

Ibarra Zapata, E. y Mata Cuellar, F. (2023). Modelado de los patrones de distribución espacial de la muerte materna en San Luis Potosí, México 2010-2015. *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 32, 65-78. <http://dx.doi.org/10.21138/GF.777>

## MODELADO DE LOS PATRONES DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA MUERTE MATERNA EN SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO 2010-2015.

<sup>1a</sup>Enrique Ibarra Zapata , <sup>2b</sup>Fabiola Mata Cuellar

<sup>1</sup> Facultad de Enfermería y Nutrición, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Zona Universitaria, 78240 San Luis Potosí, México.

<sup>2</sup> Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Municipio Libre 377 Santa Cruz Atoyac 03310 Ciudad de México

<sup>a</sup>[enrique.zapata@uaslp.mx](mailto:enrique.zapata@uaslp.mx), <sup>b</sup>[fabiolamatacuellar@gmail.com](mailto:fabiolamatacuellar@gmail.com)

### RESUMEN

La muerte de una mujer durante el embarazo, parto o puerperio refleja problemas estructurales en el acceso y control de la salud materna. La incorporación de enfoques de carácter geoespacial a problemas de salud proporciona un sustento técnico-científico en la toma de decisiones en el área de las ciencias de la salud. Los patrones y tendencia espacio-temporales de la muerte materna incorporando las categorías geográficas relativas a la posición, distribución y variación espacial, lograron evidenciar que a una escala regional existió un patrón de distribución agrupado en las jurisdicciones sanitarias III, IV, V, VI y VII. A una escala local, el 13.97 % de los decesos se presentaron en la isócrona de atención con accesibilidad baja, lo que significó una distribución espacial a más de cinco horas de la unidad médica de referencia. Incorporar métodos y técnicas de carácter geográfico a problemas prioritarios de salud posibilita coadyuvar en la planificación de estrategias en la gestión sanitaria. El contexto espacio-temporal de la muerte materna integró el espacio geográfico como unidad de análisis, definido a través de información o datos geográficamente referidos, logrando territorializar y visibilizar la problemática en virtud de características asociadas al acceso oportuno a la salud materna.

Palabras clave: muerte materna; información geográfica; gestión sanitaria; atención a la salud; México.

MODELING THE SPATIAL DISTRIBUTION PATTERNS OF MATERNAL DEATH IN SAN LUIS POTOSÍ, MEXICO 2010-2015.

### ABSTRACT

The death of a woman during pregnancy, childbirth or puerperium reflects structural problems in the access and control of maternal health. The incorporation of geospatial approaches to health problems

Recepción: 10/05/2022

Editor al cargo: Dr. Miquel Ninyerola

*Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)*

Aceptación definitiva: 20/12/2023

[www.geofocus.org](http://www.geofocus.org)

provides technical-scientific support for decision making in the health sciences. The spatio-temporal patterns and trends of maternal death incorporated geographic categories related to position, distribution and spatial variation, showing that on a regional scale there was a distribution pattern grouped in health jurisdictions III, IV, V, VI and VII. On a local scale, 13.97 % of the deaths occurred in the isochron of care with low accessibility, which meant a spatial distribution more than five hours away from the medical unit of reference. Incorporating geographic methods and techniques to priority health problems makes it possible to contribute to the planning of health management strategies. The spatio-temporal context of maternal death integrated the geographic space as a unit of analysis defined through geographically referenced information or data, making the problem territorialized and visible by virtue of characteristics associated with timely access to maternal health.

Keywords: maternal death; geographic information; health management; health care; Mexico.

## 1. Introducción:

La muerte materna (MM) se considera un problema grave de salud pública, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), cada día mueren 830 mujeres por complicaciones relacionadas al embarazo, parto o puerperio, evidenciando un déficit en la atención de la salud materna. En el año 2015 se estimaron 303 mil muertes de mujeres relacionadas al embarazo, parto o después de ello, todas ellas asociadas a una gran disparidad de los factores de ingreso y nivel de vida, evidenciando una razón de mortalidad materna (RMM) de 36.4, lo que reflejó el número de mujeres fallecidas por cada 100 000 nacidos vivos durante ese año (OMS, 2019). Los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) señalan que es primordial garantizar una maternidad segura sustentada por un enfoque integral para el desarrollo pleno de la salud sexual y reproductiva, sin embargo, la MM es resultado de la desigualdad e inequidad que enfrentan las mujeres, generalmente por una serie de factores que pueden estar relacionados con el contexto social, estado de salud, acceso y la calidad de los servicios de salud para atención materna (Camacho *et al.*, 2010 y PAHO, 2016).

El uso eficiente de la atención sanitaria conlleva una mejora continua que involucra desde los enfoques clínicos y epidemiológicos hasta la gestión sanitaria, sin embargo, la planificación e implementación de estrategias en situaciones de emergencias representa un desafío importante, por ello, se debe facilitar y promover una vinculación multisectorial ante problemas prioritarios de salud (Hernández-Girón *et al.*, 2012). De manera particular, ante la problemática que culmina en MM es pertinente realizar investigaciones que involucren el acceso a recibir atención médica oportuna, bajo enfoques de carácter integrador. Según Franco (2006), un sistema de salud debe estructurarse bajo una perspectiva interdisciplinaria, incluso, debe integrar enfoques que involucren los problemas relacionados con la vida, la salud y su acceso oportuno (OPS, 2021). Así mismo, debe contemplar los determinantes sociales esenciales para cada problemática específica, en el caso de la MM son prioritarios el acceso a la atención prenatal, la atención especializada y el apoyo en las primeras semanas tras el parto, que están directamente relacionados con un acceso oportuno y de calidad (Morales-Andrade *et al.*, 2018).

La MM es un problema de salud pública multifactorial, que para los años 2014 y 2015 en México reportó de manera oficial 872 y 760 casos con una RMM de 38.9 y 34.7, respectivamente. Sin embargo, para el estado de San Luis Potosí durante 2015 se presentaron 16 defunciones con una RMM de 29.9, es decir, el estado potosino presentó 4.8 puntos debajo del promedio nacional (Morales-Andrade *et al.*, 2018). Sin embargo, a pesar de estas cifras no deja de considerarse como un problema prioritario de salud, que refleja los efectos de los determinantes sociales sobre la salud de la mujer (Karolinski *et al.*, 2015). A pesar de la universalización de la atención de la emergencia obstétrica no todos los hospitales son resolutivos ante esta condición clínica lo que ocasiona que la mujer embarazada acuda de un hospital o a otro en busca de atención (DOF, 2016). Cabe resaltar, que en el estado de San Luis Potosí existen condiciones de riesgo latente como el entorno geográfico, siendo un factor determinante para la ocurrencia

de la MM (CNEGSR, 2018). En este sentido, es fundamental un abordaje integral y transdisciplinario ante la emergencia obstétrica.

