



Distribución espacial del cáncer de próstata a escala regional y factores demográficos y socioeconómicos: Megalópolis del Centro de México (2013-2020)

Daniel de las Heras Gutiérrez¹; Edel Cadena Vargas²

Recibido: 16 de abril del 2022 / Enviado a evaluar: 6 de julio del 2022 / Aceptado: 24 de enero del 2023

Resumen. Se analizó la distribución espacial de las tasas brutas de mortalidad por cáncer de próstata a escala municipal en la megalópolis mexicana entre 2013-2020 mediante análisis espacial, con técnicas de autocorrelación y regresión espacial. Existe una tendencia creciente en las defunciones, y una distribución heterogénea según los niveles de mortalidad. Se delimitaron las áreas con mayor y menor riesgo. Mediante el Índice Global de Moran se determinó la no aleatoriedad espacial de mortalidad. Con el análisis de clústeres se delimitaron geoestadísticamente aquellas áreas con valores elevados: municipios centrales metropolitanos y algunas zonas suburbanas; y bajos: ciertas zonas periféricas conurbadas. Aplicando el análisis de regresión con retardo espacial se encontró una relación significativa con el envejecimiento demográfico (positiva) y con la presencia de población indígena (negativa), no se halló relación significativa entre mortalidad y acceso a servicios de salud y nivel de pobreza.

Palabras clave: Análisis espacial; epidemiología espacial; cáncer de próstata; cluster; regresión.

[en] Spatial distribution of prostate cancer at a regional scale and demographic and socioeconomic factors: Megalopolis of Central Mexico (2013-2020)

Abstract. The spatial distribution of crude mortality rates for prostate cancer at the municipal level in the Mexican megalopolis in 2013-2020 was analyzed using spatial analysis, with autocorrelation and spatial regression techniques. There is a growing trend in deaths, and a heterogeneous distribution according to mortality levels. Areas with higher and lower risk were delimited. Using the Global Moran Index, the spatial non-randomness of mortality was determined. With the cluster analysis, those areas with high values were geostatistically delimited: central metropolitan municipalities and some suburban areas; and low: certain peripheral conurbation areas. Applying the spatial lag regression analysis, a significant relationship was detected with demographic aging (positive) and with the presence of indigenous

¹ COMECYT. Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (México).

E-mail: leninakan-l@hotmail.com

² Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México (México).

E-mail: cadenav@uaemex.mx

population (negative), there was no significant relationship between mortality and access to health services and poverty level.

Keywords: Spatial analysis; spatial epidemiology; prostate cancer; cluster; regression.

[fr] Répartition spatiale du cancer de la prostate à l'échelle régionale et facteurs démographiques et socio-économiques: mégalopole du centre du Mexique (2013-2020)

Résumé. La distribution spatiale des taux bruts de mortalité par cancer de la prostate au niveau municipal dans la mégalopole mexicaine entre 2013 et 2020 a été analysée à l'aide d'une analyse spatiale, avec des techniques d'autocorrélation et de régression spatiale. On observe une tendance à la hausse des décès, et une répartition hétérogène selon les niveaux de mortalité. Les zones à risque plus élevé et plus faible ont été délimitées. À l'aide de l'indice global de Moran, le caractère non aléatoire spatial de la mortalité a été déterminé. Avec l'analyse par grappes, les zones à valeurs élevées ont été délimitées géostatistiquement : les municipalités métropolitaines centrales et certaines zones suburbaines; et bas: certaines agglomérations périphériques. En appliquant l'analyse de régression du décalage spatial, une relation significative a été trouvée avec le vieillissement démographique (positif) et avec la présence de la population autochtone (négative), il n'y avait pas de relation significative entre la mortalité et l'accès aux services de santé et le niveau de pauvreté.

Mots-clés: Analyse spatiale; épidémiologie spatiale; cancer de la prostate; cluster; régression.

Cómo citar. De las Heras Gutiérrez, D. y Cadena Vargas, E. (2023): Distribución espacial del cáncer de próstata a escala regional y factores demográficos y socioeconómicos: Megalópolis del Centro de México (2013-2020). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 43(1), 39-56.

Sumario. 1. Introducción. 2. Metodología. 2.1. Zona de estudio. 2.2. Cálculo de variables. 2.3. Análisis Espacial. 2.3.1. Autocorrelación espacial. 2.3.2. Modelos Regresión Espacial. 3. Resultados. 3.1. Regresión mediante Spatial Lag. 4. Discusión y conclusiones. 5. Bibliografía.

1. Introducción

El cáncer de próstata es uno de los tipos de cáncer de mayor impacto, ya que es el segundo por diagnóstico y sexto por mortalidad entre varones a escala mundial. Su distribución en el mundo es desigual: los valores más elevados se presentan en Europa Central, Norteamérica y Australia, en tanto que los más bajos son en el norte de África y gran parte del centro y sur asiático (Báez y Armisen, 2012). El cáncer de próstata es un tumor maligno que deriva del epitelio acinar y ductal de la próstata y que presenta una etiología multifactorial (Robles et al, 2019). La literatura indica en su incidencia y mortalidad factores como la edad, obesidad, historia familiar, nacionalidad, genética, dieta, consumo de tabaco y/o alcohol o factores hormonales (García-Perdomo et al, 2018). Hay fuertes evidencias de que los cambios en las células epiteliales de la próstata son inevitables con la edad, producto de una serie compleja de interacciones de factores inherentes y modificables a lo largo de la vida del individuo (Klassen y Platz, 2008)

En México, antes de la pandemia de COVID-19, se registraron en 2019 un total de 747 mil784 defunciones, de las cuales 88 mil 683 fueron por neoplasias malignas

(según la Clasificación Internacional de Enfermedades, CIE, C00-D48). La Tasa Bruta de Mortalidad (TBM) fue de 70 por cien mil habitantes, tasa que presenta un crecimiento constante en las últimas décadas conforme en el país culmina la transición demográfica. Las TBM por cáncer en México más elevadas son en los estados del norte, Golfo de México y Ciudad de México, y las más bajas en el sureste y centro del país, oscilando las TBM entre un 50,9 y un 97,1 por cien mil (INEGI, 2021a). La mortalidad por tipo de cáncer varía según el género, en principio, un 49% de los fallecidos fueron varones, siendo entre estos el cáncer de próstata (CIE-10: C61) el segundo por mortalidad después de las neoplasias digestivas (CIE C15-C26), afectando especialmente en los grupos de edad de 60 años y más. En 2013-2020 la TBM de cáncer de próstata en México fue de 11,7 por cien mil habitantes (varones), por comparación, para el mismo periodo la TBM por cáncer de mama entre mujeres en México fue de 10,2 por cien mil mujeres.

