ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y PATRONES DE AGRUPACIÓN ESPACIAL DE SERVICIOS DE SALUD PARA ENFERMEDADES NO TRANSMISIBLES EN MÉXICO

CORRELATION ANALYSIS AND SPATIAL CLUSTERING PATTERNS OF HEALTH SERVICES FOR NON-COMMUNICABLE DISEASES IN MEXICO

Jesús Alberto Martínez López
Centro de Investigación de Computación del IPN, México
Jmartinezl2022@cic.ipn.mx

Gilberto Lorenzo Martínez Luna
Centro de Investigación de Computación del IPN, México
lluna@cic.ipn.mx

Adolfo Guzmán Arenas
Centro de Investigación de Computación del IPN, México
aguzmanarenas@gmail.com

Recepción: 18/noviembre/2024 **Aceptación:** 7/marzo/2025

Resumen

A nivel global, la población enfrenta problemas de salud que afectan la calidad de vida y aumentan las muertes. La academia y las instituciones de salud han investigado para descubrir nuevos tratamientos y prevenir enfermedades mediante programas estratégicos. Esta investigación examina la relación entre los servicios de salud otorgados a pacientes con enfermedades no transmisibles y la población en las entidades federativas de México, utilizando técnicas y herramientas de ciencia de datos. Se llevan a cabo dos análisis: a) un análisis de correlación lineal utilizando el índice de correlación de Pearson para evaluar la accesibilidad de los servicios de salud relacionados con enfermedades no transmisibles, y b) un análisis de correlación espacial utilizando el Índice Global de Moran y el Indicador de Asociación Espacial Local (LISA) para identificar patrones de agrupación en la prevalencia de los servicios de salud relacionados con Neoplasias.

Palabras Clave: agrupación espacial, enfermedades no transmisibles (ENT), índice global de Moran, índicador Local de Asociación Espacial (LISA), Servicios de salud.

Abstract

Globally, the population faces health problems that affect the quality of life and increase deaths. Academia and health institutions have researched to discover new treatments and prevent diseases through strategic programs. This research examines the relationship between health services provided to patients with non-communicable diseases and the population in the federal entities of Mexico, using data science techniques and tools. Two analyses are carried out: a) a linear correlation analysis using the Pearson correlation index to assess the accessibility of health services related to non-communicable diseases, and b) a spatial correlation analysis using the Global Moran Index and the Local Spatial Association Indicator (LISA) to identify clustering patterns in the prevalence of health services related to Neoplasms.

Keywords: *Health services, Local Indicator of Spatial Association (LISA), Moran global index, Non-communicable diseases (NCD), Spatial clustering.*

1. Introducción

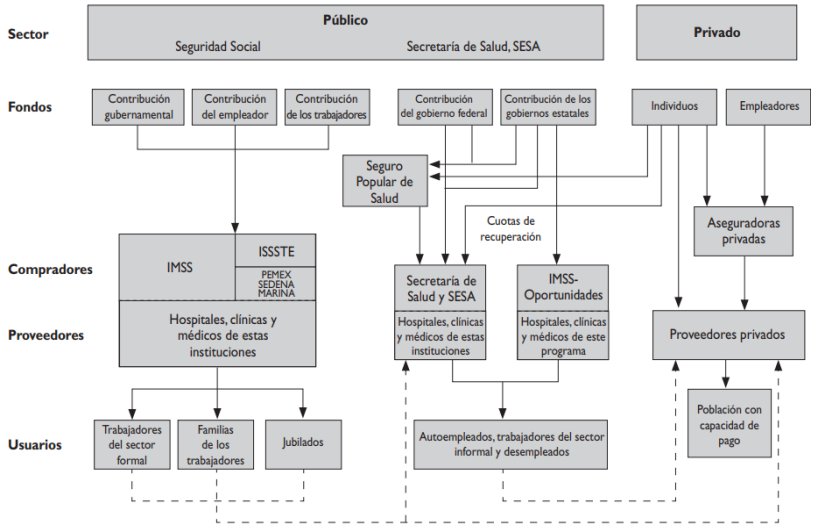
El crecimiento tecnológico y el desarrollo de sistemas de información, ha permitido recolectar una gran cantidad de datos que están a nuestra disposición. Impulsado el aumento de investigaciones en áreas como la economía, educación, movilidad, gobierno, ganadería y agricultura, entre otras, aplicando técnicas de Ciencia de Datos a conjuntos de datos masivos; con el objetivo de facilitar la toma de decisiones e implementar estrategias para la solución de problemáticas de acuerdo con el interés de cada área. De manera particular, en el área de la salud pública, se han realizado estudios sobre Enfermedades No Transmisibles; creciendo de manera exponencial durante la pandemia por SARS-Cov-2, permitiendo el desarrollo de nuevos tratamientos, medicamentos, vacunas y dispositivos médicos, auxiliándose en la Ciencia de Datos, principalmente para atender información epidemiológica. Esta información contribuye a la formación de indicadores de salud, que permiten la adopción de decisiones en salud publicada, por medio del conocimiento, monitoreo y evaluación de políticas públicas.