Integrar la dimensión espacial y temporal a la ocurrencia de MM, definidas en virtud de las categorías relativas a la posición, distribución y variación espacial, permite identificar los patrones de distribución espacial de la problemática (Leveau, 2021), lo que permite determinar territorios con características geográficas homogéneas donde se concentra o no la problemática evidenciando los patrones de distribución espacial (González y Pérez, 2013). Una adecuado análisis de los patrones de distribución espacial de una problemática en salud tiene el potencial de coadyuvar en la delimitación de estrategias o acciones en virtud de su distribución, incluso, según Valbuena y Rodríguez (2018), puede proporcionar los insumos en la elaboración de hipótesis de sus causas, puesto que, el lugar donde pertenece una persona es determinante en proceso de salud-enfermedad, ya que, el espacio geográfico es una categoría de síntesis y convergencia de los fenómenos que en el ocurren (Barcellos, 2003).

De acuerdo con Dumont (2020), el análisis geoespacial permite analizar los casos de ocurrencia de MM respecto a la ubicación de los centros de atención, permitiendo evaluar el impacto de la intervención sanitaria efectuada, por lo que este abordaje permite evidenciar la interacción del grupo vulnerable y el posible desempeño del sistema de salud. De acuerdo con OPS-OMS, un enfoque integrador como el análisis geográfico/epidemiológico permite incrementar la capacidad de respuesta, fortaleciendo las estrategias o acciones preventivas de los actores encargados de la gestión de la MM (OPS-OMS, 2021). Según Buzai (2021), la dimensión espacial proporciona un elemento primordial en la explicación de la realidad, basado en la interacción del espacio geográfico como unidad de análisis.

La estimación de los patrones espaciales de problemas de salud proporciona los insumos para orientar la toma de decisiones mediante la priorización de ubicaciones para realizar intervenciones específicas. La utilización de este tipo de enfoques aplicado a la MM radica en el uso de tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que proporciona enormes posibilidades en el tratamiento de información espacial, siendo un apoyo a la toma de decisiones en la planeación socio-espacial (Buzai, 2019). Gurrutxaga (2019), señala que el enfoque geoespacial aplicado a problemas de salud puede contribuir a la detección de causas de las desigualdades de salud de la población en el territorio, fortaleciendo el establecimiento de medidas adecuadas de prevención y atención sanitaria.

Algunas aproximaciones metodológicas se han realizado en América del Sur, *e.g.*, Fuenzalida-Díaz (2014), que realizó un modelo de localización óptima que evidencia la demanda de tiempo de unidades médicas basado en dicho modelo, involucrando indicadores de cobertura, mapas de ubicación y mapas de áreas atención sanitaria. Márquez-Pérez *et al.* (2014), evaluaron la agregación espacial de la población en la asignación demanda de centros sanitarios (hospitales) a partir de métodos derivados del análisis de redes “*Network Analyst*”. Cid y Salas, (2019), analizaron una correlación espacial del acceso efectivo a atención de salud basado en la accesibilidad geográfica en función de las barreras de acceso y distribución territorial, involucrando el acceso a la salud en un contexto geográfico. Derivado de lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue analizar la dinámica y tendencias espacio temporales de la MM en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 2010 a 2015, considerando los sitios de deceso y los sitios de atención materna, denominados nodos de deceso y nodos atención, respectivamente.

## 2. Materiales, datos y métodos

Todo fenómeno asociado a salud se desarrolla en un territorio (Anselin, 1989), e involucra diferentes categorías geográficas relativas a la posición, distribución y variación espacial (Nyerges, 1991). La lógica de utilizar el enfoque geográfico para estudiar problemas prioritarios de salud como la MM, surge de la necesidad de integrar enfoques innovadores que conjunten criterios que permitan comprender la distribución de la problemática que se analiza (Moore y Carpenter, 1999). La utilización de métodos y técnicas de carácter geográfico permite gestionar, analizar y utilizar bases de datos espaciales (BDE), para eficientizar la identificación, análisis, evaluación y planificación en el estudio de la salud y enfermedades

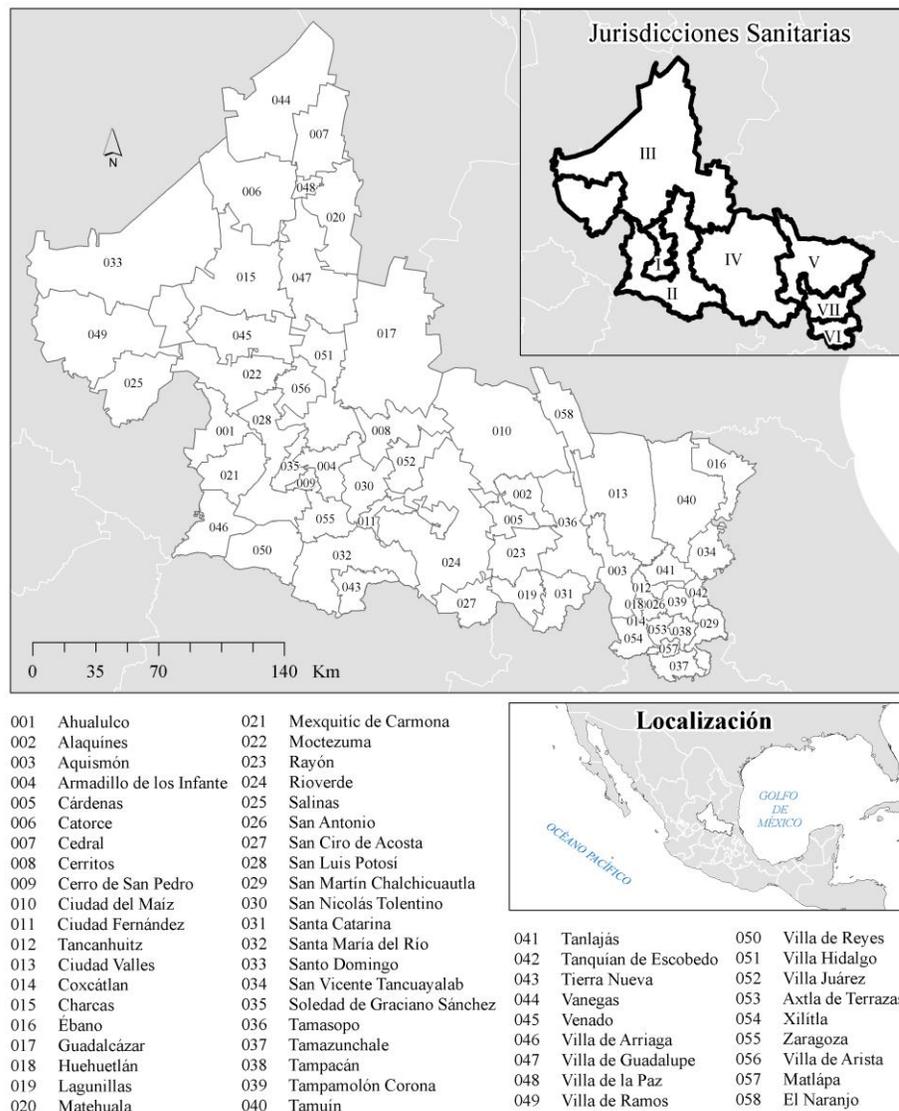
humanas, ya que permite fortalecer la toma de decisiones, así como coadyuvar en la elaboración de estrategias oportunas.

