

## Análisis espacial de sobrepeso, obesidad y factores de riesgo cardiometabólico en San Luis Potosí, México

Rogelio Santana-Arias<sup>1</sup>, Mariela Vega-Cárdenas<sup>2</sup>, Marisol Vidal-Batres<sup>3</sup>, Juan Manuel Vargas-Morales<sup>4</sup>, Margarita Terán-García<sup>5</sup>, Celia Aradillas-García<sup>6</sup>, Patricia Elizabeth Cossío-Torres<sup>7\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, SLP, México. <sup>2</sup>Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, SLP, México. <sup>3</sup>School of Human Nutrition, McGill University, Montreal, Québec, Canada. <sup>4</sup>Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, SLP, México. <sup>5</sup>Human Development and Family Studies, Division of Nutritional Sciences, Cooperative Extension, Carle-Illinois College of Medicine, University of Illinois at Urbana-Champaign, IL, US. <sup>6</sup>Centro de Investigación Aplicada en Ambiente y Salud; CIACYT/Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, SLP, México. <sup>7</sup>Departamento de Salud Pública y Ciencias Médicas, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. S.L.P. México.

### ABSTRACT

#### Spatial analysis of overweight, obesity, and cardiometabolic risk factors in San Luis Potosi, Mexico.

**Introduction.** Obesogenic environment significantly contributes to concentration of obesity prevalence in specific regions. However, the spatial distribution of overweight, obesity and other cardiometabolic risk factors (CMR) in young adults has not been fully elucidated.

**Objective.** To study the first and second order spatial properties of points of overweight, obesity and other CMR factors in the Metropolitan Zone of San Luis Potosí (ZMSLP), Mexico.

**Material and Methods.** Analytical cross-sectional study with 13,985 participants aged 18 to 24 years. The spatial distribution of points and density mapping in the ZMSLP were characterized including overweight, obesity and other CMR factors such as altered systolic and diastolic blood pressure (BP), prediabetes, increased total cholesterol and triglycerides.

**Results.** There is considerable spatial heterogeneity in overweight and obesity rates, which depend more spatially for men than for women. The spatial pattern of other CMR factors such as altered levels of systolic and diastolic BP, glucose, total cholesterol and triglycerides is random.

**Conclusion.** Spatial analysis allows us to understand the behavior of obesity and other CMR factors from a regional perspective, identifying areas that require prioritizing actions.

### RESUMEN

**Introducción.** El acceso a los ambientes obeso-génicos contribuye a la concentración de la prevalencia de la obesidad en regiones específicas. Sin embargo, su distribución espacial en conjunto con otros factores de

#### Historial del artículo

Recibido: 24 abr 2024

Aceptado: 6 sep 2024

Disponible en línea: 1 ene 2025

#### Palabras clave

Riesgo cardiometabólico, densidad de Kernel, K de Ripley, distribución espacial, salud pública

#### Keywords

Cardiometabolic risk, Kernel density, Ripley's K, space distribution, public health

Copyright © 2025 por autores y Revista Biomédica.

Este trabajo está licenciado bajo las atribuciones de la *Creative Commons* (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

\*Autor para correspondencia:

Patricia Elizabeth Cossío-Torres, Departamento de Salud Pública y Ciencias Médicas, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Venustiano Carranza 2405, Lomas los Filtros, 78210 San Luis, S.L.P. México.

Teléfono: 444 8262342

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7626-8949>

E-mail: [patricia.cossio@uaslp.mx](mailto:patricia.cossio@uaslp.mx)

<https://revistabiomedica.mx>.

riesgo cardiometabólico (RCM) en adultos jóvenes, no ha sido estudiada en detalle.

**Objetivo.** Estudiar las propiedades espaciales de primero y segundo orden de puntos de sobrepeso, obesidad y otros factores de RCM en la zona metropolitana de San Luis Potosí (ZMSLP), México.

**Material y métodos.** Estudio transversal analítico con 13,985 participantes de 18 a 24 años de edad. Se caracterizó la distribución espacial de puntos y se elaboró la cartografía de su densidad en la ZMSLP en función de sobrepeso, obesidad y otros factores de RCM como presión arterial (PA) sistólica y diastólica alteradas, prediabetes, colesterol total y triglicéridos incrementados.

**Resultados.** Existe una considerable heterogeneidad espacial en las tasas de sobrepeso y obesidad, las cuales dependen más espacialmente para los hombres que para las mujeres. El patrón espacial de otros factores de RCM como niveles alterados de PA sistólica y diastólica, glucosa, colesterol total y triglicéridos es aleatorio.

**Conclusión.** El análisis espacial permite conocer el comportamiento de la obesidad y otros factores del RCM desde una perspectiva regional, identificando zonas donde se requiere priorizar acciones.

## INTRODUCCIÓN

El aumento en la prevalencia de obesidad está planteando serios problemas de salud tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. Actualmente, el 20% de la población de casi todos los países tiene sobrepeso u obesidad (1, 2). En México, se ha documentado que en el periodo de 2000 a 2018 la prevalencia de obesidad aumentó un 42.2%, esto se registró en la mayoría de los estados en México, muy especialmente, en las localidades urbanas (3).

La obesidad se relaciona con dislipidemia, presión arterial elevada y alteración de los niveles de glucosa, entre otros factores de RCM conocidos(4). El RCM se refiere a aquellos factores de riesgo que aumentan la probabilidad de sufrir eventos vasculares o desarrollar diabetes, y que son considerados los componentes del síndrome metabólico (SMet) (5). La prevalencia de SMet en

adultos mexicanos, al usar los criterios diagnósticos del National Cholesterol Education Program (NCEP, por sus siglas en inglés) Adult Treatment Panel III (ATP-III, por sus siglas en inglés) (6) y los criterios armonizados de la Internacional Diabetes Federación (IDF, por sus siglas en inglés) (7), fue de 44.4 y 56.31%, respectivamente. Debido a las repercusiones para el desarrollo social y económico de la obesidad y sus factores de RCM asociados, es fundamental generar políticas públicas enfocadas a la prevención y al tratamiento oportuno; haciendo necesaria la elaboración de diagnósticos situacionales que fundamenten dichas políticas públicas. El análisis espacial es una herramienta invaluable para comprender de mejor manera la magnitud de estos problemas a nivel regional.