Las enfermedades no transmisibles (ENT), no son simplemente la consecuencia indirecta del aumento de los ingresos y de la reducción paulatina de las enfermedades infecciosas, sino que también figuran entre las principales causas de discapacidad, mala salud y son la causa principal de muerte prevenible y prematura en América [Legetic, 2017]. La Organización Mundial de la Salud (OMS), menciona que "Las ENT son, con diferencia, la principal causa de muerte en todo el mundo. En 2016, fueron responsables del 71% (41 millones) de los $57\ millones$ de muertes que se produjeron en todo el mundo" [World Health Organization, 2018]. De enero a diciembre del 2021, en México se reportaron un total de $1{,}596{,}641$ casos de ENT notificados a través del Sistema Único Automatizado para la Vigilancia Epidemiológica (SUAVE), encargada de generar la información de los servicios de salud en México. En su informe "Panorama Epidemiológico de las Enfermedades No Transmisibles en México 2021" [Dirección General de Epidemiología, 2022], menciona que se analizan un total de 29 enfermedades, agrupadas en las Enfermedades metabólicas, Enfermedades nutricionales, Displasias y neoplasias, así como Enfermedades neurológicas y de salud mental, y Otras. Actualmente las ENT, son consideradas una epidemia, asociada a cambios demográficos, principalmente al envejecimiento de la población. La secretaria de Salud (SA), prevé esta situación como un reto para los sistemas de salud en México, mismo que determina el acceso a los servicios de salud.

El sistema de salud de México (Figura 1), está compuesto por dos sectores: público y privado [Dantés, 2011]. La Encuesta Nacional de Empleo y Seguridad Social 2017 define el termino afiliado para referirse a las personas registradas o inscritas en un programa o institución, ya sea pública o privada, que le garantiza el acceso a la seguridad social y/o a los servicios de salud, y estima que $102.3\ millones$ de personas afiliadas a servicios de salud, cifra que representa el 82.7% de la población total [INEGI, 2017], o bien, se estima que un 17.3% de la población total no cuenta con un afiliación para recibir un servicio de salud.

De acuerdo con el Plan Nacional de Salud 2019-2024 del gobierno federal, el acceso a los servicios de salud requeridos para la población sin seguridad social debe ser efectivo, es decir, su propósito es que todos los mexicanos,

independientemente de su condición laboral o socioeconómica tengan acceso a los servicios integrales de salud [Alcocer, 2019]. Con este propósito, este trabajo emplea diversas técnicas de ciencia de datos, como la recolección, almacenamiento, limpieza y transformación de datos, así como modelos estadísticos. Además, aprovecha herramientas tecnológicas como MySQL, Python y GEODA para manipular y analizar los grandes volúmenes de datos, garantizando resultados precisos y significativos.



Fuente: Dantés, 2011

Figura 1 El sistema de salud en México.

Se realiza un análisis de correlación lineal entre los servicios de salud y la población en cada entidad federativa, con el fin de realizar una evaluación exploratoria de la accesibilidad a los servicios de salud para las personas que padecen alguna enfermedad no transmisible (Este estudio se centra en cuatro condiciones específicas: enfermedades del sistema circulatorio, enfermedades del sistema respiratorio, enfermedades endocrinas, nutricionales y metabólicas, así como neoplasias), y que no cuentan con seguridad social, utilizando conjuntos de datos abiertos sobre egresos hospitalarios en México. Además, dado que los servicios de salud relacionados con neoplasias mostraron ausencia de correlación, se llevó a cabo un análisis de correlación espacial utilizando el índice Global de Moran y el índice de Asociación Espacial Local (LISA) para explorar la existencia de patrones

de agrupación espacial en la prevalencia de estos servicios. En los siguientes apartados, se presentará el estado del arte sobre investigaciones que han realizado análisis de correlación espacial. Posteriormente, en la sección de métodos, se describirán los procedimientos de recolección, almacenamiento, limpieza y transformación de datos, así como los modelos estadísticos de correlación utilizados. Finalmente, se presentarán los resultados, la discusión y las conclusiones.

En las narrativas siguientes, se entenderá un servicio como un servicio de salud que fue otorgado a un paciente y las enfermedades no transmisibles como las ENT.