2.1. El caso de estudio.

La investigación realizada consistió en un estudio epidemiológico ecológico que involucró la utilización de base de datos en la modalidad espacial, en la que además se aplicaron consideraciones retrospectivas y de carácter trasversal.

2.1.1. Delimitación espacial y temporal

El área de estudio se compone de los 58 municipios que integran en el estado de San Luis Potosí en la porción central de la República Mexicana, los cuales integran siete jurisdicciones sanitarias definidas por la Secretaría de Salud, encargada de la prevención y la promoción de la salud poblacional (véase figura 1). Temporalmente, el modelado de los patrones de distribución espacial integró el total de MM ocurridas en el periodo entre 2010 y 2015.



**Figura 1. Zona de estudio: Límites administrativos a nivel municipal del Estado de San Luis Potosí.**  
Fuente. Elaboración propia con coberturas espaciales de INEGI 2020.

## 2.2. Los datos

La dinámica espacial y temporal de la MM se realizó a partir de una base de datos a nivel localidad del periodo 2000-2015 (BD-SSA), considerando los informes de la Secretaría de Salud tomada del sitio: Datos abiertos de México (<https://datos.gob.mx/busca/dataset/mortalidad-materna>). La cual, contiene información que permite ubicar los sitios de ocurrencia de MM y los sitios de atención de la problemática (Clínica de atención). Se realizó un procedimiento que permitió la consolidación de una BDE de la MM, proceso que involucró la asociación espacial con el Catálogo de metadatos geográficos de la cobertura de Localidades de la República Mexicana del Instituto Nacional de Geografía y Estadística INEGI 2010. [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/loc2010gw.xml?\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/loc2010gw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no) para los nodos de ocurrencia, así como la asociación espacial con el Catálogo CLUES (Clave Única de Establecimientos de Salud), de la Secretaría de Salud [http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/intercambio/clues\\_gobmx.html](http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/intercambio/clues_gobmx.html)), considerándose los insumos estratégicos para el desarrollo del modelado. Bajo un procedimiento espacial se obtuvo una cobertura espacial (formato SHP) que permitió almacenar las geometrías de los municipios reflejadas en un sistema de coordenadas haciendo referencia a su localización y atributos en las escalas jurisdiccional y municipal. En escala local se relacionó espacialmente los denominados nodos de atención y deceso por MM, permitiendo modelar los patrones de distribución espacial de la MM en tres componentes de análisis: temporal a nivel anual, espacial en escala menor (nivel municipal) y espacial en escala mayor (nivel localidad).

## 2.3. Análisis temporal anual

El comportamiento espacio temporal de la MM se analizó tomando como referencia los datos del total de población femenina de los censos de población y vivienda de los años 2000 y 2010, así como de las encuestas intercensales de 2005 y 2015 del INEGI (<https://inegi.org.mx/temas/estructura/>). Derivado ello, se calculó la población vulnerable de los años intermedios (2001 a 2004, 2006 a 2009 y 2011 a 2014) mediante la tasa de crecimiento de la población total utilizando la fórmula de crecimiento poblacional compuesto (TCPT-CPC) a través de la ecuación:

$$P_t = P_0 (1 + r)^t; \text{ Donde:}$$

P<sub>t</sub>: Población total

P<sub>0</sub>: Población Inicial

P<sub>5</sub>: Población después de 5 años

t: Tiempo entre periodo

r: Tasa de crecimiento de la población

La dinámica espacial de la MM se evidenció en dos escalas de trabajo: En primer lugar a nivel municipal con la superposición cartográfica de las jurisdicciones sanitarias de San Luis Potosí, para determinar la mayor densidad de casos de MM. Este procedimiento se realizó a través de los comandos de la calculadora de campos “*Field calculator*” utilizando la ecuación  $(P_5 = P_0 (1+r)^5$ , anteriormente señalada. En segundo lugar se realizó el modelo cartográfico de la MM a nivel municipal expresada en cinco rangos por el “*método Jenks*”, que es una representación basada en las agrupaciones por valores similares para maximizar la diferencia entre cada rango y con ello visibilizar la problemática de la MM en esta escala de análisis.

## 2.4. Análisis espacial (escala menor).

La dinámica temporal de la MM en escala menor se realizó a través de una gráfica de comportamiento compuesta, representada por barras y líneas para evidenciar la tendencia temporal en periodos anuales. Incorporó los criterios: total de población vulnerable (oficial y estimada) y el total de casos de MM por año, calculando de la TMM anual: (TMMa), que integra una constante que multiplica al cociente (c), a través de la siguiente fórmula:

**TMMa= (NT/PT)\*c;** donde:

NT: número total de eventos de interés

PT: población total en el año de referencia

c: 100,000

Así mismo, se complementó con la representación de la dinámica espacial de la MM de forma cartográfica mediante la TMM a nivel municipal (TMMm), que, de acuerdo con Celemín, es un procedimiento que permite robustecer el análisis, al crear nueva información a partir de datos existentes (Celemín, 2009). Es decir, se obtuvo información derivada que permitió analizar de forma simultánea el grado de asociación espacial y la heterogeneidad de cada unidad espacial (Yang *et al.*, 2020), en este caso evidenciando el comportamiento espacio-temporal de la MM.

Este procedimiento involucró realizar la asociación espacial entre los totales de MM por municipio a través del método de campos homogéneos por medio de la herramienta de unión “*join*” utilizando la clave municipal como agente de asociación (véase figura 1). A través de la calculadora de campos “*Field calculator*” se programó la ecuación “ $TMMm = ((NT/PT)*c)$ ” integrando los casos de MM y el total de la población femenina para cada municipio. Estadísticamente se analizó por el método de “*Hotspot*” Analysis (Getis-Ord Gi) o puntos calientes, que permitió identificar los territorios donde existió el mayor agrupamiento de los decesos de MM en un contexto geográfico (Getis y Ord, 1992 y Goodchild y Longley, 2018).

## 2.5. Análisis espacial (escala mayor).

A nivel localidad se cuantificó la variación espacial de atención de la MM mediante un análisis exploratorio, utilizado para evaluar el uso de los servicios de salud bajo un enfoque espacial (Kurji *et al.* 2020). Involucró calcular las distancias euclidianas a partir de la ubicación de los nodos de atención, respecto a los nodos de ocurrencia de MM, bajo un proceso de armonización y estandarización para de una BD obtener una BDE.

La variación espacial en la utilización de servicios de salud ha sido un tema importante en la planeación estratégica de problemas de salud, involucra diferentes componentes para una atención efectiva y está supeditada a la conjunción de aspectos más allá del derecho a percibir atención “aspectos económicos, culturales, geográficos y de contexto” (Sánchez-Torres, 2017). En nuestro caso se utilizó dos criterios de análisis: el espacio euclidiano (relación nodo-nodo) y el espacio topológico (basado en la condición de conectividad por vía de comunicación) (Lois, 2017) mediante la Red Vial del Instituto Mexicano del Transporte y del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Información de México.