A diferencia del cáncer de mama (Azevedo et al. 2019; Jaramillo et al. 2020; Ramos-Herrera et al. 2020), los estudios de distribución espacial (epidemiología espacial) del cáncer de próstata son comparativamente escasos. En principio, a escala global, se ha constatado una incidencia y mortalidad desigual según países y nacionalidades. También se ha constatado que según la nacionalidad o etnia la incidencia y mortalidad son desiguales, siendo mayor el riesgo en aquellas poblaciones con ascendencia africana, en tanto que el menor sería en ciertas poblaciones asiáticas. En la actualidad ciertos estudios refieren nuevos hallazgos de TBM más elevadas en poblaciones del África subsahariana ante la disponibilidad de mejores series estadísticas y a los efectos de la progresiva introducción de estilos de vida “occidentales” (Klassen y Platz, 2008).

Fundamentalmente los trabajos con perspectiva espacial del cáncer de próstata son sobre la incidencia de la enfermedad, siendo más escasos los que se centran en la mortalidad. Entre los trabajos a escala nacional son destacables los estudios de Costa Rica (Murillo y González, 2020), Brasil (Colbachini et al, 2022), Eslovaquia (Vilinová, 2020), Iraq (Mohammed Al-Hashimi, 2021) o Estados Unidos de América (Fletcher et al, 2020). También existen algunos estudios a nivel nacional que constatan los desequilibrios espaciales en el cáncer de próstata, en particular sobre las dinámicas, como en el caso de Brasil para 1990-2019 (Iser et al, 2022)

La mayor parte de los trabajos con enfoque espacial se han realizado en los últimos años, momento en el que la epidemiología espacial en general se ha desarrollado y expandido. A escala nacional predominan los análisis de la incidencia, en el estudio de Brasil se centra en la mortalidad, análisis de su distribución espacial y tendencias, en tanto que el de Estados Unidos (Fletcher et al, 2020) analiza los diferentes patrones de la incidencia del cáncer de próstata según raza. Vilinova para Eslovaquia analiza los diferentes patrones espaciales del cáncer de próstata en varones y de mama en mujeres, estudiando patrones espaciales de manera comparativa. Los estudios geográficos a escala regional de cáncer han recibido especial atención en Brasil, y para este tipo de cáncer no solo existen análisis a escala nacional, sino estatal como en el caso de Sergipe (Passos et al, 2018); en Estados

Unidos hay estudios a nivel estatal como los casos de Louisiana (Mather et al, 2006), Virginia (Olivier et al, 2006) y Georgia (Aheto et al, 2021). Se ha detectado una distribución no uniforme en la incidencia y mortalidad, con áreas anómalas con valores elevados, lo cual nos indica que los factores que inciden en este tipo de neoplasia varían geográficamente.

La ciencia de la Geografía fundamentalmente estudia la localización, distribución y relaciones de fenómenos naturales y humanos en el espacio (Martonne, 1973). Dentro de la Geografía y del análisis espacial, la epidemiología espacial analiza las enfermedades y otros fenómenos de la salud, no solo su distribución espacial en incidencia y mortalidad, también su concentración espacial o la incidencia de factores ambientales, socioeconómicos y de todo tipo sobre los fenómenos sanitarios (Pina et al, 2010).

Dado que la distribución espacial de las enfermedades no es generalmente aleatoria ni uniforme, es de interés para la geografía y análisis espacial el estudio de su relación con posibles factores de riesgo, y detectar conglomerados anómalos de incidencia y mortalidad. En esta investigación se tiene por objetivo analizar el comportamiento y distribución espacial; posibles zonas de valores anormales elevados y agrupados como clústeres; relación con ciertos factores demográficos y socioeconómicos- del cáncer de próstata en el centro del país a escala regional, más concretamente en la capital y su corona regional de metrópolis.

Ello porque esta región es un espacio densamente poblado y urbanizado, con condiciones socioeconómicas y ambientales heterogéneas, adquiriendo el carácter geográfico (funcional y espacial) de megalópolis en los años 1980 y, desde 1996, un estatus legal, recibiendo a lo largo de los años diversas denominaciones, aunque la más aceptada es Megalópolis del Centro de México. Para efectos de comparación, en superficie prácticamente equivale a la Comunidad Valenciana (18 mil 841 km² y 23 mil 255 km² respectivamente), aunque en población supera los 30 millones de habitantes.

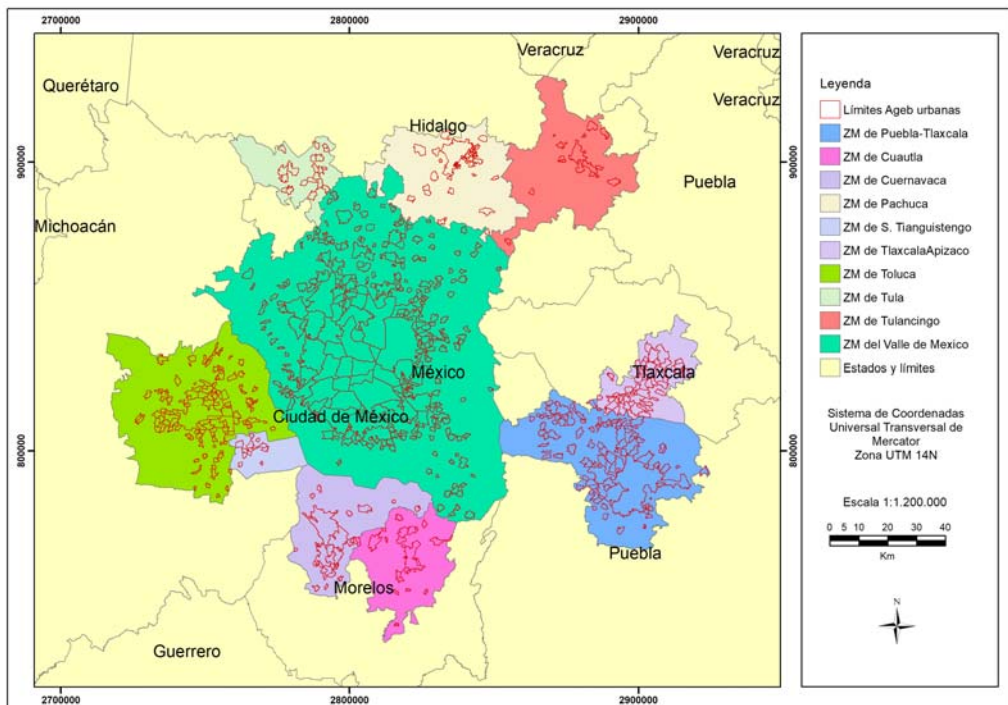
Para este análisis se calcularon las TBM por cáncer de próstata para en el periodo 2013-2020 a nivel de municipio, con las que se efectuó un análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE), en particular análisis de clúster, con el fin de detectar y delimitar las zonas más afectadas por esta patología con una fundamentación geoestadística. Le siguió un análisis de regresión espacial para indagar sobre posibles factores que tengan incidencia sobre las TBM y su distribución, con variables demográficas y socioeconómicas (envejecimiento, nivel de marginación, nacionalidad, acceso a servicios de salud). Se pretende que los resultados puedan ser de utilidad para una mayor comprensión de la enfermedad y su afectación en la MCM y servir como herramienta de análisis y diagnóstico al detectar y delimitar zonas de mayor riesgo y factores, facilitando la toma de posibles medidas paliativas y de intervención.

