef.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1014/466/1/TESIS%20-%20Orozco%20Alvarado%20Andrea%20Susana.pdf>

- Oliveira, A., Feitosa, C., Regadas, L., Figueiredo, M. y Moura, V. (2019). Análise espacial dos homicídios intencionais em João Pessoa, Paraíba, 2011-2016. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 28(1), 1-12. <https://doi.org/10.5123/s1679-49742019000100003>
- Piedad, B., Torres, F. y Alexander, J. (2017). The Homicide Atlas in Colombia: Contagion and Under-Registration for Small Areas. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 26 (1), 101-118. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v26n1.55429>.
- Raymer, J., Willekens, F., y Rogers, A. (2019). Spatial demography: A unifying core and agenda for further research. *Population, Space and Place*, 25(4). <https://doi.org/10.1002/psp.2179>
- Reyna, A., González, G., Vega, M., Ramos, I. y González, M. (2020). Magnitud, distribución y tendencia espacial de homicidios registrados en el Área Metropolitana de Guadalajara: análisis comparativo entre 2013 y 2018. *Investigaciones geográficas* (103). <https://doi.org/10.14350/rig.60060>
- Romo, J. (2019). *Modelos espaciales y espacio-temporales para la modelación de datos con exceso de ceros*. [Tesis de maestría]. Centro de Investigación en Matemáticas <https://imat.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1008/1024/1/TE%20749.pdf>
- Rodríguez, A. (2020). *Violencia letal y feminicida en México: aportaciones desde el análisis espacial*. Universidad Autónoma del Estado de México [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma del Estado de México <https://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109691/Tesis%20Alan%20Guerrero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, O. (2014). *Análisis espacial del delito: La relación entre el delito y las características sociodemográficas en las delegaciones Benito Juárez, Coyoacán y Cuauhtémoc del D.F. 2010* [Tesis de maestría]. El Colegio de la Frontera Norte <https://www.colef.mx/posgrado/tesis/2012996/>
- Silva, L., Benavides, A. y Vidal, C. (2003). Análisis espacial de la mortalidad en áreas geográficas pequeñas. El enfoque bayesiano. *Revista Cubana de Salud Pública*, 29(4), 314-322. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662003000400004
- Santos, M. R., Testa, A., Porter, L. C., & Lynch, J. P. (2019). The contribution of age structure to the international homicide decline. *PLOS ONE*, 14(10). Recuperado de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222996>
- Sánchez, F. y Osorio, M. (2021). *Atlas de Homicidios: México 2020 – México Unido Contra la Delincuencia*. Recuperado de <https://www.mucd.org.mx/atlas-de-homicidios-mexico-2020/>
- Siabato, W. y Guzmán-Manrique, J. (2018). La autocorrelación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 28(1), 1-22. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v28n1/2256-5442-rcdg-28-01-1.pdf>
- Silva, C., Melo, S., Santos, A., Junior, P. A., Sato, S., Santiago, K., y Sá, L. (2020). Spatial Modeling for Homicide Rates Estimation in Pernambuco State-Brazil. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12), 740. <https://doi.org/10.3390/ijgi9120740>
- Tobler, W. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46, 234-240. <https://www.jstor.org/stable/143141>
- United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC). (2019) *Global study on homicide*. Recuperado de <https://www.unodc.org/unodc/en/data-and-analysis/global-study-on-homicide.html>
- Ugarte, M., Cuesta, C., Isern, G., Barbona, I., Lupachini, E. y Fantasía, F. (2014). Ajuste de modelos “CAR” para la estimación espacio-temporal de eventos. Universidad Nacional de Rosario.