Hay un evidente aumento en el número de estudios que sugieren asociaciones entre la obesidad y características espaciales, como de comunidades o vecindarios de áreas pequeñas (8, 9). La obesidad presenta una distribución espacial no homogénea, caracterizada por su concentración en regiones específicas de distintos países (10, 11). Comprender las características espaciales de la obesidad es fundamental para comprender su etiología; lo que permitirá el diseño de intervenciones basadas en evidencia.

Los análisis de la obesidad basados en el lugar, a una escala geográfica lo suficientemente fina ofrecen nuevos conocimientos sobre los determinantes sociales, económicos y ambientales de la salud (12). Las propiedades espaciales de primer orden miden la distribución de puntos usando el número de puntos por unidad de superficie; las propiedades de segundo orden miden el tipo e intensidad de la interacción entre puntos (13–15).

El primer paso al analizar un proceso espacial de puntos es contrastar la hipótesis de distribución espacial aleatoria (CSR, siglas en inglés de complete spatial randomness) (16). En una CSR todos los puntos tienen la misma probabilidad de ocurrir y la presencia de un punto en una cierta localización no afecta las probabilidades de ocurrencia de otros puntos. La función K de Ripley compara el número acumulado de puntos en bandas consecutivas de

distancia de una distribución espacial observada, para obtener el acumulado de puntos en las mismas bandas de distancia de una CSR teórica (17).

Cuando una determinada distancia en el número de puntos acumulados en la función K observada es significativamente mayor a la función K teórica aleatoria, la distribución de puntos observada sigue un patrón agrupado a esa distancia. Si las diferencias entre las distancias de la K observada y la teórica aleatoria no son significativas, la distribución de puntos observada sigue un patrón espacial aleatorio (15).

En el estudio de salud, el uso de herramientas espaciales es de utilidad para la representación de concentraciones de contaminantes (18) de incidencia de personas con cáncer (19) o enfermedades infecciosas (20). La función de densidad de Kernel es una técnica para transformar datos de puntos en un mapa de superficie de densidad continua mediante el cual la densidad de una entidad puede estimarse para cualquier punto de la superficie (18).

Recientemente, se reportó que los patrones de distribución espacial de obesidad en adultos se concentran en municipios de la península de Yucatán y de una extensa franja del norte del país, donde la accesibilidad a mercados urbanos de alimentos no saludables contribuye al aumento en la prevalencia de obesidad (21).

El objetivo de este trabajo fue estudiar las propiedades espaciales de primero y segundo orden de los puntos de RCM en la ZMSLP caracterizando los patrones espaciales de puntos y mediante la cartografía de la densidad, lo que permitirá dimensionar la magnitud del problema a nivel espacial y así facilitar la toma de decisiones en el ámbito de programas de prevención y control de la obesidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Participantes

Los datos se recabaron como parte del estudio multidisciplinario colaborativo "UP AMIGOS" (Universities of San Luis Potosí and Illinois: A Multidisciplinary Investigation on Genetics,

Obesity, and Social Environment). El estudio incluyó la recopilación anual de datos de los aspirantes a nuevo ingreso de una universidad pública, tomados en el Centro de Salud Universitario.

El estudio fue aprobado por el Comité de Bioética e Investigación del gobierno del estado de San Luis Potosí, con número de registro SLP/012/2010, así como por las Juntas de Revisión Institucional, los participantes dieron su consentimiento por escrito para que los datos se usaran con fines de investigación.

Se recolectaron datos de 13,985 participantes de 18 a 24 años, durante los meses de febrero y julio de los años 2008, 2009 y 2010.

Se realizó un examen clínico por aparatos y sistemas a cada participante el cual constaba de: a) mediciones antropométricas: peso y talla, b) mediciones clínicas: presión arterial y c) toma de muestra sanguínea con ayuno de 12 horas para determinar parámetros bioquímicos: glucosa en ayuno y perfil lipídico; como se describió previamente (22, 23).

A partir de las mediciones de peso y talla se determinó el índice de masa corporal IMC. Se utilizó la clasificación propuesta por la Organización Mundial de la Salud: desnutrición ( $\leq 18.5 \text{ kg/m}^2$ ), IMC normal ( $18.5\text{--}24.9 \text{ kg/m}^2$ ), sobrepeso ( $25.0\text{--}29.9 \text{ kg/m}^2$ ) y obesidad ( $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ ).

### Definición de los factores de riesgo cardiometabólico

Para la clasificación de los niveles de PA se utilizó la guía propuesta por el American College of Cardiology, la American Heart Association y otras instituciones relacionadas. Se definió como PA sistólica (PAS) normal ( $<120 \text{ mmHg}$ ), PAS elevada ( $120\text{--}129 \text{ mmHg}$ ), PAS hipertensión ( $>130 \text{ mmHg}$ ); PA diastólica (PAD) normal ( $<80 \text{ mmHg}$ ) y PAD hipertensión ( $>80 \text{ mmHg}$ ) (24).

La glucosa alterada en ayunas se definió como prediabetes cuando el nivel de glucosa se encontraba entre 100 y 125 mg/dl, de acuerdo con los criterios diagnósticos de la American Diabetes Association (ADA, por sus siglas en inglés) (25). Finalmente, se definió como colesterol total (CT) elevado un valor

igual o superior 200 mg/dl y como triglicéridos (TAG) elevados un valor superior o igual a 150 mg/dl (5, 26).