2. Metodología

2.1. Zona de estudio

El marco espacial de esta investigación es la Megalópolis del Centro de México (MCM). Su origen tuvo lugar en el crecimiento demográfico y urbanístico de la Ciudad de México y ocho ciudades de su corona (Puebla, Toluca, Pachuca, Tula, Tulancingo, Cuernavaca, Cautla y Tlaxcala fundamentalmente), generándose un espacio de carácter urbano y suburbano con integración funcional y económica. Legal y administrativamente surgió en 1996 (DOF, 1996), compuesta por 189 municipios y delegaciones (actualmente alcaldías de la Ciudad de México) de las siguientes zonas metropolitanas: Zona Metropolitana del Valle de México; Valle de Toluca y Santiago Tianguistengo; Puebla-Tlaxcala; Cuernavaca; Cautla; Pachuca-Tlaxcala y Tula-Tulancingo (Mapa 1)

Mapa 1. Megalópolis del Centro de México. Límites metropolitanos, municipales y de zonas urbanizadas.



Fuente: Elaboración propia.

La MCM es una región urbanizada policéntrica con una superficie de 18.841 km² y 30.754.024 habitantes en 2020 (INEGI, 2021b), caracterizada por importantes desequilibrios espaciales socioeconómicos, de acceso a servicios, condiciones educativas y sanitarias.

2.2. Cálculo de variables

Para el cálculo de las TBM por cáncer de próstata se emplearon los datos de INEGI de defunciones generales anuales por neoplasia maligna de próstata (CIE C-61) para cada municipio, según lugar de residencia del fallecido. Los datos los aporta INEGI de su base de datos de *Defunciones registradas (mortalidad general)* (INEGI, 2021c), una base de acceso digital que sigue la clasificación internacional de enfermedades (CIE); es decir, el estándar de clasificación diagnóstica para todos los fines clínicos y de investigación. Define enfermedades y afecciones de salud relacionadas, enumeradas jerárquica e integralmente (OPS, 2003).

Se calculó el promedio anual de defunciones por municipio por el cáncer de próstata, y a partir de este promedio, la tasa bruta de mortalidad en relación a la población masculina por cada municipio según el censo de población de 2020 (INEGI, 2021b) por cada cien mil habitantes varones.

Se seleccionaron tres variables del censo de población (*población masculina de 60 años y más; población masculina de 3 años y más hablante en lengua indígena; población sin acceso a servicios de salud*) (INEGI, 2021b) y una variable socioeconómica, *Porcentaje de población en nivel de pobreza a nivel municipal* (CONEVAL, 2015) con el fin de realizar un análisis de regresión con retardo espacial para averiguar si la mortalidad por cáncer de próstata guarda relación con factores de edad, nacionalidad y nivel de ingreso.

2.3. Análisis Espacial

Con el análisis espacial aplicado a la epidemiología espacial es factible detectar y delimitar zonas con mayor o menor afectación en incidencia y mortalidad de enfermedades y establecer posibles relaciones espaciales con otras variables explicativas. Todo ello facilita una mayor comprensión del comportamiento de las patologías, sus causas y su impacto sobre la población, lo cual supone una importante herramienta para aplicación de medidas paliativas o intervenciones públicas en políticas de salud.

Entre las técnicas de análisis espacial se emplea aquí el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE), que describen y visualizan distribuciones espaciales, como el agrupamiento y dispersión de fenómenos en el territorio, tales como las TBM por cáncer de próstata (Hernández, 2015)

2.3.1. Autocorrelación espacial

Para averiguar si las TBM se distribuyen en la MCM de forma aleatoria o no, y si existen áreas con concentración de valores elevados o bajos y su delimitación en forma de clústeres. Además, se calcularon tanto el Índice Global de Moran (IGM) como el Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran (IALM). Con el IGM se analiza si se cumple la hipótesis de que cierta variable (TBM por C61) tiene una distribución aleatoria o si, por el contrario, existe asociación significativa de valores similares o no similares entre zonas vecinas, es decir, agrupamientos de municipios con valores altos, bajos o altos rodeados de bajos y viceversa (Gómez, Prieto, Mellado y Moreno, 2015). Para esto último, el IGM debe aproximarse a los valores 1 o -1, si la distribución es aleatoria, tenderá a 0.

La principal utilidad del Índice de Autocorrelación Espacial Local de Moran (IALM) es que con su cálculo se obtiene cartografía con los agrupamientos de unidades espaciales según sus valores (en este caso municipios). Estos agrupamientos de una o más unidades espaciales pueden ser de los siguientes tipos (Anselin, 1995):

- Alto-Alto: unidades espaciales con valores elevados de TBM por C61
- Bajo-Bajo: unidades espaciales con valores bajos de TBM por C61
- Alto-Bajo: unidades espaciales de valores altos rodeadas por otras con valores bajos de TBM por C61
- Bajo-Alto: unidades espaciales de valores bajos rodeadas por otras con valores altos de TBM por C61
- No significativo: Los valores de las unidades espaciales vecinas tienen valores producidos aleatoriamente

La fórmula del IALM es la siguiente (Garrocho y Campos, 2013) (Figura 1)

$$I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j$$

Se empleó el programa ArcMap10 de ESRI.