Estado del arte

Existen investigaciones que emplean análisis espaciales y temporales para entender fenómenos complejos, como las crisis de salud pública y sus efectos socioeconómicos. En este estado del arte, se exploran tres estudios significativos: el primero establece el marco teórico de la correlación espacial, centrándose en el Índice Global de Moran y el Indicador de Asociación LISA. Los otros dos estudios aplican estas herramientas estadísticas para analizar la mortalidad por intoxicación de opioides en Ohio y los efectos de la pandemia de COVID-19 en la pobreza en México:

- La auto correlación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa [Siabato, 2019]. El artículo explora el papel esencial de la autocorrelación espacial en la evolución de la geografía cuantitativa. Los autores analizan cómo herramientas estadísticas como el Índice de Moran y el Indicador de Asociación Espacial Local (LISA) han permitido a los geógrafos identificar y evaluar patrones espaciales en los datos. Ambos índices se basan en una matriz de pesos que relaciona unidades espaciales, utilizando criterios de vecindad como la contigüidad física y la distancia, aunque también se deben considerar otros enfoques analíticos. Un valor positivo del Índice Global de Moran indica que valores similares de un fenómeno se agrupan espacialmente, mientras que un valor negativo sugiere dispersión y un valor 0 indica un patrón aleatorio [Moran, 1950]. Por otro lado, el LISA, introducido

por Luc Anselin en 1995, es una extensión del Índice de Moran que proporciona una medida local de auto correlación espacial. LISA, identificando áreas específicas con patrones significativos de agrupamiento (Hotspots: Áreas con valores altos rodeadas de otros valores altos y Coldspots: Áreas con valores bajos rodeadas de otros valores bajos) o dispersión (Outliers Altos-Bajos: Áreas con valores altos rodeadas de valores bajos. Outliers Bajos-Altos: Áreas con valores bajos rodeadas de valores altos). Estos indicadores son útiles para la toma de decisiones en planificación urbana, políticas públicas y estudios de desarrollo regional [Anselin, 1995].

- Análisis espaciotemporal de la mortalidad por intoxicación por opioides en Ohio entre 2010 y 2016 [Park, 2021]. Este estudio se centra en el análisis espaciotemporal de la mortalidad por intoxicación por opioides en Ohio, durante el período de 2010 a 2016. Utilizando datos y estadísticas geoespaciales como el Índice de Moran para identificar patrones globales de mortalidad, y el indicador de Asociación Espacial (LISA), para detectar áreas con alta concentración de mortalidad (clústeres de alta-alta) o áreas con baja mortalidad (clústeres de baja-baja), así como áreas con alta mortalidad rodeadas de baja mortalidad (alta-baja) y viceversa. El Índice de Moran mostró patrones significativos de agrupamiento en ciertas regiones, sugiriendo que las muertes por opioides se van concentrando en áreas específicas a través del tiempo, y el análisis LISA, identificó clústeres de alta mortalidad en áreas urbanas con acceso limitado a servicios de salud y en áreas rurales con altas tasas de prescripción de opioides. Por tanto, estos hallazgos sugieren que las políticas de salud pública deben adaptarse a las características locales para abordar de manera efectiva las crisis de opioides.
- Análisis Espacial Comparativo de la Pandemia COVID-19 y sus Efectos en la Pobreza en México (2021-2022) [Cerón, 2023]. Este estudio investiga el impacto de la pandemia COVID-19 en la pobreza en México, destacando cómo la crisis sanitaria ha afectado de manera desigual a diferentes regiones del país. El Índice de Moran se emplea para evaluar la auto correlación

espacial de las tasas de pobreza antes y después del brote de COVID-19. Un Índice de Moran positivo sugeriría una concentración de pobreza en ciertas áreas, mientras que un Índice negativo indicaría dispersión. El análisis LISA detectó clústeres de alta pobreza exacerbada en regiones con alta densidad de población y baja infraestructura de salud. Estos resultados subrayan la necesidad de políticas diferenciadas que aborden tanto la pobreza como los efectos secundarios de las crisis sanitarias en distintas regiones.

2. Métodos

Conjunto de datos

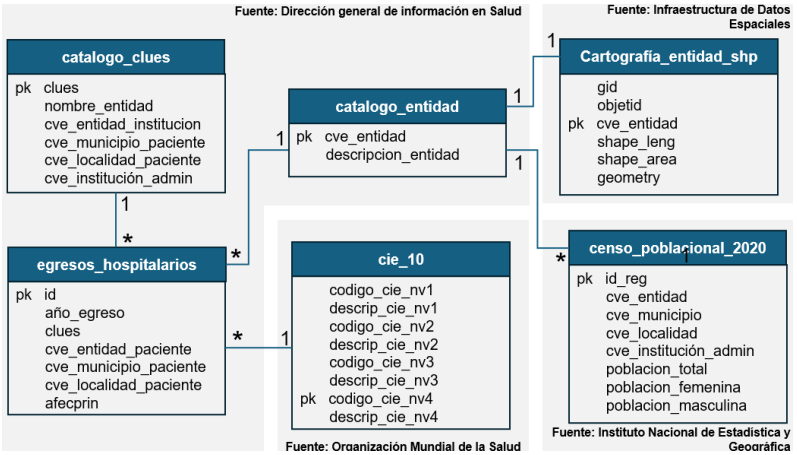
La información de servicios se recopiló del conjunto de datos abiertos de egresos hospitalarios de la Secretaría de Salud a través de la página de la Dirección General de Información en Salud [DGIS, 2024]. Los datos contienen información del lugar de residencia (Entidad, Municipio y Localidad), de pacientes que no cuentan con seguridad social, el diagnóstico de la enfermedad tratada codificada a cuatro dígitos de acuerdo con la subcategoría (nivel 4) de la CIE-10, así como datos de la residencia en donde se ubica la propia institución médica que otorgó el servicio. La información recopilada corresponde a los años del 2017 al 2022. Además, se integraron los conjuntos de datos:

- Clasificación Internacional de Enfermedades CIE-10, disponible en [WHO, 2024], publicada por la Organización Mundial de la Salud, y que contiene la información de las enfermedades en 4 niveles de jerarquía. Cada nivel, tienen una clave de codificación y la descripción de la enfermedad.
- Censo de población y vivienda 2020, realizado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Información, y publicado a través de la página del Subsistema de Información Geográfica y Social [INEGI, 2024]. Contiene información del total de población por entidad federativa, municipios y localidades, así como el total de población femenina y masculina.
- Datos cartográficos en formato de archivos vectoriales (.shp), publicado por la UNAM a través de la página Infraestructura de Datos Espaciales Abiertos

[UNAM, 2014], que contiene la información de puntos cartográficos de las entidades federativas.

Extracción y almacenamiento de datos

Se realizó un procedimiento de extracción, limpieza de datos y almacenamiento de la información, seleccionando los atributos necesarios para este trabajo. Se utilizó la herramienta Python para extraer y limpiar los datos, y My-SQL para el almacenamiento de la información. La Figura 2, muestra el diagrama entidad-relación de la base de datos resultante. Note que, cada área sombreada corresponde a cada una de las fuentes de los conjuntos de datos.



Fuente: elaboración propia

Figura 2 Diagrama entidad-relación de la base de datos.

Preprocesamiento

Para analizar la relación entre los servicios para las ENT y la población por entidad federativa, así como para realizar un análisis de correlación espacial de los servicios relacionados con Neoplasias, se llevó a cabo un exhaustivo preprocesamiento y transformación de los datos:

- **Unión de Tablas**: Se combinaron las tablas de egresos_hospitalarios, CIE-10 y CLUES para obtener el nombre de la enfermedad (primer nivel de la CIE-10) y la entidad federativa donde se brindó el servicio.
- **Filtrado de Registros**: Se filtraron los registros para centrarse en las ENT relacionadas con Enfermedades del Sistema Circulatorio.

- **Cálculo de Servicios**: Se calculó el total de servicios por entidad federativa, agrupando los datos y utilizando la función de agregación “contar”.
- **Total de Población**: Se integró el total de la población por entidad, agrupando la tabla censo_poblacional_2020 y aplicando la función de agregación “suma” al atributo población_total.
- **Normalización**: Se creó una columna “Normalización”, que se obtuvo dividiendo el total de servicios entre la población total de cada entidad.
- **Integración de Información Cartográfica**: Finalmente, se unieron estos resultados con la información cartográfica de la tabla cartografia_entidad_shp.

Este preprocesamiento se realizó para cada uno de los años del 2017 al 2024 y para las cuatro ENT en las que se enfoca este trabajo. La Tabla 1 presenta los resultados del preprocesamiento obtenido para el año 2017 y los servicios de pacientes con Enfermedades del Sistema Circulatorio.