### Área de estudio y caracterización de los patrones de los puntos de RCM

La ZMSLP conformada por las áreas urbanas y periurbanas de los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez, ubicados en la región centro del estado de San Luis Potosí, México (Figura 1). Esta zona cuenta con 1,345,433 habitantes según el Censo de Población y Vivienda 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, lo que representa el 49.5% de la población del estado.



**Figura 1.** Localización de la zona metropolitana de San Luis Potosí (a), estado de San Luis Potosí (b) y México (c). Fuente: Elaboración propia.

Se georreferenciaron los puntos de RCM a partir del domicilio de los participantes. Se obtuvieron las coordenadas geográficas con un total de 13,985 puntos para la ZMSLP y se dividió por sexo masculino y femenino, con 6,803 y 7,182 participantes respectivamente. Se proyectaron las

coordenadas geográficas a Cónica Conforme de Lambert de Norte América, con el Datum Nad27. Se caracterizó la distribución espacial de los puntos de RCM de la ZMSLP en función del IMC sobrepeso, obesidad, PAS elevada e hipertensión, PAD elevada e hipertensión, prediabetes, CT elevado y TAG elevados.

Para comprobar los supuestos de homogeneidad e isotropía, se dividió la ZMSLP en cuadrículas de 500 x 500 metros y se contaron los puntos por IMC, glucosa, PAD, PAS, CT y TAG alterados. La cantidad de los puntos de RCM se comparó con el número de eventos esperados bajo el supuesto de homogeneidad, mediante la prueba de Chi cuadrada. Las pruebas de Chi cuadrada determinaron que los patrones de puntos no cumplían con estacionariedad e isotropía, por lo que se procedió a aplicar la función K de Ripley para patrones de intensidad heterogénea. Se determinaron los patrones regulares y patrones aleatorios y se utilizó la función de densidad de Kernel para generar los mapas regionalizados. Finalmente, se empleó la fórmula de la regla general Silverman, en la cual se determinó que el ancho de banda para los puntos de RCM era de 400 metros en celdas de 60 m, siguiendo la metodología reportada anteriormente (27).

Los análisis se realizaron en el programa R Studio 3.6.1 usando las librerías; spatsat, sp, sf, nlme, rpart, rgeos, maptools y rgdal.

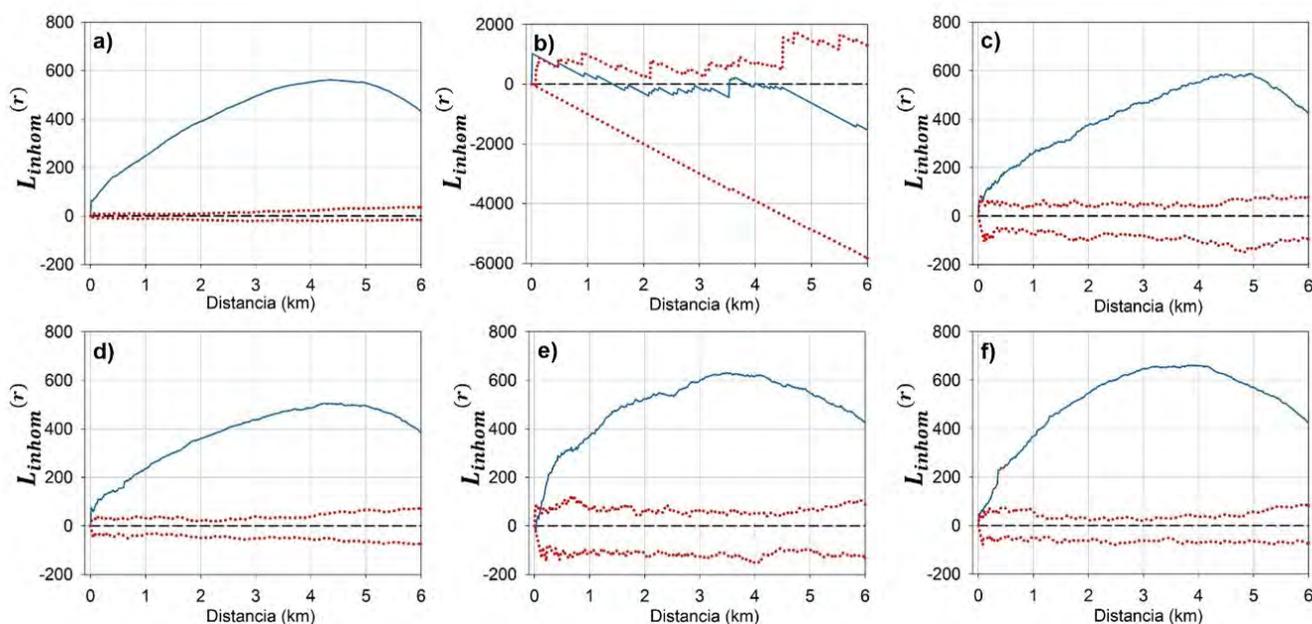
## RESULTADOS

### Patrones de los puntos de RCM

La naturaleza multiescalar de la función L heterogénea permitió detectar las distancias a las cuales los puntos de RCM exhiben patrones de distribución significativos. Para el sobrepeso y obesidad en hombres, los puntos se agrupan desde el inicio de las distancias simuladas hasta los 4 km y muestran aleatoriedad a 6 km (Figura 2a). En cuanto a los puntos de niveles alterados de glucosa al comienzo de las distancias simuladas (<0.3 km) se agrupan, pero a los 0.4 km el patrón observado (línea azul) queda en medio de los límites de confianza (líneas rojas punteadas), indicando

que la prediabetes no se agrupa, se distribuye de forma aleatoria (Figura 2b). En cuanto a los niveles alterados de PAS y PAD, se distribuyen de forma similar al sobrepeso y obesidad, con agrupaciones hasta los 4 km, y regularidad en los 6 km (Figura 2c, 2d). El CT elevado comienza por ser aleatorio (<0.3

km), pero se agrupa después de los 0.4 km, además, las regularidades a 1, 2.5 y a los 4 km, evidencian la multiescalaridad del CT (Figura 2e). Por último, los TAG elevados son los de mayor agrupación de puntos (e.g. valores altos de la función  $L_{inhom}$ ) entre los 3 y 4 km de distancia simulada (Figura 2f).