Para determinar la atención de la MM se realizó el cálculo de la isócrona de atención (Is-A) por extensión radial utilizada en la representación espacial de problemas sanitarios, con crecimiento de sucesión numérica, en un contexto espacial (Smietanka *et al.*, 2016 y Ibarra-Zapata *et al.*, 2019), permitiendo determinar la proximidad de las diferentes tipologías, abarcando la extensión territorial del estado. Se realizó mediante el uso de herramientas de análisis territorial integradas en un sistema de información geográfica (SIG) mediante el análisis de redes “*Network Analyst*”, que involucró la estadística espacial descriptiva, considerando una relación entre nodos (de atención y descenso).

El cálculo del rango inicial (RI) de la Is-A se obtuvo con el comportamiento histórico de la MM observando sus características en un contexto de vecindad considerando el par de nodos donde existió la variación espacial de mayor amplitud (Alonso-Sarría, 2006). Involucro: un nodo de atención de MM (ubicado en el municipio de San Luis Potosí “Capital del estado”) y 45 nodos de ocurrencia de MM (distribuidos en las siete jurisdicciones sanitarias) es decir, de manera conjunta representan los nodos que abarcan la mayor extensión territorial del estado.

El componente euclidiano se realizó a través la herramienta de construcción de líneas de visión “*Construct sight lines*”, que permitió incorporar como entidad de entrada el nodo de atención respecto a

los nodos ocurrencia, obteniendo la estadística de tendencia central asociados a su distribución espacial: desviación estándar (S) y distancia media ( $\bar{x}$ ), de lo cual derivó el factor de isócrona de atención (F-Is-A), para con ello estimar el RI, a través de la técnica de estadística clásica de análisis de la relación (varianza: media), logrando definir el primer rango para la representación espacial de la Is-A por medio de la siguiente ecuación:

$$Is-A = (\bar{x} - S) \text{ (Tabla 1).}$$

Posteriormente, para completar los rangos de la Is-A de la MM se trabajó con un modelo de análisis de redes “entidad-atributo-relación”, integrando el factor tiempo definido en la cobertura espacial de la Red Vial (IMT. 2020), con dos características primordiales: 1) la distancia entre vértices “length” y la velocidad estimada por tramo (km/h), lo que permitió realizar el cálculo del tiempo de Isócrona (T-Is) mediante la fórmula:

$$T-Is=0.06 (d/v); \text{ donde:}$$

(0.06): factor de conversión de unidades km/hora a metros/minuto,

(d): distancia

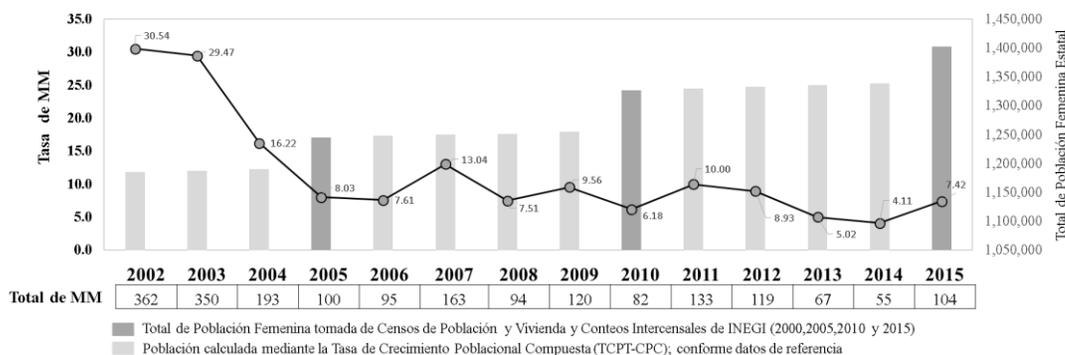
(v): velocidad

La estimación de las Is-A permitió delimitar las áreas de atención en salud considerando vías de comunicación (caminos y carreteras) integrada por 41 544 tramos vs 197 nodos de ocurrencia de MM. Este análisis se sustenta en un sistema de elementos interconectados (líneas) y cruces de conexión (puntos) involucrando los componentes de asociación. Ello permitió la definición de áreas con características homogéneas conforme a las características de espacio y tiempo.

El modelo cartográfico de la Is-A se presenta en franjas territoriales que seccionan el territorio de atención médica y se caracterizó por medio de unidades métricas y tiempo estimado de atención, definiendo cinco rangos expresados en la Tabla 2, los cuales representan una secuencia numérica que funge como los puntos de corte en la estimación de la Is-A de MM. Espacialmente, el resultado cartográfico se clasificó en cinco categorías de accesibilidad conforme a Ríos-Trujillo *et al.* (2018): Alta, Buena, Media, Limitada y Baja.

### 3. Descripción y análisis de resultados.

La dinámica temporal de la MM en el estado de San Luis Potosí, presentó un contraste notorio en su evolución anual, de acuerdo al método empleado para el cálculo de la TCPT-CPC existió un incremento de la población femenina contrario a un decremento en la TMM que en 2002 se ubicó en 30.54 y para 2015 en 7.42, cabe señalar que el periodo para presentar resultados se basó en una serie histórica de datos de un periodo de trece años (véase grafica 1).