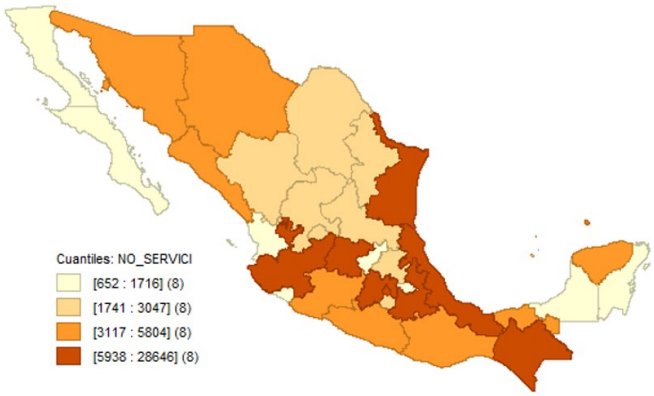
Métodos estadísticos y justificación

La Figura 3 muestra un mapa de calor sobre la distribución de servicios de enfermedades del sistema circulatorio, otorgados por entidad federativa en 2017. Se observa que, en algunas entidades se tiene un mayor número de servicios, no obstante, esto puede depender de un número mayor de población en esas entidades. Como se comentó en la introducción, para evaluar la accesibilidad a los servicios de las personas que han sufrido alguna ENT y que no cuentan con una seguridad social, se realizó un análisis de correlación, utilizando el índice de correlación de Pearson, entre la proporción de servicios otorgados a pacientes que sufrieron de alguna ENT y la proporción de población por entidad federativa. Un valor del índice de correlación de Pearson, entre más próximo sea a 1 o -1 más fuerte es la correlación positiva o negativa respectivamente, esto implicaría que la accesibilidad a los servicios por entidad federativa es efectiva. Entonces, para cada año, del 2017 al 2022, se realizó, el cálculo de proporción (frecuencia relativa) de servicios por entidad federativa. Luego, se extrajo la media de estas proporciones, obteniendo una proporción general para cada entidad de todos los años.

Tabla 1 Conjunto de datos preprocesado para el 2017.

Cve	Entidad	Geometry	Servicios	Población	Normalización
4	Campeche	MULTIPOLYGON (((-92…	1,286	928,363	0.00139
3	Baja California Sur	MULTIPOLYGON (((-11…	3,206	798,447	0.00402
2	Baja California	MULTIPOLYGON (((-11…	1,716	3,769,020	0.00046
1	Aguascalientes	POLYGON ((-102.4568…	3,751	1,425,607	0.00263
32	Zacatecas	POLYGON ((-103.4536…	2,013	1,622,138	0.00124
31	Yucatan	MULTIPOLYGON (((-8…	3,017	2,320,898	0.0013
30	Veracruz	MULTIPOLYGON (((-94…	9,446	8,062,579	0.00117
29	Tlaxcala	POLYGON ((-97.8004…	2,008	1,342,977	0.0015
28	Tamaulipas	POLYGON ((-99.00699…	3,047	3,527,735	0.00086
27	Tabasco	POLYGON ((-92.28868…	3,278	2,402,598	0.00136
26	Sonora	MULTIPOLYGON (((-11…	18,984	2,944,840	0.00645
25	Sinaloa	MULTIPOLYGON (((-10…	3,117	3,026,943	0.00103
24	San Luis Potosi	POLYGON ((-98.51778…	2,679	2,822,255	0.00095
23	Quintana Roo	MULTIPOLYGON (((-87…	652	1,857,985	0.00035
22	Queretaro	POLYGON ((-99.82807…	2,229	2,368,467	0.00094
21	Puebla	POLYGON ((-97.08570…	4,901	6,583,278	0.00074
20	Oaxaca	POLYGON ((-94.71995…	5,804	4,132,148	0.0014
19	Nuevo Leon	POLYGON ((-100.5600…	1,440	5,784,442	0.00025
18	Nayarit	MULTIPOLYGON (((-10…	776	1,235,456	0.00063
17	Morelos	POLYGON ((-98.79733…	1,325	1,971,520	0.00067
16	Michoacan	POLYGON ((-102.5718…	28,646	4,748,846	0.00603
15	Mexico	POLYGON ((-98.91625…	4,236	16,992,418	0.00025
14	Jalisco	MULTIPOLYGON (((-10…	26,295	8,348,151	0.00315
13	Hidalgo	POLYGON ((-99.51019…	1,767	3,082,841	0.00057
12	Guerrero	POLYGON ((-101.6205…	1,741	3,540,685	0.00049
11	Guanajuato	POLYGON ((-99.89368…	5,938	6,166,934	0.00096
10	Durango	POLYGON ((-103.4935…	12,616	1,832,650	0.00688
9	Ciudad de México	POLYGON ((-99.33182…	18,977	9,209,944	0.00206
8	Chihuahua	POLYGON ((-105.4988…	5,976	3,741,869	0.0016
7	Chiapas	POLYGON ((-93.88196…	4,166	5,543,828	0.00075
6	Colima	MULTIPOLYGON (((-10…	1,024	731,391	0.0014
5	Coahuila	POLYGON ((-101.0088…	1,026	3,146,771	0.00033

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Figura 3 Mapa de calor de los servicios del sistema circulatorio del 2017.

También se calculó la proporción de la población total para cada entidad. Posteriormente, se evaluó el índice de correlación de Pearson para cada una de las ENT y se verificó si existe una correlación positiva y significativa entre ambas proporciones, mediante una prueba de hipótesis con distribución t y un nivel de significancia $\alpha = 0.01$. Además, se elaboró el diagrama de dispersión entre ambas

variables y se analizaron los valores atípicos, definidos como aquellos valores observados que tienen una distancia a la recta de ajuste, fuera del intervalo $[Q1 - 1.5 * IQR, Q3 + 1.5IQR]$, donde $IQR = Q3 - Q1$ es el rango Inter cuartil.