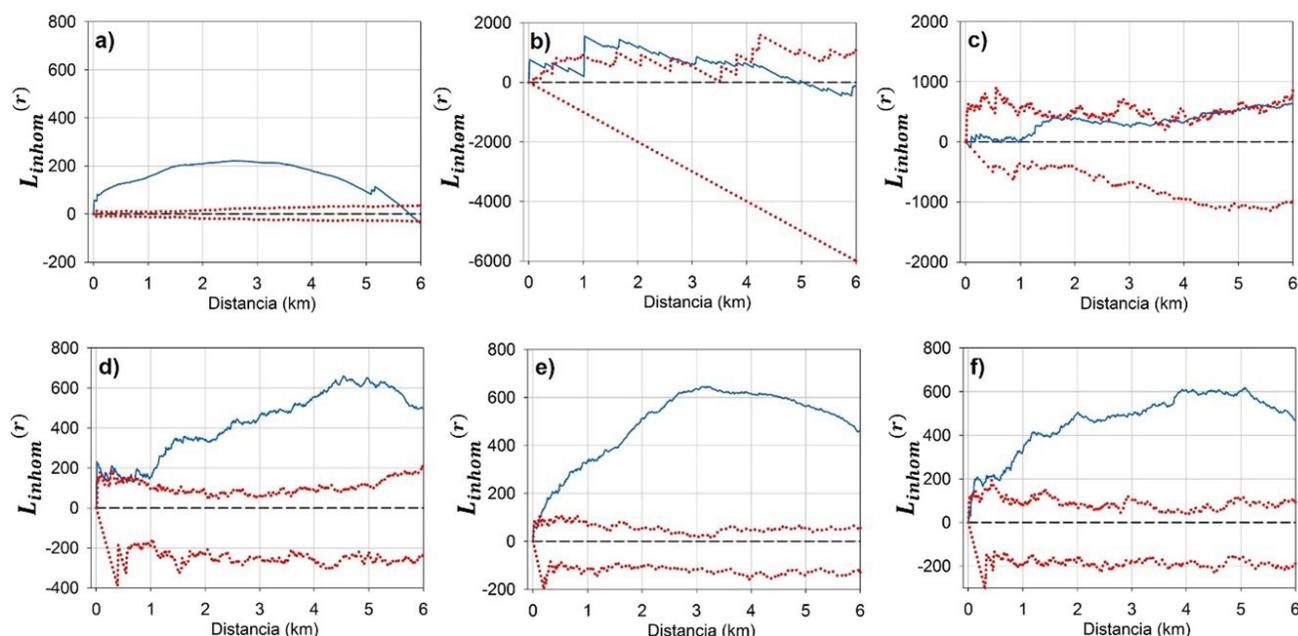


**Figura 2.** Representación de las distancias a las cuales los puntos de riesgo cardiometabólico en hombres exhiben patrones de distribución significativos para a) IMC (sobrepeso y obesidad); b) glucosa (prediabetes); c) presión arterial diastólica (PAD) elevada; d) presión arterial sistólica (PAS) elevada; e) colesterol total (CT) elevado; f) triglicéridos (TAG) elevados. La línea azul continua indica el patrón observado; la línea negra discontinua representa la distribución CSR; las líneas rojas punteadas son los límites de confianza de la distribución del CSR al 99%. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de las mujeres, el sobrepeso y obesidad se agrupan, pero en una menor intensidad que los hombres, además, a esta distancia mayor a los 5.5 km tienden a ser aleatorios (Figura 3a). En cuanto a prediabetes, el patrón está agrupado al comienzo de la distancia simulada (<0.5 km), pero pasan a ser aleatorios entre los 0.5–1 km, para agruparse nuevamente (1–4 km) y terminar entre los 4 y 6 km como aleatorios, lo anterior se puede apreciar cuando el patrón observado (línea azul), es superior (agrupados) o inferior (aleatorios) que los límites de confianza (líneas punteadas rojas) entre los 6 km de distancia simulada (Figura 3b). En la PAD elevada, (hipertensión) de acuerdo con la figura 3 se distribuye de forma aleatoria, a partir de los 4–6 km, los límites de confianza y el patrón observado

se encuentran cercanos, indicando variabilidad para determinar el patrón en esta distancia.

Dicha variabilidad se muestra en el primer kilómetro de PAS, pero mayor a esta distancia, se define la agrupación de esta variable (Figura 3d). La gráfica de los niveles de CT elevado, evidencia la agrupación de estos puntos, incluso de los de mayor intensidad a una distancia simulada a los 3 km, después existe una regularidad en el patrón observado hasta los 6 km (Figura 3e). Por último, respecto a la forma en que los puntos de niveles de TAG elevados se agrupan, la representación gráfica muestra picos de regularidad prácticamente cada kilómetro, lo que indicaría la multiescalaridad con la que se puede representar esta variable (Figura 3f).