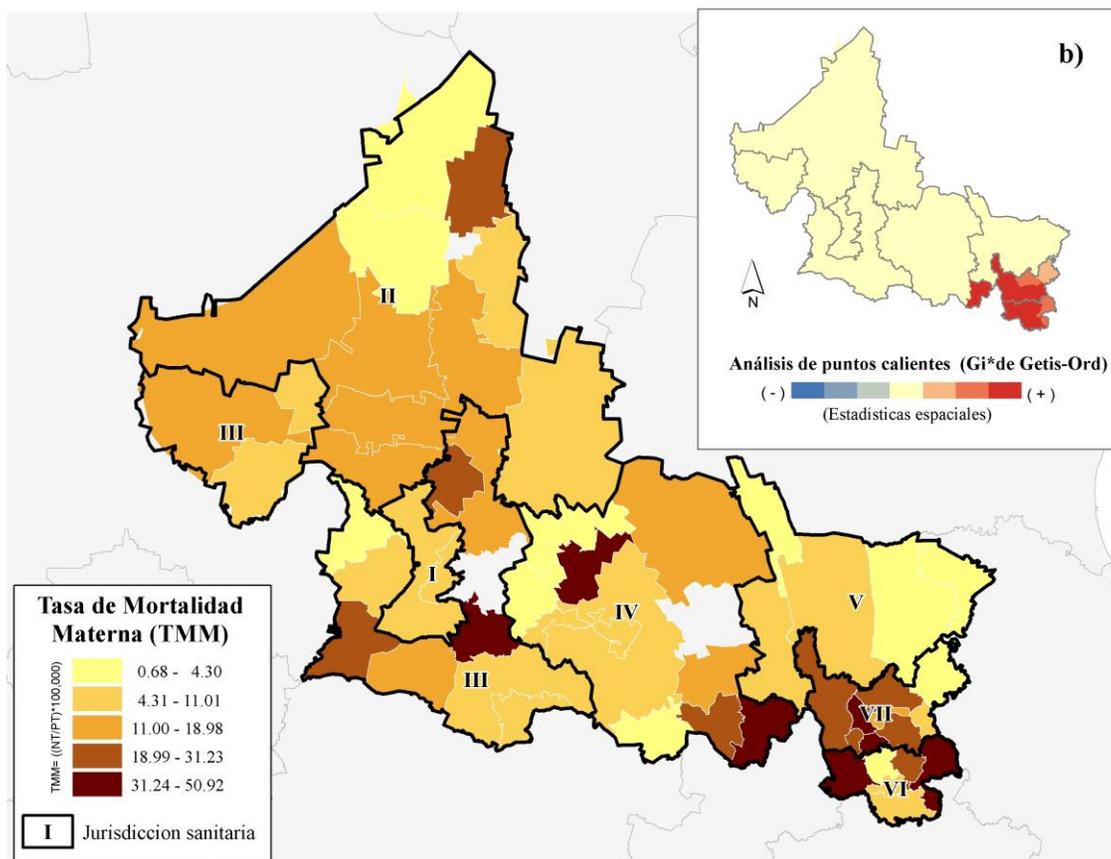


**Grafica 1. Dinámica temporal de la mortalidad materna (MM), en el estado de San Luis Potosí en el periodo de 2002-2015.**

Fuente. Censo de Población y Vivienda INEGI. 2000 y 2010, Censo de Población y Vivienda INEGI. 2005 y 2015. Elaboración propia.

La dinámica espacial de la MM en escala menor se representó con la TMM a nivel municipal y a nivel jurisdiccional. En este sentido, las jurisdicciones sanitarias III, IV, V, VI y VII presentaron algunos municipios con una TMM muy alta, con una TMM que osciló entre 50.92 y 31.24 (representados en tonalidad marrón oscuro). En escala menor los municipios prioritarios en según el comportamiento de la TMM son: Santa Catarina: 50.92, San Martín Chalchicuautla: 38.80, Coxcatlán: 38.71, Xilitla: 35.13, Villa Juárez: 34.32, Tancanhuitz: 34.10, Zaragoza: 33.53 y Aquismón: 31.24. En complemento, con una TMM en un nivel medio (tonalidad café en rango de 18.99 a 31.23) se encontraron los municipios Huhuetlán: 29.95, Tampacán: 28.96, Cedral: 28.49, Lagunillas: 26.58, Tanlajás: 25.60, Villa de Arriaga: 23.74, Tampamolón Corona: 23.61, Villa de Arista: 21.84 y Villa Hidalgo: 18.99, distribuidos en la extensión territorial de las jurisdicciones sanitarias III, IV, VI y VII. Siendo los municipios prioritarios para realizar estrategias preventivas ante la problemática que gira en torno a la MM (véase figura 2).

El comportamiento espacial de la MM escala menor contó con un sustento estadístico, ya que se logró definir conglomerados estadísticamente significativos con valor alto de MM (denominados puntos calientes), que en estudios epidemiológicos y de salud permite definir el agrupamiento de valores similares, definiendo porciones territoriales en donde se puede coadyuvar en la toma de decisiones ante la MM. El método de estadísticas locales Gi y Getis-Ord permitió evidenciar los conglomerados de riesgo de MM muy alta en las Jurisdicciones Sanitarias V, VI y VII, en la región Huasteca (sur y centro) tonalidad marrón, siendo las jurisdicciones prioritarias en las que se deben realizar estrategias de mitigación de la MM (véase figura 2b).



**Figura 2. Distribución espacial de la tasa de mortalidad materna en el estado de San Luis Potosí, en escala municipal y jurisdiccional. 2b) Conglomerados estadísticamente significativos de la Mortalidad materna conforme al cálculo de la TMM.**

Fuente. Elaboración propia

Al utilizar los nodos (atención y deceso por MM) de mayor extensión territorial, se consideró un modelo cartográfico representativo, ya que, estadísticamente representó la mayor extensión de atención de MM, es decir, un hospital (en la capital del estado) atendió el 13.96 % del total de las MM ocurridas en el periodo de estudio. A partir de ello, se determinó la distancia euclidiana de mayor extensión territorial como insumo inicial en el cálculo, derivado de lo cual, se obtuvo un valor factor de isócrona de atención ( $F_{Is-A}$ ) de 16.79 y con ello el valor de RI de 1,679 metros considerándose el valor inicial de la Is-A, lo cual se refleja en la Tabla 1.

**Tabla 1. Estimación del rango inicial de la Is-A de MM por medio del método de variación espacial.**

Nodo de atención	Nodos origen	$\bar{x}$ (km)	S (km)	Ecuación isócrona de Atención (Is-A)	$F_{Is-A}$	RI
San Luis Potosí	54	98.18	81.39	$Is-A = (\bar{x} - S)$ $\bar{x} : \text{Distancia media}$ $S : \text{Desviación estándar de la distancia}$	16.79	$RI: (F_{Is-A} * 100)$ $16.79 * 100$ $1679.00$

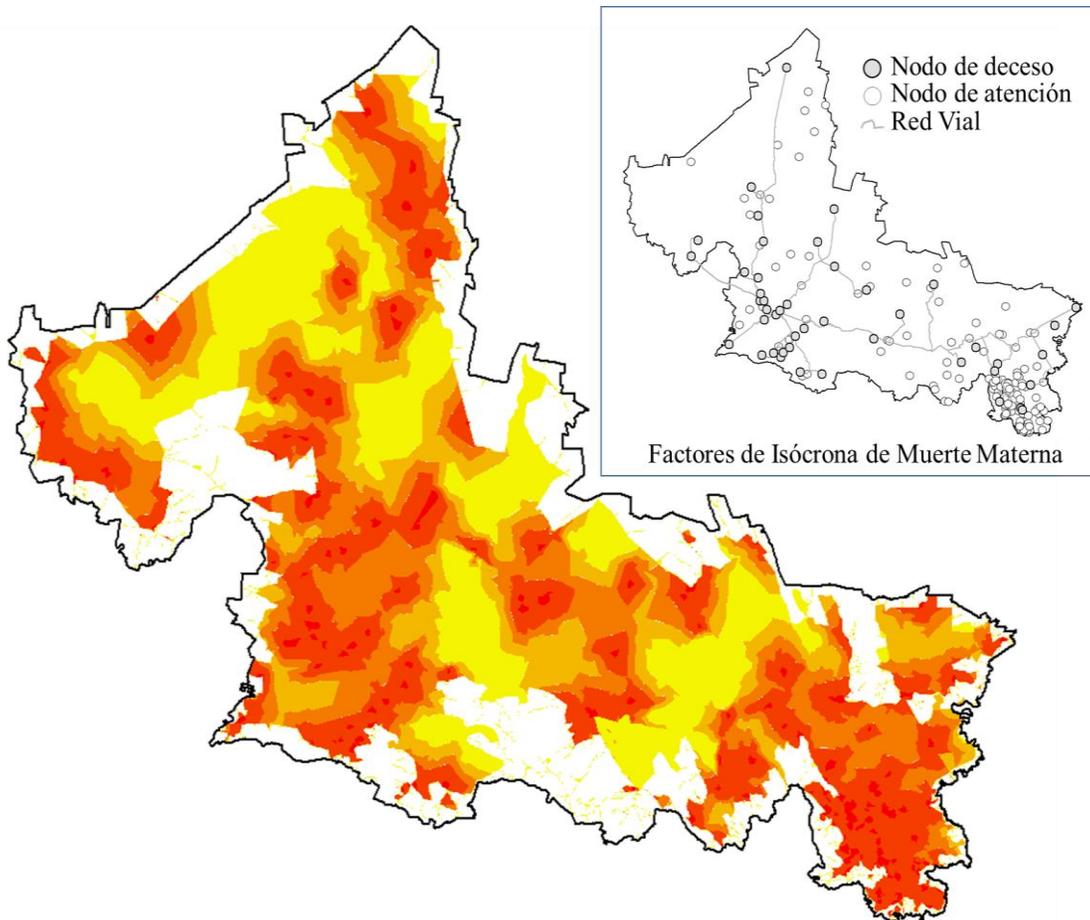
Fuente. Elaboración propia.