Dado que los servicios relacionados con neoplasias no mostraron correlación lineal, se llevó a cabo un análisis de correlación espacial para identificar posibles agrupaciones espaciales. Para este análisis, se utilizó la herramienta GEODA, configurando una matriz de pesos espaciales de contigüidad de orden 1 (tipo reina). Se analizaron el Índice Local de Moran y el Indicador de Asociación Espacial LISA, partiendo de la siguiente hipótesis:

- ¿Existen agrupaciones espaciales en la distribución de servicios de "Neoplasias" a nivel nacional?
- ¿Cómo se agrupan las unidades espaciales (entidades federativas) en función del grado de significancia que presenta el indicador local de asociación espacial (LISA)?. Debido al nivel de granularidad en el que se está trabajando, es decir a nivel entidad federativa, y considerando que este análisis es una exploración preliminar para determinar un primer acercamiento hacia la verificación de la existencia de agrupaciones espaciales locales dentro del territorio nacional, ¿Puede mantenerse la hipótesis de la existencia de agrupaciones locales con un nivel de significancia de 0.2?

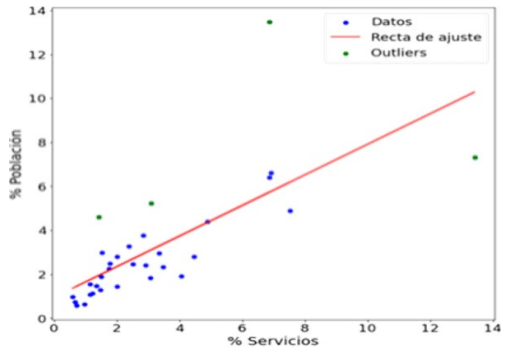
La elección de la configuración de la matriz de pesos se debió a la considerable variación en las dimensiones de las unidades espaciales. Como se menciona en [Siabato, 2019], las unidades espaciales son las entidades federativas y la variable X del fenómeno asociado a las unidades espaciales es la Normalización, Tabla 1.

3. Resultados

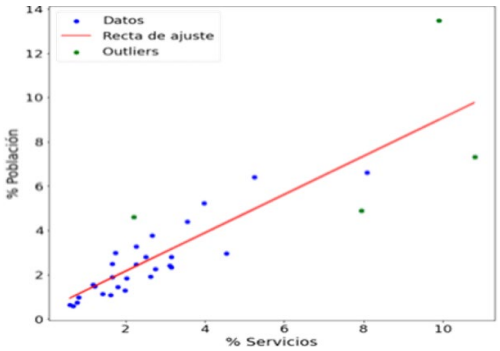
Análisis de correlación entre la proporción de servicios de enfermedades no transmisibles y la proporción de población

El valor para el coeficiente de correlación de Pearson (CP), entre la proporción de servicios de Enfermedades del Sistema Circulatorio y la proporción de población

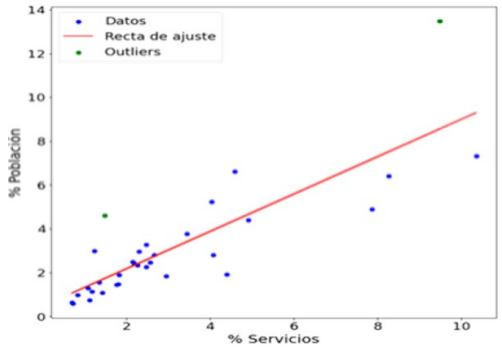
por entidad federativa fue $r = 0.73$, y con un valor $p = 2.42 * 10 - 6 < 0.01$, indica una correlación moderada alta entre ambas variables estadísticamente significativa. La Figura 4a, muestra el diagrama de dispersión entre estas dos variables, la recta de ajuste de los datos, y los valores atípicos en color verde.



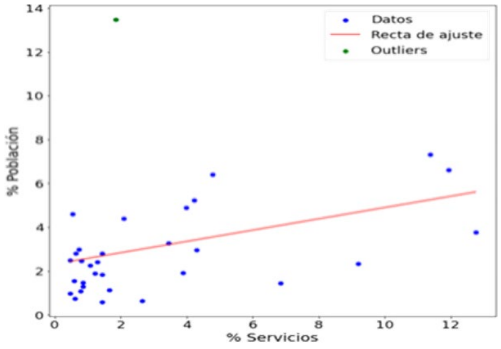
a) Sistema circulatorio vs población.



b) Sistema respiratorio vs población.



c) Endocrinas, nutricionales y metabólicas vs población.