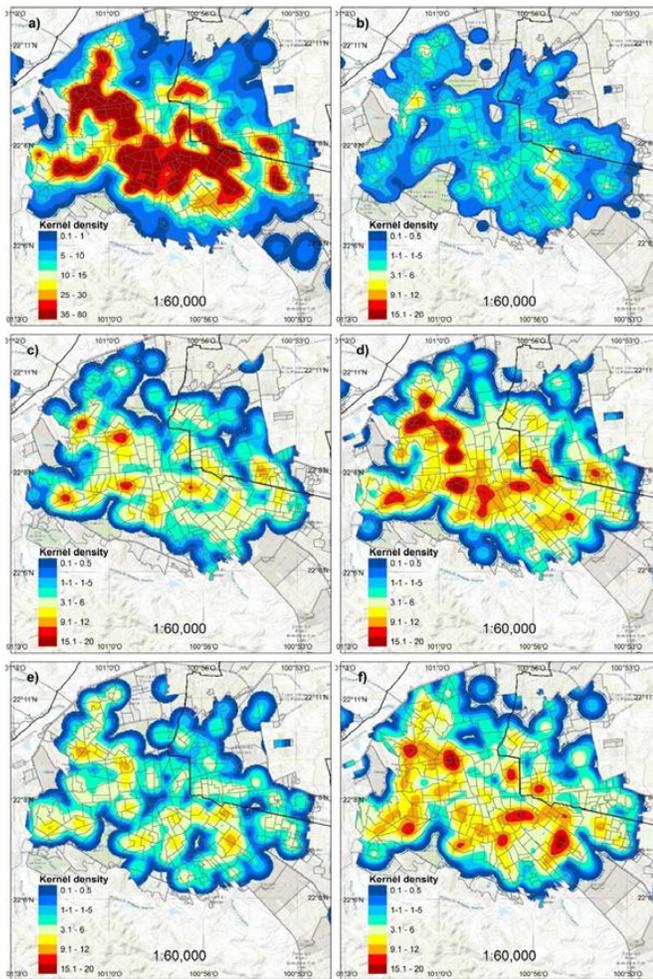
**Figura 3.** Representación de las distancias a las cuales los puntos de riesgo cardiometabólico en mujeres exhiben patrones de distribución significativos para a) IMC (sobrepeso y obesidad); b) glucosa (prediabetes); c) presión arterial diastólica (PAD) elevada; d) presión arterial sistólica (PAS) elevada; e) colesterol total (CT) elevado; f) triglicéridos (TAG) elevados. La línea azul continua indica el patrón observado; la línea negra discontinua representa la distribución CSR; las líneas rojas punteadas son los límites de confianza de la distribución del CSR al 99%. Fuente: Elaboración propia.

### Densidades de los puntos de RCM.

Las superficies de las densidades de los puntos se distribuyeron en diferentes partes del área de estudio de acuerdo con la variable a estudiar, incluso entre hombres y mujeres fueron distintos en cuanto a ubicación e intensidad. Primeramente, el sobrepeso y obesidad en hombres se dividió en densidades muy altas y bajas y se encontraron en el centro del área de estudio en dirección hacia el sur o al oeste. En cambio, las densidades muy bajas se ubicaron en la periferia del área de estudio (Figura 4a). La densidad de prediabetes, PAD, PAS, CT y TAG se mostró con valores de 0.1 a 20. La prediabetes fue la de menor densidad (media), y se presentó en el noroeste y al suroeste (Figura 4b). Sin embargo, con la PAD alterada, las densidades medias se localizaron en la mayoría de la superficie del área de estudio y se generaron los denominados puntos de calor o *hot spot* (áreas con mayor densidad) y se ubicaron al poniente de la ZMSLP (Figura 4c).

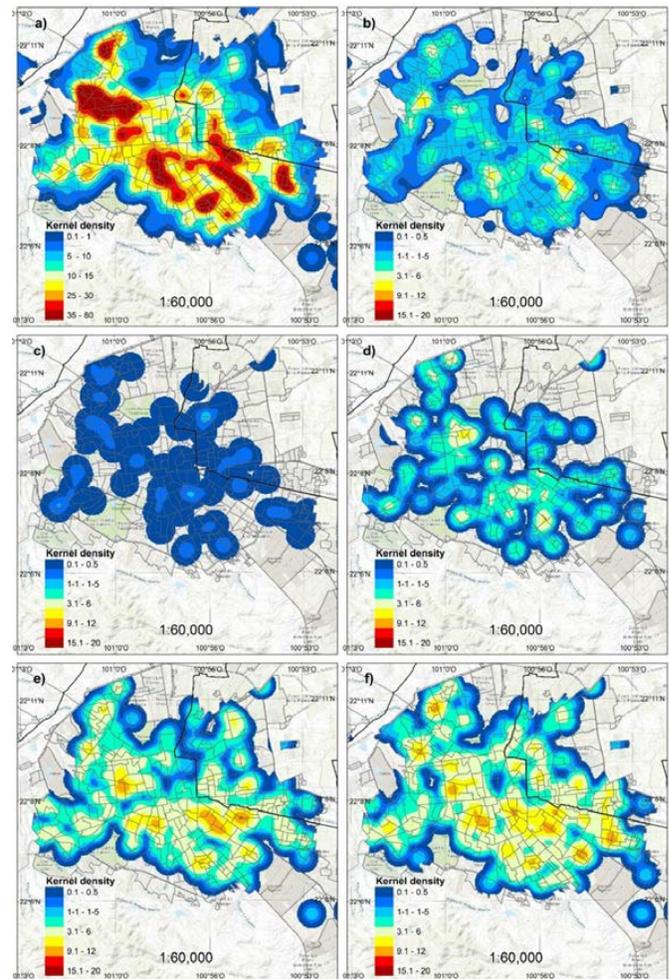
En la PAS alterada, las densidades se intensificaron y generaron áreas de densidad altas que se conectaron desde el noroeste hasta el centro-sur (Figura 4d). En cambio, con el CT, las densidades fueron medias, y se generaron puntos de calor en el oeste y sur (Figura 4e). Por último, los niveles de TAG incrementados se encontraron en puntos de calor desde el oeste hasta el sur de la ZMSLP (Figura 4f).