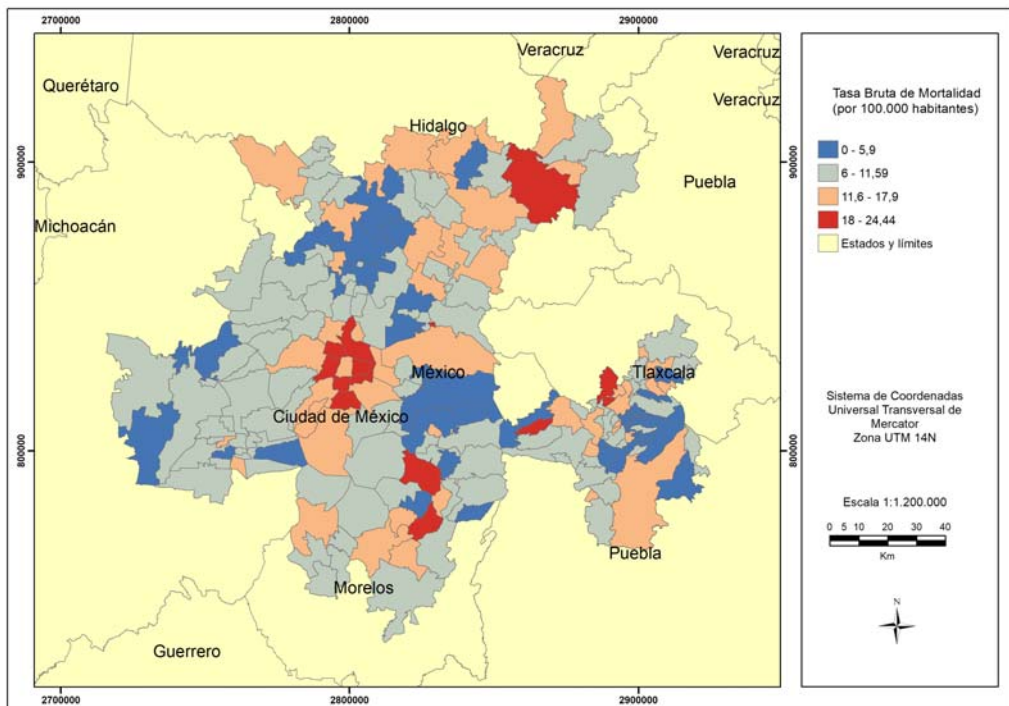
2.3.2. Modelos Regresión Espacial

Para el análisis de relación multivariada entre las TBM y variables explicativas demográficas y socioeconómicas se empleó el método de regresión con la herramienta *spatial lag* del programa libre GeoDa. Según Baller et al. (2001), se entiende por un Modelo Espacial Lag la relación interactiva entre una variable dependiente y una serie de variables independientes en las unidades espaciales vecinas. En este estudio se emplearon variables socioeconómicas a nivel municipal de pobreza, salud, sexo y grupo étnico: *Porcentaje de población en nivel de pobreza* (CONEVAL, 2015), *Población sin afiliación a servicios de salud*, *población masculina de 60 años y más*, según nacionalidad y *población masculina de 3 años y más hablante en lengua indígena* (INEGI, 2021b)

3. Resultados

Las TBM por cáncer de próstata en la MCM oscilan entre el 1,05 y el 24,4 por cien mil de Chiconcuac y Papalotla (pequeño municipio hacia el este de la Ciudad de México) respectivamente. A grandes rasgos, las TBM más elevadas, superiores al 15 por cien mil, aparecen fundamentalmente en cuatro áreas (24 municipios): en el centro, abarcando gran parte de la Ciudad de México; al norte, en las zonas metropolitanas de Pachuca, Tulancingo y NE de la ZMVM; al sur, entre Cuernavaca y Cuautla, y finalmente, al este de la MCM en la ZM de Tlaxcala-Apizaco y el municipio de Puebla. Los valores más bajos, inferiores a 6 por cien mil, con un total de 38 municipios, se concentran en 3 zonas: al norte y al este de la Ciudad de México; al este de la MCM entre los municipios de Puebla y de Tlaxcala (Mapa 2). La TBM de la MCM en 2013-2020 fue de 11,6 por cien mil, ligeramente inferior a la media de México (11,7), para este periodo de 8 años, el número de defunciones se ha incrementado de 1549 anuales en 2013 a 1844 en el último año.

Mapa 2. TBM por cien mil habitantes por cáncer de próstata en 2013-2020



Fuente: Elaboración propia.

La distribución de los valores de las TBM no es uniforme en la MCM, tampoco es aleatoria ya que el Índice Global de Moran fue positivo y significativo ($I = +0,2184$, $P < 0,01$) confirmando la presencia de autocorrelación espacial y la presencia de clústeres, de agrupamientos de municipios con valores altos y bajos de TBM.

Tabla 1. Clústeres por tipología en la MCM, situación, municipios y TBM por cáncer de próstata

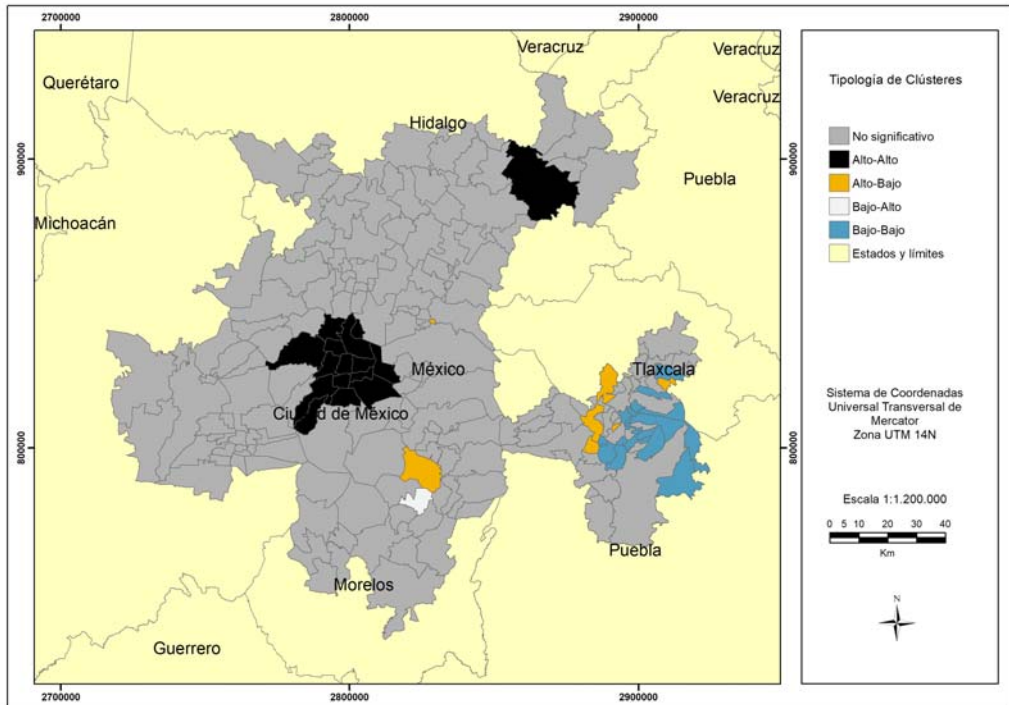
| Cluster | Localización | Municipios | TBM por cáncer de próstata |
|-----------|---|--|----------------------------|
| Alto-Alto | Centro de la MCM. Ciudad de México y municipios conurbados del Estado de México | Axcapotalco, Coyoacán, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, La Magadela Contreras, Álvaro Obregón, Benito Juárez, Cuauhtemoc, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza, Naucalpan de Juárez, Nexahualcoyotl, Tlanepantla de Baz | 12,4-21,3 por cien mil |
| Alto-Alto | Norte de la MCM | Singuilucan | 19,4 por cien mil |
| Alto-Bajo | Este de la MCM. ZM de Tlaxcala | Panotla, Tlaltenango, San Lorenzo Axocomanitla, Cuaxomulco, Nativitas | 14,6-19,6 por cien mil |
| Alto-Bajo | Sur de la MCM, ZM de Cautla | Juchitepec | 22,8 por cien mil |
| Bajo-Bajo | Este de la MCM. Municipios al norte de Puebla conurbados | Amozoc, Contla, Coronango, Cuautlacingo, La Magdalena, Mazatecocho, Papalotla, Tetlanohcan, San Miguel Xoxtla, San Pablo del Monte, Santa Cruz Quilehtla, Santa Isabel Xiloxotla, Teolocho, Taptlaxco, Tepeyanco, Tzompantepec, Xicohtzinco. | 3,02-6,3 por cien mil |
| Bajo-Alto | Sur de la MCM, ZM de Cautla | Totolapan | 4,8 por cien mil |