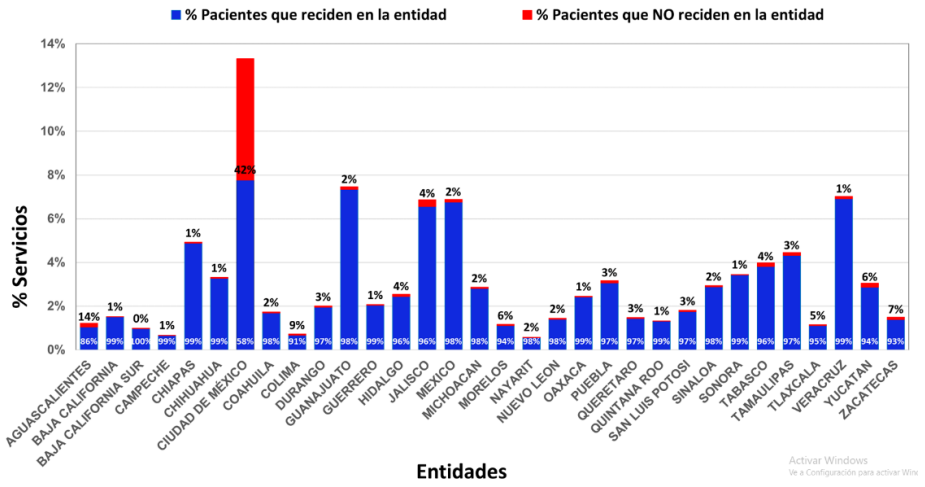
d) Neoplasias vs población.

Fuente: elaboración propia

Figura 4 Diagramas de dispersión entre las proporciones de servicios de ENT y población.

En particular, un valor atípico que se encuentra por encima de la recta de ajuste, indica que, la demanda de servicios de enfermedades del sistema circulatorio en esa entidad es mínima. Esto sugiere que la probabilidad de que una persona tenga la accesibilidad para ser atendido dentro de su misma entidad de residencia es mayor. Por otro lado, un valor atípico por debajo de la recta de ajuste, indica una mayor demanda de servicios, lo que podría implicar que la probabilidad de acceso a dichos servicios es menor en esa entidad, afectando la disponibilidad de atención para las personas que padecen problemas del sistema circulatorio. El valor atípico de la Figura 4a, que se encuentra por debajo de la recta de ajuste, corresponde a la Ciudad de México. La proporción de servicios en esta entidad se ve afectada

considerablemente por pacientes que son residentes de otras entidades. Como se aprecia en la Figura 5, el 42% de los servicios atendidos en la Ciudad de México, son de pacientes que residen en otras entidades (color rojo), siendo las más predominantes, el Estado de México con el 27.71%, seguido de Hidalgo con el 1.85%, Guerrero con el 1.71%, Michoacán con el 1.41% y Veracruz con el 1.35%.



Fuente: elaboración propia

Figura 5 Proporción de servicios de enfermedades del sistema circulatorio por entidad.

La Figura 4b, muestra el diagrama de dispersión entre la proporción de servicios de enfermedades del sistema respiratorio y la proporción de la población. En este caso, se identificaron dos valores atípicos, que corresponden a la Ciudad de México y Guanajuato. Similar al análisis anterior, la Ciudad de México se ve afectada considerablemente por pacientes que son residentes de otras entidades. El 37% de los servicios atendidos en la Ciudad de México son de pacientes que residen en otras entidades, siendo las más predominantes, el Estado de México con el 23.14%, seguido de Guerrero con el 0.70%, Hidalgo con el 0.62%, Puebla con el 0.55% y Veracruz con el 0.52%. En el caso de Guanajuato no se tiene esta dependencia ya que apenas el 1% de los servicios corresponden a personas que no residen en la entidad. La Figura 4c, muestra el diagrama de dispersión entre la proporción de servicios de Enfermedades endocrinas, nutricionales, metabólicas y la proporción de la población. En este caso no se identificaron valores atípicos de acuerdo con el método utilizado para identificarlos. Para el caso de los servicios de pacientes con

Neoplasias, no se tienen casos de valores atípicos por debajo de la recta de ajuste (Figura 4d), sin embargo, el comportamiento de los puntos, parecen indicar que no existe correlación entre ambas variables. En efecto, para este caso, el índice de correlación de Pearson es $r = 0.35$, que sugiere la ausencia de correlación entre las dos variables. Dado que los valores atípicos de los servicios de pacientes con enfermedades del sistema circulatorio y enfermedades del sistema respiratorio están, considerablemente afectados, por lo menos en dos entidades federativas, debido a la movilidad de los pacientes que residen en una entidad hacia otra para recibir la atención, se realizó un ajuste para equilibrar los servicios, de tal manera que, la accesibilidad a los servicios relacionados con enfermedades del sistema circularlo se afectiva. Para ello se definieron las Ecuaciones 1, 2 y 3, para una entidad especifica (denotada por "ent").