Por otro lado, las densidades de los puntos de RCM en mujeres fueron distintos en intensidad y ubicación. Las densidades de sobrepeso y obesidad se ubicaron en el noroeste y sur del área de estudio, en esta última área fue menos conglomerada que con los hombres (Figura 5a). La superficie de la prediabetes se cubrió con densidades bajas y muy bajas y resaltaron puntos medios en el sur y noroeste (Figura 5b). La PAD elevada fue la única con densidades muy bajas (Figura 5c). En cambio, la PAS elevada mostró densidades bajas y medias, pero no resaltaron zonas con puntos de calor (Figura 5d).



**Figura 4.** Mapa regionalizado de la densidad de puntos de riesgo cardiometabólico en hombres para a) IMC (sobrepeso y obesidad); b) glucosa (prediabetes); c) presión arterial diastólica (PAD) elevada; d) presión arterial sistólica (PAS) elevada; e) colesterol total (CT) elevado; f) triglicéridos (TAG) elevados. Se representa con el objetivo de destacar visualmente las áreas concéntricas de acuerdo con la ubicación e intensidad, donde la escala de distribución se identifica con el color azul como “muy bajas” y con el color rojo como “alta”. Fuente: Elaboración propia.

El CT elevado mostró densidades medias en la mayoría de la superficie del área de estudio. Pero resaltan densidades altas en el sur del área de estudio (Figura 5e). Los TAG elevados, al igual que el CT, generaron densidades medias. Sin embargo, los TAG elevados tuvieron más zonas con puntos de calor que se localizan desde el noroeste, hasta al sureste del área de estudio (Figura 5f).



**Figura 5.** Mapa regionalizado de la densidad de puntos de riesgo cardiometabólico en mujeres para a) IMC (sobrepeso y obesidad); b) glucosa (prediabetes); c) presión arterial diastólica (PAD) elevada; d) presión arterial sistólica (PAS) elevada; e) colesterol total (CT) elevado; f) triglicéridos (TAG) elevados. Se representa con el objetivo de destacar visualmente las áreas concéntricas de acuerdo con la ubicación e intensidad, donde la escala de distribución se identifica con el color azul como “muy bajas” y con el color rojo como “alta”. Fuente: Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

Este estudio representa el primero en su tipo al realizar un análisis espacial de las propiedades espaciales de primero y segundo orden de los puntos de sobrepeso, obesidad y otros factores de RCM en la ZMSLP. Dentro de nuestros principales hallazgos se encontró que los hombres presentaban mayores conglomeraciones de sobrepeso y obesidad que las

mujeres, principalmente en el centro la ZMSLP en dirección al sur y al oeste. Además, la prediabetes fue la variable con menor densidad en los hombres. En cuanto a las mujeres la única variable con densidades bajas fue la PAD y la PAS no resaltó zonas con puntos de calor. Asimismo, los mapas mostraron que la zona noroeste tenía mayores densidades de prediabetes tanto en hombres como en mujeres y en el caso de las mujeres los puntos de RCM se presentaron mayormente en la zona noroeste. La intensidad de agrupación fue diferente entre mujeres y hombres. Esta agrupación indica heterogeneidad en la ZMSLP, lo que provoca diferentes densidades de los factores de RCM, tal y como se evidencia en la cartografía elaborada. Sugiriendo que el RCM en población joven se agrupa en diferentes espacios de la ZMSLP probablemente conforme a ciertas características ambientales y socioeconómicas.

Los patrones de distribución espacial agrupados de los puntos de RCM coinciden con trabajos similares (28, 29). En estos estudios, también los patrones de agrupación aumentan conforme la distancia de análisis aumenta. Asimismo, se ha demostrado que los patrones de distribuciones espaciales son distintos entre hombres y mujeres (30).

Los patrones agrupados de RCM están relacionados con la heterogeneidad ambiental como el clima, el uso de la tierra, la densidad de población, el uso del suelo, factores culturales y socioeconómicos (31, 32). Nuestros resultados muestran que independientemente del sexo cada variable excepto la PAS tenía patrones de agrupación, por tanto, se podría suponer que existe heterogeneidad ambiental en la zona estudiada y en puntos vecinos.

Los mapas de densidad en salud pública permiten observar el RCM en un ángulo ortogonal, donde se pueden sobreponer variables ambientales y socioeconómicas, para analizar el espacio heterogéneo en el que se desarrollan los puntos de RCM e identificar las condiciones que deben prevalecer en el territorio, para que ocurran tanto densidades bajas como altas.

Esto se comprueba en otros trabajos donde relacionan espacialmente el riesgo cardiovascular, con variables ambientales tales como la estructura

de la ciudad, el acceso a parques o establecimientos de comida con la obesidad. También al relacionar el consumo y distribución de establecimientos de comida rápida y la obesidad (33) con variables socioeconómicas; espacios obeso-génicos o con áreas de alta marginación (34).

Ellaway y sus colaboradores sugieren analizar espacialmente los establecimientos de venta de comida, principalmente la no saludable, ya que en 2012 reportaron la agrupación de puntos de venta de alimentos alrededor de las escuelas y un incremento de obesidad en adolescentes en dichas escuelas (35). Sin embargo, Santiago-García y sus colaboradores reportaron en 2023, que la disponibilidad de establecimientos que ofrecen alimentos procesados, poco saludables y densos en energía no explica la prevalencia de obesidad en el ámbito local de cada municipio y se sugiere que la accesibilidad a estos establecimientos en municipios con mayor urbanización contribuye a incrementar los niveles de obesidad (21).