En complemento bajo el precepto espacial mediante el análisis de redes se logró definir cinco categorías de atención representadas en una paleta de colores con gran contraste, espacialmente una accesibilidad de alta a buena se presentó en tonalidades de rojo a naranja y por el contrario una accesibilidad de baja a limitada se presentó en tono amarillo, ambas haciendo relación a la distancia/tiempo de atención (véase figura 3).

Se analizó la categoría de accesibilidad obtenida considerando el total de casos de MM (179), al respecto se puede interpretar que en accesibilidad alta, es decir casos de MM ocurridos a menos de 41 minutos se encontró el grueso de la población de estudio, es decir, el 79.33 % de las atenciones de MM entre 2000 y 2015, lo que evidenció que los decesos por MM fueron ubicados dentro de un rango razonable para su atención, a pesar de ello concluyeron en la MM asociada a complicaciones en el embarazo, parto o puerperio, así como enfermedades del sistema circulatorio, coágulos sanguíneos, trombosis, infecciones en vías urinarias, hemorragias postparto, trabajo de parto prolongado, desprendimiento prematuro de placenta, eclampsia, preclamsia, hipertensión entre los males más comunes (BD-SSA) (véase figura 3).

En complemento, con categorías de accesibilidad intermedias se encontraron 12 casos de MM distribuidos en tres rangos: con una accesibilidad buena se encontró el 4.47 % de los casos totales ubicados en un rango de tiempo de 0.42 a 1.55 horas, las cuales presentaron muertes asociadas a complicaciones con prolapso del cordón umbilical, eclampsia, hemorragias, preclamsia y complicaciones por enfermedades del sistema digestivo (BD-SSA). Con una accesibilidad media se encontró el 0.56 % atribuyéndose la muerte a hemorragia postparto inmediata (BD-SSA), y con accesibilidad limitada se encontró el 1.68 % con muertes asociadas a eclampsia y hemorragias post parto inmediatas únicamente, las cuales se ubicaron en la Is-A de 3.26 a 5.00 horas (véase figura 3).

Finalmente, los casos de MM considerados extremos con accesibilidad baja se ubicaron en la Is-A correspondiente a un tiempo superior a las 5 horas, lo cual, representó el 13.97 % de los casos ocurridos en el periodo, cabe señalar que las principales causas de muerte fueron variadas desencadenando la MM por diversas complicaciones como el tumor maligno en la placenta, preclamsia severa, eclampsia en el parto y puerperio, infecciones de riñón, hemorragias previas y posparto, embolia y complicaciones puerpales (véase figura 3).



Valor de Isócrona (seg)	Equivalencia*	Tiempo estimado	Rango de Isócrona	Categoría de Accesibilidad
1600	min:((seg/3600)*60)	0.26	0.26- 0.41	Alta
2500		0.41		
5600	hora:(seg/3600)	1.55	0.42-1.55	Buena
11700		3.25	1.56-3.25	Media
18000		5.00	3.25-5.00	Limitada
>18001		>5.01	> 5.01	Baja

**Figura 3. Isócronas de atención de mortalidad materna en el periodo 2002-2015 en el estado de San Luis Potosí; 3b) Factores utilizados en la estimación de la isócrona de muerte materna.**

#### 4. Discusión y valoración de hallazgos

El uso de información geográficamente referida genera beneficios a diferentes disciplinas (Salinas-Rebolledo *et al.*, 2018), de manera particular la utilización de enfoques de carácter geográfico a problemas prioritarios de salud como la MM se pueden considerar una herramienta geotecnología que aporta a en la toma de decisiones a través del análisis de la variabilidad de la problemática y su posible asociación con factores de carácter social, incluso, Rabanaque-Hernández, (2021), señalan que las herramientas geográficas contribuyen en buena medida al estudio de la relación entre factores sociales y problemas graves de salud. En este sentido, el cálculo de la estimación de la Isócrona de atención de la MM en el estado de San Luis Potosí, se puede considerar un insumo con valor técnico-científico con el potencial de direccionar acciones en estudios prioritarios de salud pública, lo cual se respalda con lo que señalan Cuza-

Sorolla *et al.*, (2021), ya que, herramientas de carácter geográfico permiten determinar las áreas de influencia de las unidades de salud, coadyuvando de manera directa en la toma de decisiones estratégicas en salud.

La OMS (2019) y la Secretaría de Salud (2016), señalan que es necesario y pertinente buscar “*una mejora que involucre procesos o herramientas dirigida a reducir la brecha a nivel sistémico y organizacional bajo los principios básicos de la calidad, que incluyen la atención centrada en la persona, la mejora continua de los procesos y la seguridad del paciente como prioridades para el fortalecimiento de los sistemas de salud*”. En este sentido las investigaciones realizadas en el área de la salud pública basadas en datos geográficamente referidos pueden enriquecer la comprensión sobre problemas prioritarios de salud en diferentes escalas geográficas (Lemus-Delgado y Pérez-Navarro, 2020) y de manera específica se puede considerar como una herramienta que puede coadyuvar en mejorar la eficiencia y buscar una mejora permanente de los servicios y prácticas profesionales en salud (Muñoz Rodríguez *et al.*, 2020), incluso, se puede considerar una herramienta importante en la gestión sanitaria. Sin embargo, es pertinente señalar que el uso de este tipo de enfoques involucra un enorme desafío, ya que se debe lograr combinar políticas de salud con políticas territorialmente focalizadas (Cid y Salas, 2019).