Fuente: Elaboración propia.

En el Mapa 3 se presenta la localización y delimitación de los agrupamientos (clústeres) por niveles de TBM. Hay dos clústeres de tipo Alto-Alto (Tabla 1), el principal en el centro de la MCM, abarcando gran parte de la Ciudad de México y municipios vecinos (11 alcaldías de la Ciudad de México y 3 municipios conurbados) y uno en el noreste de la MCM, el municipio de Singuilucan. Agrupamientos de tipo Alto-Bajo hay en el este y sur de la MCM, en Tlaxcala-Apizaco-Puebla (5 municipios) y en Cautla respectivamente (1 municipio, Juchitepec). Finalmente, hay un extenso clúster de valores bajos en el este, al norte de la ciudad de Puebla que une 17 municipios, los mayores Amozoc y Cuautlacingo (125 mil 876 y 137 mil 435

habitantes respectivamente). En el sur, en la ZM de Cuautla, un municipio contiguo a Juchitepec, Totolapan, hay un único clúster tipo Bajo-Alto.

Mapa 3. Índice de Autocorrelación Local de Moran. Mapa de clústeres de TBM por cáncer de próstata



Fuente: Elaboración propia.

3.1. Regresión mediante Spatial Lag

Se detectó una asociación espacial significativa entre TBM por cáncer de próstata y las variables de *Porcentaje de Población de 60 años y más* (positiva, coeficiente de 1,2) y *Porcentaje de población de 3 años y más hablante en lengua indígena* (negativa, coeficiente -0,217). En cambio, con las variables socioeconómica y de acceso a servicios de salud, *Porcentaje de población en situación de pobreza en 2020* y *Población sin acceso a servicios de salud*, no se encontró una asociación espacial significativa. Todo ello indica que los valores elevados de TBM se relacionan con porcentajes elevados de población envejecida y bajo porcentaje de población indígena. Los niveles de pobreza y el acceso a servicios de salud no parecen tener repercusión en la mortalidad por este tipo de cáncer.

Figura 1. Resultados de regresión espacial en GeoDa

```

>>04/06/22 01:30:23
REGRESSION
-----
SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL LAG MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION
Data set      : Artigo3
Spatial Weight : Artigo3
Dependent Variable : TAXT1319 Number of Observations: 189
Mean dependent var : 9.89946 Number of Variables : 6
S.D. dependent var : 4.61697 Degrees of Freedom : 183
Lag coeff. (Rho) : 0.00977555

R-squared      : 0.439122 Log likelihood      : -502.657
Sq. Correlation : - Akaike info criterion : 1017.31
Sigma-square   : 11.9559 Schwarz criterion  : 1036.76
S.E of regression : 3.45773

-----
Variable      Coefficient      Std.Error      z-value      Probability
-----
W_TAXT1319    0.00977555      0.0928285     0.105308     0.91613
CONSTANT      -2.42621        2.18671       -1.10952     0.26720
VELLJANC20    1.21473         0.128307      9.46738     0.00000
INDI          -0.216198       0.10246       -2.11008     0.03485
PSINDER_1    -0.00231835     0.0384237    -0.0603364   0.95189
POBR          -0.00583306     0.019963     -0.292194    0.77014
-----

REGRESSION DIAGNOSTICS
DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST          DF      VALUE      PROB
Breusch-Pagan test      4      36.9672    0.00000

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
SPATIAL LAG DEPENDENCE FOR WEIGHT MATRIX : Artigo3
TEST          DF      VALUE      PROB
Likelihood Ratio Test    1      0.0110    0.91644
===== END OF REPORT =====

```

Fuente: Elaboración propia.

En la MCM hay desiguales TBM por cáncer de próstata. Su distribución es desigual y no aleatoria, con agrupamientos espaciales de valores altos y bajos de TBM. Las tasas más altas y clusters de tipo Alto-Alto y Alto-Bajo aparecen en el centro (Ciudad de México), nordeste (Singuilucan y municipios entre la ZMVM y las ZM de Tulancingo y Pachuca), este (área entre Tlaxcala y Puebla) y sur de la MCM (ZM de Cuautla). Las TBM más bajas se encuentran al norte y este de la Ciudad de México y sobre todo al este de la MCM formando un clúster al norte del municipio de Puebla.

4. Discusión y conclusiones

El número de defunciones por cáncer de próstata en la MCM presentan una tendencia al alza en 2013-2020 y unas TBM ligeramente inferiores a la media nacional. El incremento de las defunciones por este cáncer no es exclusivo de la MCM ni de México. A escala regional se ha constatado en estudios como el realizado en Brasil para el estado de Sergipe en el periodo 2000-2015 (Passos et al 2018) o para Costa Rica en 1985-2016 (Murillo y González, 2020). Esta tendencia creciente es consecuente con los resultados del análisis de regresión y la relación positiva significativa de las TBM con el porcentaje de población mayor de 60 años, ya que la literatura indica una relación entre envejecimiento demográfico e incidencia y mortalidad por cáncer de próstata (Oliver et al, 2006; Robles et al, 2019; Murillo y González, 2020). En México el porcentaje de población masculina de 60 años y más se ha incrementado de 8,1% en 2010 a 11,4% en 2020 (INEGI, 2011; INEGI 2021b), tasa que en este año era del 11,95% en la MCM.