Los resultados de este estudio demuestran la relevancia de identificar y caracterizar por cartografía los condicionantes del espacio geográfico. Dentro de las limitaciones de este estudio se encuentran la falta de evaluación del estado socioeconómico, accesibilidad a alimentos no saludables, la disponibilidad de espacios para realizar actividades físicas, así como otras condicionantes del individuo como es el patrón dietético, tabaquismo, uso de sustancias, patrón de consumo de alcohol y actividad física. Lo anterior sugiere que es necesario la determinación de variables independientes de la distribución espacial de factores asociados a la salud a nivel local y espacial. Consideramos que este estudio aporta evidencia para la planificación de entornos saludables en el estado, el cual puede ser replicado en otros estados de México, principalmente en los municipios que presentan alta prevalencia de obesidad en adultos como son los municipios del norte y sur del país.

Este estudio proporciona información sobre la heterogeneidad espacial de la prevalencia de sobrepeso, obesidad y otros factores de RCM así como sus diferencias entre hombres y mujeres. Por

lo anterior, es posible plantear diferentes preguntas como ¿Es la distribución espacial del riesgo cardiometabólico diferente de acuerdo con la edad o nivel socioeconómico? ¿Cuáles son las variables ambientales y/o socioeconómicas que inciden en el aumento o disminución del riesgo cardiometabólico? y por último ¿Cómo los patrones de distribución espacial del riesgo cardiometabólico ayudan a entender el contexto del riesgo de la obesidad en México? El conocimiento de las respuestas a estas preguntas es fundamental para la mejora de los planes de gestión de salud pública y facilitar la toma de decisiones en programas de prevención y control de la obesidad.

## CONCLUSIONES

Se identificaron los patrones de distribución espacial del riesgo cardiometabólico en la ZMSLP, pudiendo ser aplicada en escalas locales e incluir variables de carácter socioeconómico y ambiental para intentar explicar las densidades altas. Nuestros resultados proporcionan mapas de mayor influencia en la densidad de los puntos de RCM; los cuales, son de utilidad para generar cartografía de riesgo en salud pública, para facilitar la toma de decisiones en programas de prevención y control de la obesidad.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los participantes y al personal del estudio. Los autores agradecen a MCF. Gicela de Jesús Galván Almazán por su contribución y asistencia técnica.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Todos los autores declaran no tener conflictos de intereses potenciales, reales o percibidos, en el manuscrito.

## REFERENCIAS

1. Valenzuela PL, Carrera-Bastos P, Castillo-García A, Lieberman DE, Santos-Lozano A, Lucia A. Obesity and the risk of cardiometabolic diseases. *Nat Rev Cardiol.* 2023;20:475–494. doi: 10.1038/s41569-023-00847-5.
2. Popkin BM, Du S, Green WD, Beck MA, Algaith T, Herbst CH, Alsukait RF, Alluhidan M, Alazemi N, Shekar M. Individuals with obesity and COVID-19: A global perspective on the epidemiology and biological relationships. *Obesity Reviews.* 2020;21. doi: 10.1111/obr.13128.
3. Barquera S, Hernández-Barrera L, Trejo B, Shamah T, Campos-Nonato I, Rivera-Dommarco J. Obesidad en México, prevalencia y tendencias en adultos. *Ensanut 2018-19. Salud Pública Mex.* 2020;62:682–692. doi: 10.21149/11630.
4. Drozd D, Alvarez-Pitti J, Wójcik M, Borghi C, Gabbianelli R, Mazur A, Herceg-Čavrak V, Lopez-Valcarcel BG, Brzeziński M, Lurbe E, et al. Obesity and Cardiometabolic Risk Factors: From Childhood to Adulthood. *Nutrients.* 2021;13:4176. doi: 10.3390/nu13114176.
5. Alberti KGMM, Eckel RH, Grundy SM, Zimmet PZ, Cleeman JI, Donato KA, Fruchart J-C, James WPT, Loria CM, Smith SC. Harmonizing the Metabolic Syndrome. *Circulation.* 2009;120:1640–1645. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644.
6. Ortiz-Rodríguez MA, Bautista-Ortiz LF, Villa AR, Antúnez-Bautista PK, Aldaz-Rodríguez MV, Estrada-Luna D, Denova-Gutiérrez E, Camacho-Díaz BH, Martínez-Salazar MF. Prevalence of Metabolic Syndrome Among Mexican Adults. *Metab Syndr Relat Disord.* 2022;20:264–272. doi: 10.1089/met.2021.0115.
7. Rojas-Martínez R, Aguilar-Salinas CA, Romero-Martínez M, Castro-Porras L, Gómez-Velasco D, Mehta R. Trends in the prevalence of metabolic syndrome and its components in Mexican adults, 2006-2018. *Salud Publica Mex.* 2021;63:713–724. doi: 10.21149/12835.
8. Zgodic A, Eberth JM, Breneman CB, Wende ME, Kaczynski AT, Liese AD, McLain AC. Estimates of Childhood Overweight and Obesity at the Region, State, and County Levels: A Multilevel Small-Area Estimation Approach. *Am J Epidemiol.* 2021;190:2618–2629. doi: 10.1093/aje/kwab176.
9. Sun Y, Hu X, Huang Y, On Chan T. Spatial Patterns of Childhood Obesity Prevalence in Relation to Socioeconomic Factors across England. *ISPRS Int J Geoinf.* 2020;9:599. doi: 10.3390/ijgi9100599.
10. Kundu S, Sharma P, Singh S, Kumar P. District-level heterogeneity in overweight or obesity among women of reproductive age: A geo-spatial analysis in India. *PLoS One.* 2023;18:e0290020. doi: 10.1371/journal.pone.0290020.
11. Wang P, Li K, Xu C, Fan Z, Wang Z. Spatial analysis of overweight prevalence in China: exploring the association with air pollution. *BMC Public Health.* 2023;23:1595. doi: 10.1186/s12889-023-16518-6.
12. Wong KYY, Moy FM, Shafie A, Rampal S. Identifying obesogenic environment through spatial clustering of body mass index among adults. *Int J Health Geogr.* 2024;23:16. doi: 10.1186/s12942-024-00376-5.
13. Olaya V. *Sistemas de información geográfica.* 2014.