El análisis espacial en salud proporciona las herramientas para establecer el contexto en el cual ocurre un evento de importancia para la salud pública, como lo es la MM. De manera particular, contribuyó en buena medida en la comprensión de los procesos que culminan en una defunción que ocurre durante el embarazo, el parto o el puerperio desde una perspectiva territorial basada en las localizaciones de los nodos deceso (unidades médicas) y los nodos de origen (lugar de residencia), lo que permitió una caracterización geográfica en virtud de distancia y tiempo, denominada Is-A de MM. El análisis multi-escala (jurisdiccional, municipal y local), permitió obtener patrones de distribución espacial en diferentes niveles que proporcionan una aproximación a la realidad la cual es determinada por elementos como: la georeferencia y la calidad del dato, la inclusión de determinantes sociales en modalidad espacial, asociados espacialmente al componente epidémico del problema de salud. De acuerdo con Buzai (2021) el análisis espacial cuantitativo (aplicado a través de los SIG) permite definir la vulnerabilidad social a problemas de salud, logrando definir áreas de mayor criticidad siendo la base en la planificación territorial en la disminución de disparidades sociales que culminan en problemas graves de salud como la MM.

## 5. Conclusiones

La aplicación del análisis espacial mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica a problemas de salud permite integrar, analizar y representar de forma eficiente cualquier tipo de información asociada a un territorio, relacionando espacialmente una BD con coberturas espaciales. El enfoque socio-espacial tiene el potencial de fortalecer la estimación de correlaciones con un componente territorial que posibilita la mejor comprensión de la problemática (tasas, índices, etc), evidenciando la posibilidad que ocurra un determinado hecho. En complemento, la estadística espacial permite evidenciar el patrón de distribución (agregado, disperso o aleatorio), lo que permite mejorar la comprensión de los hechos en un contexto espacio-temporal.

La estimación de la dinámica espacio temporal de problemas de salud pública como la MM por conglomerados (riesgo de MM) con un enfoque multi-escala, puede fortalecer la identificación de zonas prioritarias para la atención. Espacialmente permite obtener un buen detalle en la exploración del espacio geográfico logrando una mayor desagregación espacial y con ello ubicar tendencias en lugares de más alta incidencia, lo que puede fortalecer la toma de decisiones en aspectos de logística, planeación y gestión de recursos con un enfoque preventivo buscando reducir el riesgo de MM y mejorar la calidad de salud de la población expuesta. La fortaleza de este tipo de enfoques aplicado a problemas graves de salud como la MM, radica en la calidad del dato capturado por las instituciones de salud por ello es recomendable incluir en la bitácoras de seguimiento de las mujeres en atención prenatal el dato de localización, específicamente latitud, longitud y altitud, ya que, las tendencias globales en el abordaje de problemas de salud tiene una

tendencia hacia este tipo de enfoques como un elemento que complementa los estudios clásicos en el área de la salud.

### Referencias bibliográficas

- Alonso-Sarría, F. (2006). Sistemas de Información Geográfica y Teledetección en la Universidad de Murcia. [Consulta: 2-05-2021]. Disponible en <http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>
- Anselin, L. (1989). What is special about spatial data? Alternative perspectives on spatial data analysis", In Symposium on Spatial Statistics, Past, Present and Future. [Consulta: 7-06-2021]. Disponible en Department of Geography, Syracuse University.
- ArcGIS. (2020). Clasificar campos numéricos para simbología graduada. Natural break (jenks). [Consulta: 12-05-2021]. Disponible en <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/map/working-with-layers/classifying-numerical-fields-for-graduated-symbols.htm>
- Barcellos, C. (2003). Unidades y escalas en los análisis espaciales en salud. *Revista Cubana Salud Pública*, Vol. 29(4). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-34662003000400003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662003000400003)
- Buzai, G. D. (2019). Condicionantes socioespaciales de la salud. Definición de áreas críticas en la cuenca del río Luján, Argentina. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (24), 99-115. <https://doi.org/10.21138/GF.650>
- Buzai, G. (2021). Análisis espacial cuantitativo de los Condicionantes Socioespaciales de la Salud (CCS) de la mega ciudad Buenos Aires. *Revista Geográfica Digital*, Vol. 8 (35): 2-14. DOI:<https://dx.doi.org/10.30972/geo.18355130>
- Camacho, Y., Villanueva, M., Marrugo, A., Yazo, C. (2010). Mortalidad Materna: Un Reto que Persiste para La Salud Pública en Colombia. *Revista Ces. Salud Pública*, Vol.1 (1).
- Celemín, J.P. (2009). Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial. Importancia, estructura y aplicación. *Revista Universitaria de Geografía*, 18. ISSN: 0326-8373. <https://www.redalyc.org/pdf/3832/383239099001.pdf>
- Cid-Burboa, F. y Salas-Daza, Y. (2019). Análisis espacial del acceso efectivo a atención de salud en Chile, 2017. [Consulta: 22-09-2021]. Disponible en. <http://dspace.utralca.cl/bitstream/1950/12142/2/20190192.pdf>
- CNEGSR. (2015). Programa de salud materna y perinatal. México: Secretaría de Salud. [Consulta: 22-09-2021]. Disponible en [http://cnegsr.salud.gob.mx/contenidos/descargas/SMP/SaludMaternayPerinatal\\_2013\\_2018.pdf](http://cnegsr.salud.gob.mx/contenidos/descargas/SMP/SaludMaternayPerinatal_2013_2018.pdf)
- Cuza-Sorolla, A., Hernández-Aguilar, M.L., Barrera-Rojas, M. A. (2021). Aplicación de polígonos Thiessen para la definición y análisis de áreas de influencia del sistema de salud en ciudades costeras del estado de Quintana Roo. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, Vol. 23 (1): 49-71. ISSN 1405-8626. <https://quivera.uaemex.mx/article/view/14504>. <https://doi.org/10.36677/qret.v23i1.14504>.
- DOF. (2016). NORMA Oficial Mexicana NOM-007-SSA2-2016. Para la atención de la mujer durante el embarazo, parto y puerperio, y de la persona recién nacida. México. 2016. Secretaría de Gobernación. [Consulta: 14-08-2021]. Disponible en <http://www.dof.gob>.
- Dumont, A. (2020). Ensayos aleatorizados por conglomerados. Ejemplo dirigido a la salud materna e infantil. Québec: Éditions science et bien commun y Marseille: IRD Éditions. 277-296 pp. <https://scienceetbiencommun.pressbooks.pub/evalsalud/chapter/conglomerados/>
- Franco, A. (2006). Tendencias y teorías en salud pública. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 24(2): 119-131. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-386X2006000200012](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-386X2006000200012)
- Fuenzalida-Díaz, M. (2014). Diseño de esquemas de localización óptima para hospitales del servicio de salud Viña del Mar-Quillota (Chile) discriminando según status socio-económico. *GeoFocus. Revista*

*Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (11), 409–430. <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/225>

Getis, A. y Ord, J.K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics - Getis. *Geographical Analysis - Wiley Online Library. Geogr Anal*, 24(Issue 3):189-206.