Las TBM en 2013-2020 fueron prácticamente idénticas en la MCM y el conjunto de México (11,6 y 11,7 por cien mil). En México las TBM por este cáncer son ligeramente inferiores a las de otros países latinoamericanos como Brasil (13,5 por cien mil en 2010), Argentina, Chile (en ambos de un 14,5), Costa Rica (cerca de 17) y sobre todo de Cuba (22,6 por cien mil) (Bray y Piñeros, 2016). Tanto en México, como en Cuba, Brasil o Costa Rica, la tendencia en mortalidad es de crecimiento a lo largo de la primera década del siglo, a modo de comparación, en España y Estados Unidos de América, a pesar de su mayor envejecimiento, las TBM descienden desde mediados y principios de los 1990 respectivamente, situándose a inicios de la segunda década del siglo en torno al 10 por cien mil (Bray y Piñeros, 2016). Ello indica dos factores. Por una parte, el aumento de incidencia ante el envejecimiento demográfico y de forma paralela un mejor tratamiento y diagnóstico precoz por los sistemas sanitarios (Cayuela et al, 2008).

Siendo un análisis a escala regional, es fundamental indicar que en la MCM las TBM tienen una distribución variable, con áreas concretas con TBM realmente bajas (inferiores a 5 o 6 por cien mil). Estas zonas con tasas bajas se concentran en ciertas áreas conurbadas periféricas de algunas de las zonas metropolitanas: al norte y este de la Ciudad de México (Zumpango, Cuautitlán, Acolmán, Tizayuca, Huehuetoca e Ixtapaluca, Chalco, Valle de Chalco Solidaridad y Chicoloapan respectivamente), al norte de Puebla, sudoeste de Toluca (Zinacantepec) y este de Pachuca (Mineral de Reforma). Estas zonas tienen la peculiaridad de contar con porcentajes elevados de población joven (menor de 15 años) y un bajo envejecimiento, para el caso del norte de la Ciudad de México existe el factor añadido de un porcentaje de población llegado de fuera de la entidad en los últimos 5 años (es decir, presencia de una afluencia de inmigración).

En lo tocante a las TBM más elevadas, se observan dos situaciones. De un lado, municipios y alcaldías (en Ciudad de México) urbanizadas de las diferentes zonas metropolitanas: Ciudad de México, Cuernavaca, Cautla, Puebla, Tlaxcala y Tula (con las excepciones de Toluca-Metepec en el oeste y de Tulancingo en el nordeste) y

en ciertas áreas periféricas poco urbanizadas y no conurbadas en el norte de la MCM entre las zonas metropolitanas septentrionales de Tula, Pachuca, Tulancingo, y municipios al norte de la Zona Metropolitana del Valle de México (municipios con tasas excepcionalmente elevadas como Singuilucan, Mineral del Monte, Temascalapa o San Agustín del Monte)

Una vez determinado el patrón espacial por medio de la cartografía, con el IGM se confirmó que las TBM no tienen una distribución aleatoria, tendiendo a agruparse en áreas de la MCM con valores elevados y bajos. En la cartografía del IALM se plasmaron los diferentes clústeres, confirmando geoestadísticamente el patrón espacial de centros metropolitanos y área suburbana al norte de la zona de estudio con 2 clústeres de valores altos en la Ciudad de México y Singuilucan respectivamente, y un gran clúster de TBM bajas en el este de la MCM (entre Puebla y Tlaxcala). La heterogeneidad espacial de valores de TBM y clústeres de este tipo de cáncer en una escala geográfica similar aparece en trabajos de análisis espacial como los del estado brasileño de Sergipe (Passos et al 2018), Costa Rica (que tiene algo más de 50 mil km²) 1985-2016 (Murillo y González, 2020) o para el estado de Pennsylvania para 2004-2014 (Wang et al, 2020). En los estudios con carácter espacial sobre el cáncer de próstata se detecta heterogeneidad espacial en las tasas, pero no una clara correlación o dicotomía entre zonas urbanas y rurales, aun cuando en el caso de Pennsylvania y sobre todo de Sergipe se determinó que las áreas de riesgo son las alejadas de la capital y zona metropolitana de Aracaju y en las zonas rurales, respectivamente. En ambos estudios se considera que, las causas de esa diferencia en las tasas, radica en el acceso a servicios e instalaciones de salud. No obstante, en nuestro estudio, no se encontró una relación significativa con ese factor. En la MCM el clúster de valores altos de mortalidad más importante es en la Ciudad de México, coincidentemente, es donde el porcentaje de población sin acceso a seguro de salud es menor. De manera parecida a la MCM, en el estudio de Costa Rica se averiguó que las zonas de mayor riesgo son en cantones urbanos y secundariamente también en algunos rurales (Murillo y González, 2020).

Los especialistas indican una amplia gama de factores que afectan en la incidencia y mortalidad por cáncer de próstata en los varones, son factores como los hábitos de vida (ejercicio y actividad física, consumo de tabaco o alcohol, alimentación), la edad, raza o nacionalidad, genética y, ante todo, una serie de factores hormonales (García-Perdomo et al, 2018). En los estudios de epidemiología espacial la mayor limitante es la disponibilidad de datos. Datos a nivel de desagregación municipal en México de los mencionados factores se limitan a envejecimiento, la raza/nacionalidad, acceso a servicios de salud y pobreza. Se encontró una relación significativa positiva con el envejecimiento demográfico y negativa con la población de habla indígena. Sorprendentemente no se halló relación espacial significativa con la derechohabencia en servicios de salud ni con la situación de pobreza. Los desequilibrios según raza/nacionalidad están bien constatados en la literatura (Fletcher et al, 2020), aun cuando a nivel regional-estatal ciertos trabajos no han detectado diferencias, como en el caso de la Georgia estadounidense (Aheto, Utuama y Dagne, 2021). En México la

población indígena cuenta con una condición socioeconómica comparativamente desfavorable y una estructura demográfica diferenciada. También presentan una afectación diferenciada por tipos de enfermedad. por ejemplo, con una mayor incidencia y mortalidad por diabetes mellitus (Buichia et al, 2020).