- https://www.fcecon.unr.edu.ar/web-nueva/sites/default/files/u16/AfichesJor/ugarte_cuesta_y_otros_ajuste_de_modelos_car.pdf
- Vidal, F. (2008). Los nuevos aceleradores de la violencia remodelada. Nuevos escenarios de violencia (17-47). España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=290355>
- Valbuena-García, A. y Rodríguez, L. (2018). Análisis espacial en epidemiología: revisión de métodos. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud* 50(4), 358-365. <https://www.redalyc.org/journal/3438/343860383009/html/>
- Vilalta, C., Castillo, J. y Torres, J. (2016). Violent Crime in Latin American Cities. *Inter American Development Bank*. <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Violent-Crime-in-Latin-American-Cities.pdf>
- Valdivia, M., Castro, R. y Rodríguez, I. (2020). Análisis espacial de la dinámica de la tasa de homicidios por sexo y feminicidios en México (2001-2017) en Violencia Contra Mujeres. Sobre El Difícil Diálogo Entre Cifras y Acciones de Gobierno. CRIM-UNAM. https://www.researchgate.net/publication/342926326_Analisis_espacial_de_la_dinamica_de_la_tasa_de_homicidios_porsexo_y_feminicidios_enMexico
- Vilalta, C., & Muggah, R. (2014). Violent disorder in Ciudad Juarez: A spatial analysis of homicide. *Trends in Organized Crime*, 17(3), 161–180. <https://doi.org/10.1007/s12117-014-9213-0>
- Vilalta, C. y Muggah, R. (2016). What Explains Criminal Violence in Mexico City? A Test of Two Theories of Crime. *Stability: International Journal of Security and Development*, 5(1). <https://doi.org/10.5334/sta.433>
- Voss, P. (2007). Demography as spatial social science. *Population Research and Policy Review* 26(5).
- Weeks, J. (2004). The role of spatial analysis in demographic research. En M.F. Goodchild and D.G. Janelle (Eds.), *Spatially Integrated Social Sciences* (pp. 381–399). Oxford University Press.
- Welti, C., Herrera, A., Macías, H. y Ramón, E. (1997). *Demografía I* (Primera ed.). México: Celade.

ANEXO. MAPA CON NOMBRES DE LOS MUNICIPIOS DEL ESTADO DE MÉXICO.



Clave	Municipio	Clave	Municipio	Clave	Municipio
001	Acambay de Ruíz Castañeda	046	Jilotzingo	091	Teoloyucan
002	Acolman	047	Jiquipilco	092	Teotihuacán
003	Aculco	048	Jocotitlán	093	Tepetlaoxtoc
004	Almoloya de Alquisiras	049	Joquicingo	094	Tepetlixpa
005	Almoloya de Juárez	050	Juchitepec	095	Tepotzotlán
006	Almoloya del Río	051	Lerma	096	Tequixquiac
007	Amanalco	052	Malinalco	097	Texcaltitlán
008	Amatepec	053	Melchor Ocampo	098	Texcalyacac
009	Amecameca	054	Metepec	099	Texcoco
010	Apaxco	055	Mexicaltzingo	100	Tezoyuca
011	Atenco	056	Morelos	101	Tiangustenco
012	Atizapán	057	Naucalpan de Juárez	102	Timilpan
013	Atizapán de Zaragoza	058	Nezahualcóyotl	103	Tlalmanalco
014	Atlacomulco	059	Nextlalpan	104	Tlalnepantla de Baz
015	Atlautla	060	Nicolás Romero	105	Tlatlaya
016	Axapusco	061	Nopaltepec	106	Toluca
017	Ayapango	062	Ocoyoacac	107	Tonatico
018	Calimaya	063	Ocuilán	108	Tultepec
019	Capulhuac	064	El Oro	109	Tultitlán
020	Coacalco de Berriozábal	065	Otumba	110	Valle de Bravo
021	Coatepec Harinas	066	Otzoloapan	111	Villa de Allende
022	Cocotitlán	067	Otzolotepec	112	Villa del Carbón
023	Coyotepec	068	Ozumba	113	Villa Guerrero
024	Cuautitlán	069	Papalotla	114	Villa Victoria
025	Chalco	070	La Paz	115	Xonacatlán
026	Chapa de Mota	071	Polotitlán	116	Zacazonapan
027	Chapultepec	072	Rayón	117	Zacualpan
028	Chiautla	073	San Antonio la Isla	118	Zinacantepec
029	Chicoloapan	074	San Felipe del Progreso	119	Zumpahuacán
030	Chiconcuac	075	San Martín de las Pirámides	120	Zumpango
031	Chimalhuacán	076	San Mateo Atenco	121	Cuautitlán Izcalli
032	Donato Guerra	077	San Simón de Guerrero	122	Valle de Chalco Solidaridad
033	Ecatepec de Morelos	078	Santo Tomás	123	Luvianos
034	Ecatzingo	079	Soyaniquilpan de Juárez	124	San José del Rincón
035	Huehuetoca	080	Sultepec	125	Tonanitla
036	Hueypoxtla	081	Tecámac		
037	Huixquilucan	082	Tejupilco		
038	Isidro Fabela	083	Temamatla		
039	Ixtapaluca	084	Temascalapa		
040	Ixtapan de la Sal	085	Temascalcingo		
041	Ixtapan del Oro	086	Temascaltepec		
042	Ixtlahuaca	087	Temoaya		
043	Xalatlaco	088	Tenancingo		
044	Jaltenco	089	Tenango del Aire		
045	Jilotepec	090	Tenango del Valle		