González, P.L. y Pérez, B.Y.G. (2013). Spatial data mining and its application in health and epidemiology studies. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 24 (4):482-489. <https://www.medigraphic.com/pdfs/acimed/aci-2013/aci134i.pdf>

Goodchild, M.F. y Longley, P.A. (2018). *Geospatial Analysis a Comprehensive Guide to Principles Techniques and Software Tools* 6th edition. ISBN-13. 978-1-912556-05-2. ebook. <https://www.spatialanalysisonline.com/extractv6.pdf>

Gurrutxaga, M. (2019). Geografía de la salud: aplicaciones en la planificación territorial y urbana. *Estudios Geográficos*, 80(286), e007. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201927.007>

Hernández-Girón, C., Orozco-Núñez, E., Arredondo-López, A. (2012). Modelos conceptuales y paradigmas en salud pública. *Revista de Salud Pública*, 14(2): 315-324. <https://www.scielosp.org/pdf/rsap/2012.v14n2/315-324/es>

Ibarra-Zapata, E., Gaytán-Hernández, D., Mora-Aguilera, G., González-Castañeda, M.E. (2019). Escenario de riesgo de introducción de la influenza tipo A en México estimado mediante geointeligencia. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 43:e32. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2019.32>

IMT. (2020). Instituto mexicano del transporte. [Consulta: 27-10-2020]. Disponible en <http://rnc.imt.mx/>

Karolinsk,i A., Mercer, R., Micone, P., Ocampo, C., Salgado, P., Szulik, D. (2015). Modelo para abordar integralmente la mortalidad materna y la morbilidad materna grave. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 37(4/5): 351-9. <https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/2015.v37n4-5/351-359/es>

Kurji, J., Talbot, B., Bulcha, G., Bedru, K.H., Morankar, S., Gebretsadik, L.A., Wordofa, M.A., Welch, V., Labonte, R., Kulkarni, M.A. (2020). Uncovering spatial variation in maternal healthcare service use at subnational level in Jimma Zone, Ethiopia. *BMC Health Service Research*, 20, (703). <https://doi.org/10.1186/s12913-020-05572-0>

Lemus-Delgado, D. y Pérez Navarro, R. (2020). Ciencia de datos y estudios globales: aportaciones y desafíos metodológicos. *Colombia Internacional*, 102: 41-62. <https://doi.org/10.7440/colombiaint102.2020.03>

Leveau, C.M. (2021). Difusión espacio-temporal de muertes por COVID-19 en Argentina. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 45:e3. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2021.3>

Lois, C. (2017). Los mapas y las geometrías del espacio: La imagen cartográfica como praxis de la espacialización del pensamiento. *Terra Barasilis*. <https://doi.org/10.4000/terrabrasilis.2029>

Márquez-Pérez, J., Ojeda-Zújar, J., Álvarez-Francoso, J.I. (2014). Análisis de redes y sensibilidad a la unidad mínima de información poblacional: Sanlúcar de Barrameda (Cádiz). *GeoFocus. Revista Internacional De Ciencia Y Tecnología De La Información Geográfica*, (14), 85–104. <https://geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/302>

Moore, D.A. y Carpenter, T.E. (1999). Spatial Analytical Methods and Geographic Information Systems: Use in Health Research and Epidemiology. *Epidemiologic Reviews*. Vol. 21(2). <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.850.9350&rep=rep1&type=pdf>

Morales-Andrade, E., Ayala-Hernández, M.A., Morales-Valerdi, H.F., Astorga-Castañeda, M., Castro-Herrera, G.A. (2018) Epidemiología de la muerte materna en México y el cumplimiento del Objetivo 5 del Desarrollo del Milenio, hacia los objetivos de desarrollo sostenible. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 23:61-86. <https://www.medigraphic.com/pdfs/quirurgicas/rmq-2018/rmq182a.pdf>

- Muñoz-Rodríguez, E.E., Moreno-Espinosa, J.A. y Torres-Garzón, D.M. (2020). Uso de la ciencia de datos y herramientas tecnológicas para el mejoramiento en la prestación del cuidado de la salud. Universidad Sergio Arboleda. <http://hdl.handle.net/11232/1718>
- Nyerges, T. (1991). *Analytical Map Use, Cartography and GIS*, Vol. 18.
- OMS. (2019). Mortalidad Materna. [Consulta: 19-08-2020]. Disponible en <https://www.who.int/es/newsroom/fact-sheets/detail/maternal-mortality>
- OPS. (2021) Salud Materna. 2021. [Consulta: 17-11-2020]. Disponible en <https://www.paho.org/es/temas/salud-materna>
- OPS-OMS. (2021). Centro de conocimiento de salud pública y desastres. [Consulta: 16-12-2020]. Disponible en [http://www.saludydesastres.info/index.php?option=com\\_content&view=article&id=204:3-3-el-enfoque-de-cluster-y-los-cluster-de-salud&catid=156&lang=es](http://www.saludydesastres.info/index.php?option=com_content&view=article&id=204:3-3-el-enfoque-de-cluster-y-los-cluster-de-salud&catid=156&lang=es)
- PAHO. (2016) Protocolo de vigilancia epidemiológica de la mortalidad materna. ISBN: 978-92-75-31933-8. [Consulta: 8-11-2020]. Disponible en <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/33712/9789275319338-spa.pdf>
- Rabanaque-Hernández, I. (2021). Variabilidad espacial de la salud mental en Aragón y análisis de su asociación con el nivel socioeconómico prevalencia de deterioro cognitivo leve y demencia. Tesis Universidad de Zaragoza (España). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=302262>
- Ríos-Trujillo, E.U., Correa-Fuentes, D.A., Aviña-Iglesias, R. (2018). Diseño de un instrumento para la evaluación de la accesibilidad universal. *Ingeniería*, Vol. 22 (3): 1-11. <https://www.redalyc.org/journal/467/46759491007/html/>
- Salinas-Rebolledo, E.A., Chiavaralotti-Neto, F., Giatti, L.L. (2018). Experiencias, beneficios y desafíos del uso de geoprocesamiento para el desarrollo de la atención primaria de salud. *Revista Panamericana de Salud Publica*. 42:e153. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.153>
- Sánchez-Torres, D.A. (2017). Accesibilidad a los servicios de salud: debate teórico sobre determinantes e implicaciones en la política pública de salud. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 55 (1):82-9. [http://revistamedica.imss.gob.mx/editorial/index.php/revista\\_medica/article/view/1135/1754](http://revistamedica.imss.gob.mx/editorial/index.php/revista_medica/article/view/1135/1754)
- Secretaria de Salud (2016). Temas Prioritarios en Salud. Guías de Práctica Clínica. [Consulta: 14-12-2020]. Disponible en <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/temas-prioritarios-en-salud?idiom=es-MX>
- Smietanka, K., Bocian, L., Meissner, W., Zietek-Barszcz, A., Zolkos, K. (2016). Assessment of the potential distance of dispersal of high pathogenicity avian influenza virus by wild mallards. *Avian Disease*, 60(S1):316-21. DOI: 10.1637/11080-040715-RegR
- Valbuena-García, A.M. y Rodríguez-Villamizar, L.A. (2018). Análisis espacial en epidemiología: revisión de métodos. *Revista de la Universidad Industrial de Santander*, vol. 50 (4): 358-365. <https://doi.org/10.18273/revsal.v50n4-2018009>
- Yang, M., Rosenberg, M.W., Li, J. (2020). Spatial Variability of Health Inequalities of Older People in China and Related Health Factors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17(5): 1739; <https://doi.org/10.3390/ijerph17051739>.