De igual forma, en México hay escasa investigación sobre factores de riesgo, incidencia y mortalidad por neoplasia de próstata entre los varones indígenas, centrándose los estudios en la población urbana mestiza (Sánchez et al, 2021). La relación negativa entre porcentaje de población indígena y TBM por cáncer en la MCM puede deberse a la estructura por edades y hábitos de vida, o incluso a infra-diagnóstico de la enfermedad. En el único clúster significativo de valores bajos de mortalidad es una de las zonas de la MCM con presencia significativa de población indígena (como es el caso de los municipios al norte de Puebla).

En la MCM las zonas de mayor riesgo por mortalidad de cáncer de próstata es en los municipios centrales y contiguos metropolitanos, lo cual parece venir determinado en buena medida a tenor de los resultados del análisis de regresión por la estructura por edades de la población (el mayor envejecimiento se da en los municipios centrales metropolitanos y de forma secundaria en algunas zonas suburbanas)

En cambio, el clúster de TBM altas en el norte y nordeste de la MCM parece deberse a factores ambientales más que demográficos o socioeconómicos, municipios como Singuilucan, Axapusco, Zempoala o Acatlán, con importantes problemas en la calidad del agua (Montelongo et al, 2008) y del aire (Hernández, 2020), en este área del NE las TBM por cáncer de tiroides y de mama en varones muestran valores anormalmente elevados. En esta área del nordeste de la MCM es probable que localmente exista una relación positiva entre las tasas de mortalidad elevadas y factores socioeconómicos. Por ello, sería necesario en una futura investigación aplicar el Índice Bivariado Local de Moran para determinarlo, ya que en esas zonas precisamente, hay niveles de pobreza y sin seguro sanitario elevadas para el contexto de la MCM.

Hay que destacar la escasez relativa de estudios con enfoque espacial y geográfico sobre la mortalidad por cáncer de próstata tanto a escala nacional como regional, que contrasta con la abundancia de trabajos sobre otros tipos de neoplasia como en cáncer de mama (Azevedo et al. 2019; Jaramillo et al. 2020; Ramos-Herrera et al. 2020). La neoplasia de próstata es una patología con tendencia al alza en incidencia, y a pesar de un descenso en las TBM en países europeos y en Norteamérica, en países como México y otros latinoamericanos se presente como un riesgo sanitario de primera magnitud.

Así pues, y teniendo en cuenta el progresivo envejecimiento demográfico que experimenta México, y la relación causal de este fenómeno en la incidencia y como hemos demostrado para la MCM, en la mortalidad, es de suma importancia la toma de medidas por parte de las autoridades sanitarias y gubernamentales en materia de planes de acción a escala local o regional, tales como políticas de diagnóstico temprano y concienciación, tal y como se realiza en ciertos estados en el caso del cáncer de mama. Una mayor diversidad de estudios desde la geografía y epidemiología espacial para otros espacios regionales puede ayudar a comprender el

comportamiento de esta enfermedad y facilitar una mejor aproximación pública al tratamiento de la misma.

5. Bibliografía

- Aheto, J.M.K., Utuama, O.A. y Dagne, G.A. (2021): Geospatial analysis, web-based mapping and determinants of prostate cancer incidence in Georgia counties: evidence from the 2012–2016 SEER data. *BMC Cancer* 21, 508 (2021). <https://doi.org/10.1186/s12885-021-08254-0>
- Azevedo, P. R. M., Rocha, J. B., Fernandes, T. A. A. de M., y Fernandes, J. V. (2019): Analysis of cervical cancer mortality rate trends in Natal-RN, Brazil, between 2000 and 2012. *Revista de Salud Pública*, 21(2), 161–167. <https://doi.org/10.15446/rsap.v21n2.68893>
- Báez Benavides P, Armisén Yañez R. (2012): Actualización en cáncer de próstata: generalidades y diagnóstico. *Med. Lab.* [Internet]. Vol. 18 Núm. 7-8 (2012)1 de julio de 2012 [citado 28 de marzo de 2022];18(7-8):333-54. Disponible en: <https://medicinaylaboratorio.com/index.php/myl/article/view/293>
- Baller, R., Anselin, L., Messner, S., Deane, G. y Hawkins, D. (2001): Structural Covariates of U.S. County Homicide Rates, *Criminology*, [en línea], Ohio, American Society of Criminology, 39, pp. 561-588, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-9125.2001.tb00933.x>
- Bray, F., y Piñeros, M. (2016): Cancer patterns, trends and projections in Latin America and the Caribbean: a global context. *Salud Pública de México*, 58(2), 104-117. Recuperado en 07 de abril de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342016000200104&lng=es&tlng=
- Buichia S., Félix G., Dórame López, N.A., Miranda Félix, P.E., Castro Juárez, A.A. y Esparza Romero, J. (2020): Prevalencia y factores asociados a diabetes mellitus tipo 2 en población indígena de México: revisión sistemática, *Revista Médica del Instituto Mexicano de Seguridad Social*, [en línea], Ciudad de México, IMSS, 58(3), pp. 317-327, doi: 10.24875/RMIMSS.M20000036
- Cayuela, A., Rodríguez-Domínguez, S., Vigil Martín, E., y Barrero Candau, R. (2008): Cambios recientes en la mortalidad por cáncer de próstata en España: estudio de tendencias en el período 1991-2005. *Actas Urológicas Españolas*, 32(2), 184-189. Recuperado en 07 de abril de 2022, de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0210-48062008000200005&lng=es&tlng=es.
- Cobalchini, G., Oliveira, M., Teixeira, R., Malta, D., Naghavi, M. y Iser, B. (2022): Prostate cancer mortality in Brazil 1990-2019: geographical distribution and trends. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*. 55. 10.1590/0037-8682-0277-2021.
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social) (2015), Anexo estadístico de pobreza a nivel municipio 2010 y 2015. Anexo estadístico 2010 y 2015. Ciudad de México, CONEVAL, <