14. Lloyd C. Spatial data analysis: an introduction for GIS users. USA: Oxford University Press; 2010.
15. Diggle PJ. Statistical analysis of spatial and spatio-temporal point patterns. CRC press.; 2013.
16. Fuentes-Santos I, Marey-Pérez MF, González-Manteiga W. Forest fire spatial pattern analysis in Galicia (NW Spain). *J Environ Manage.* 2013;128:30–42. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.04.020.
17. Mitchell A. The ESRI Guide to GIS Analysis: Spatial measurements & statistics, Volumen2. ESRI Guide to GIS analysis; 2005.
18. Thornton LE, Pearce JR, Kavanagh AM. Using Geographic Information Systems (GIS) to assess the role of the built environment in influencing obesity: a glossary. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity.* 2011;8:71. doi: 10.1186/1479-5868-8-71.
19. Rybnikova N, Stevens RG, Gregorio DI, Samociuk H, Portnov BA. Kernel density analysis reveals a halo pattern of breast cancer incidence in Connecticut. *Spat Spatiotemporal Epidemiol.* 2018;26:143–151. doi: 10.1016/j.sste.2018.06.003.
20. Ray EL, Sakrejda K, Lauer SA, Johansson MA, Reich NG. Infectious disease prediction with kernel conditional density estimation. *Stat Med.* 2017;36:4908–4929. doi: 10.1002/sim.7488.
21. Santiago García M, Santiago LE. Análisis espacial del ambiente alimentario no-saludable en municipios con alta prevalencia de obesidad en México. *Economía Sociedad y Territorio.* 2023;723–751. doi: 10.22136/est20231923.
22. Vazquez-Vidal I, Voruganti VS, Hannon BA, Andrade FCD, Aradillas-García C, Nakamura MT, Terán-García M. Serum Lipid Concentrations and FADS Genetic Variants in Young Mexican College Students: The UP-AMIGOS Cohort Study. *Lifestyle Genom.* 2018;11:40–48. doi: 10.1159/000488085.
23. Robinson KN, Vazquez-Vidal I, Marques C, Andrade FCD, Aradillas-García C, Teran-García M. Circulating Triglycerides and the Association of Triglycerides with Dietary Intake Are Altered by Alpha-2-Heremans-Schmid Glycoprotein Polymorphisms. *Lifestyle Genom.* 2017;10:75–83. doi: 10.1159/000478657.
24. Whelton PK, Carey RM, Aronow WS, Casey DE, Collins KJ, Dennison Himmelfarb C, DePalma SM, Gidding S, Jamerson KA, Jones DW, et al. 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Hypertension.* 2018;71:1269–1324. doi: 10.1161/HYP.0000000000000066.
25. 2. Classification and Diagnosis of Diabetes: *Standards of Medical Care in Diabetes—2021.* *Diabetes Care.* 2021;44:S15–S33. doi: 10.2337/dc21-S002.
26. Jellinger PS, Handelsman Y, Rosenblit PD, Bloomgarden ZT, Fonseca VA, Garber AJ, Grunberger G, Guerin CK, Bell DSH, Mechanick JI, et al. American Association Of Clinical Endocrinologists And American College Of Endocrinology Guidelines For Management Of Dyslipidemia And Prevention Of Cardiovascular Disease. *Endocr Pract.* 2017;23:1–87. doi: 10.4158/EP171764.APPGL.
27. Muñoz Robles CA, Santana Arias R. Puntos de calor en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí: patrones espaciales y factores asociados. *Madera y Bosques.* 2018;24. doi: 10.21829/myb.2018.2411565.
28. Hughey SM, Kaczynski AT, Porter DE, Hibbert J, Turner-McGrievy G, Liu J. Spatial clustering patterns of child weight status in a southeastern US county. *Applied Geography.* 2018;99:12–21. doi: 10.1016/j.apgeog.2018.07.016.
29. Qiu G, Liu X, Amiranti AY, Yasini M, Wu T, Amer S, Jia P. Geographic clustering and region-specific determinants of obesity in the Netherlands. *Geospat Health.* 2020;15. doi: 10.4081/gh.2020.839.
30. Gartner DR, Taber DR, Hirsch JA, Robinson WR. The spatial distribution of gender differences in obesity prevalence differs from overall obesity prevalence among US adults. *Ann Epidemiol.* 2016;26:293–298. doi: 10.1016/j.annepidem.2016.02.010.
31. Hajizadeh M, Campbell MK, Sarma S. A Spatial Econometric Analysis of Adult Obesity: Evidence from Canada. *Appl Spat Anal Policy.* 2016;9:329–363. doi: 10.1007/s12061-015-9151-5.
32. Yankey O, Amegbor PM, Essah M. The Effect of Socioeconomic and Environmental Factors on Obesity. *International Journal of Applied Geospatial Research.* 2021;12:58–74. doi: 10.4018/IJAGR.2021100104.
33. Fraser LK, Clarke GP, Cade JE, Edwards KL. Fast food and obesity: a spatial analysis in a large United Kingdom population of children aged 13–15. *Am J Prev Med.* 2012;42:e77–85. doi: 10.1016/j.amepre.2012.02.007.
34. Aradillas-García C, Palos-Lucio G, Padrón-Salas A. Socio-Urban Spatial Patterns Associated with Dyslipidemia among Schoolchildren in the City of San Luis Potosi, Mexico. *Journal of Urban Health.* 2016;93:53–72. doi: 10.1007/s11524-015-9997-5.
35. Ellaway A, Macdonald L, Lamb K, Thornton L, Day P, Pearce J. Do obesity-promoting food environments cluster around socially disadvantaged schools in Glasgow, Scotland? *Health Place.* 2012;18:1335–1340. doi: 10.1016/j.healthplace.2012.06.001.