- https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/AE_pobreza_municipal.aspx>, 31 de marzo 2022.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (15/07/1996). Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, México.
- Fletcher, S. A., Marchese, M., Cole, A. P., Mahal, B. A., Friedlander, D. F., Krimphove, M., Kilbridge, K. L., Lipsitz, S. R., Nguyen, P. L., Choueiri, T. K., Kibel, A. S., y Trinh, Q. D. (2020): Geographic Distribution of Racial Differences in Prostate Cancer Mortality. *JAMA network open*, 3(3), e201839. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.1839>
- García-Perdomo, H.A., Zapata-Copete, J.A., y Sánchez, A. (2018): Una mirada global y actualizada del cáncer de próstata. *Revista de la Facultad de Medicina*, 66(3), 429-437. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n3.65770>
- Fletcher, S. A., Marchese, M., Cole, A. P., Mahal, B. A., Friedlander, D. F., Krimphove, M., Kilbridge, K. L., Lipsitz, S. R., Nguyen, P. L., Choueiri, T. K., Kibel, A. S., & Trinh, Q. D. (2020): Geographic Distribution of Racial Differences in Prostate Cancer Mortality. *JAMA network open*, 3(3), e201839. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.1839>
- Klassen, A. C., y Platz, E. A. (2006): What can geography tell us about prostate cancer?. *American journal of preventive medicine*, 30(2 Suppl), S7-S15. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2005.09.004>
- Hernández-Hernández, V., (2015): Análisis geoespacial de las elecciones presidenciales en México, 2012, en *EURE*, vol.41, núm.122, Santiago de Chile.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2011). Censo de población y vivienda 2010, Ciudad de México, México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2021a) Comunicado de prensa número 105/21 de 4 de febrero de 2021. Estadísticas a propósito del día munda contra el cáncer (4 de febrero) Robles Rodríguez, Alfredo, Garibay Huarte, Tania Rocío, Acosta Arreguín, Eduardo, & Morales López, Sara. (2019). La próstata: generalidades y patologías más frecuentes. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 62(4), 41-54. Epub 16 de octubre de 2020. <https://doi.org/10.22201/fm.24484865e.2019.62.4.07>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2021b), 'Censo de población y vivienda 2020', Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Ciudad de México, <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2021c), Defunciones registradas (mortalidad general). Consultado en <https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/Proyectos/bd/continuas/mortalidad/MortalidadGeneral.asp>
- Hernández Arellano, M. (2020): Percepción social del riesgo por contaminación ambiental a causa de las cementeras y caleras, en Atotonilco de Tula, Hidalgo y Apaxco, Estado de México [Tesis de Licenciatura] Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma del Estado de México. URI: <http://hdl.handle.net/20.500.11799/109418>
- Iser, D. A., Cobalchini, G. R., Oliveira, M. M., Teixeira, R., Malta, D. C., Naghavi, M., y Iser, B. (2022). Prostate cancer mortality in Brazil 1990-2019: geographical distribution and trends. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 55(suppl 1), e0277. <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0277-2021>
- Jaramillo, L., Galindo, M., Real, J., González, J., Idrovo, S. (2020). Clúster espacial de mortalidad por cáncer de mama en

- Ecuador. *Journal of Health and Medical Sciences*, 6 (1) 29-36, 2020. <http://www.estadisticas.med.ec/Publicaciones/JOHAMSC-61-29-36-2020-PI-15-03-1-1.pdf>.
- Mather, F. J., Chen, V. W., Morgan, L. H., Correa, C. N., Shaffer, J. G., Srivastav, S. K., Rice, J. C., Blount, G., Swalm, C. M., Wu, X., & Scribner, R. A. (2006): Hierarchical modeling and other spatial analyses in prostate cancer incidence data. *American journal of preventive medicine*, 30(2 Suppl), S88–S100. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2005.09.012>
- Martonne, E. (1973): *Tratado de Geografía Física. Tomo I. Nociones Generales - Clima – Hidrografía*. Barcelona, Editorial Juventud.
- Mohammed Al-Hashimi, M. (2021): Spatial analysis of prostate cancer incidence in Iraq during 2000-2015. *Malaysian Journal of Public Health Medicine*, 21(1), 72-80. <https://doi.org/10.37268/mjphm/vol.21/no.1/art.584>
- Montelongo, C., Martínez, A., Otazo-Sánchez, E., Villagómez, R., Acevedo, O. y García, F. (2008): Modeling of the quality of water of river tula, state of Hidalgo, Mexico. *Dyna (Medellin, Colombia)*. 75. 5-18.
- Murillo González, A., González Méndez, M., (2020): Análisis espacial y temporal de la incidencia y mortalidad por cáncer de próstata y su relación con el acceso geográfico a los servicios de salud por cantón en Costa Rica, 1985 a 2016 [Trabajo final de graduación para optar por el título de licenciatura Geografía bajo la modalidad de Investigación Dirigida (tesis)]. Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica. URI <https://hdl.handle.net/10669/83153>
- Oliver, M. N., Smith, E., Siadaty, M., Hauck, F. R., & Pickle, L. W. (2006): Spatial analysis of prostate cancer incidence and race in Virginia, 1990-1999. *American journal of preventive medicine*, 30(2 Suppl), S67–S76. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2005.09.008>
- OPS (Organización Panamericana de la Salud) (2003): *Clasificación estadística internacional de enfermedades y problemas relacionados con la salud*. 10a. revisión. OPS, 3 v. (Publicación Científica; 554), 2003
- Passos, J.A., Souza, D., Andrade, L., da Cunha, J., Kameo, S., Goes, M., Menezes, A., Nunes, M., Araújo, K. y Santos, A. (2018): Trend and spatial analysis of prostate cancer mortality in the state of Sergipe, Brazil. *Geospatial Health*. 13. 10.4081/gh.2018.732.
- Pina, MdF., Ferreira Alves, S., Correia Ribeiro, A.I. y Castro Olhero, A. (2010): *Epidemiología espacial: nuevos enfoques para viejas preguntas*, Universitas Odontológica, Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana, 29, 63, pp. 47-65, < <https://www.redalyc.org/pdf/2312/231216366007.pdf>>, 31 de marzo de 2022.
- Ramos-Herrera, I.M., Reyna-Sevilla, A., González Castañeda, M.E., Robles-Pastrana, J.D., Herrera-Echauri, D.D., y González-Rivera, C.A. (2020): Cáncer de mama en Jalisco. Análisis espacial de la mortalidad en 2010-2017. *Gaceta. Médica Mexicana* 2020, vol.156, n.6, pp.542-548. doi: <https://doi.org/10.24875/gmm.20005546>.
- Sánchez Sánchez, K., Cruz Sánchez, M., Rivas Acuña, V., y Pérez Chan, M. (2021): Prevalencia de factores de riesgo y sintomatología prostática en indígenas de Tabasco. *Revista Cuidarte*, 12(2), 6-10. doi:<http://dx.doi.org/10.15649/cuidarte.1264>

- Vilinová K. (2020): Spatial Autocorrelation of Breast and Prostate Cancer in Slovakia. *International journal of environmental research and public health*, 17(12), 4440. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124440>
- Wang, M., Wasserman, E., Geyer, N., Carroll, R. M., Zhao, S., Zhang, L., Hohl, R., Lengerich, E. J., & McDonald, A. C. (2020): Spatial patterns in prostate Cancer-specific mortality in Pennsylvania using Pennsylvania Cancer registry data, 2004-2014. *BMC cancer*, 20(1), 394. <https://doi.org/10.1186/s12885-020-06902-5>.