$$EE_{ent} = \ Pacientes\ residentes\ en\ la\ entidad\ y\ reciben\ el\ servicio\ en\ otra \quad (1)$$

$$IE_{ent} = Pacientes\ NO\ residentes\ en\ la\ entidad\ y\ reciben\ el\ servicio\ en\ ella \quad (2)$$

$$D_{s-e} = EE_{ent} - IE_{ent} \quad (3)$$

Donde D_{s-e} es la diferencia entre el egreso e ingreso de pacientes de una entidad específica para recibir un servicio de alguna de las ENT. Por lo tanto, en la Ecuación 4, se definió el número de servicios ajustado para una entidad específica SA_{ent}.

$$SA_{ent} = Número\ de\ servicios\ en\ la\ entidad\ real + \ D_{s-e} \quad (4)$$

Se recalcularon las proporciones de los servicios ajustados para cada una de las ENT y se evaluó el coeficiente CP entre esta proporción y la proporción de población. La Tabla 2 muestra los CP reales y CP ajustados. Observe que, para cada una de las ENT, el CP tuvo un aumento de 0.16, 0.05, 0.9 y 0.9, respectivamente, lo que da un indicio de que la proporción de servicios por entidad federativa es afectada por la movilidad de los pacientes entre entidades para recibir la atención correspondiente de alguna de las ENT.

Análisis de correlación espacial

Aunque el coeficiente de correlación de Pearson (CP) para los servicios relacionados con neoplasias mostró un aumento, este sigue siendo bajo y no

significativo para determinar que exista una correlación entre ambas variables, por lo tanto, se realizó un análisis de correlación espacial para explorar si existen agrupaciones espaciales en la prevalencia de servicios relacionadas con neoplasias.

Tabla 2 Coeficiente de correlación de Pearson real y ajustado.

Enfermedad/Diagnostico	Coeficiente CP	Coeficiente CP ajustado
Enfermedades del sistema circulatorio	0.73	0.89
Enfermedades del sistema respiratorio	0.87	0.92
Enfermedades endocrinas, nutricionales y metabólicas	0.80	0.89
Neoplasias	0.35	0.44

Fuente: elaboración propia

Entonces, para cada año, del 2017 al 2022, se cargó el conjunto de datos de la Tabla 1, para los estos servicios, en la herramienta GEODA, obteniendo los siguientes resultados:

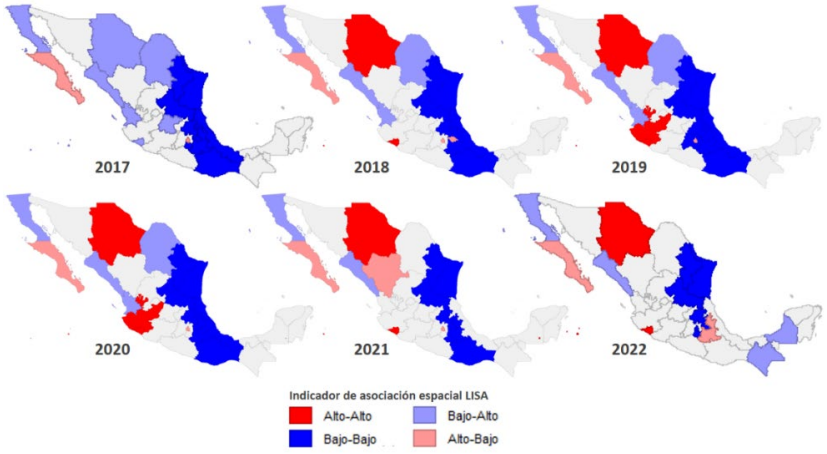
- **Índice global de Moran:** La Figura 6, muestra un gráfico de tendencia para el índice de Moran por año. Se observa que el valor del indicé, es negativo y cercano a cero (entre -0.144 y -0.035), lo que indica que el fenómeno de la atención de los servicios relacionados con neoplasias por entidad federativa es aleatorio, sin embargo, podemos observar que del 2017 al 2019 existe un crecimiento del índice, es decir, el fenómeno tiende de ser disperso a ser aleatorio a través de estos tres años. En 2020 y 2021 se tuvo una tendencia a la baja, no obstante, cabe mencionar que, en estos años los servicios de salud se limitaron a causa de la pandemia por SARS-Cov-2, en unas entidades más que en otras. Para el 2022, se observa que hay una pequeña recuperación del índice. En general, podemos afirmar que, a nivel global, el fenómeno de la prevalencia de servicios otorgados a pacientes con neoplasias es aleatorio a través del tiempo, es decir no se presenta una tendencia de agrupación o dispersión espacial en ninguno de los años analizados.
- **Índice de Asociación espacial local (LISA):** Como se menciona en [Siabato, 2019], el Índice Global de Moran, tiene limitaciones, como la

sensibilidad a posibles agrupaciones locales dentro del territorio nacional, por lo tanto, se realizó un análisis de asociación local LISA, para verificar si existen agrupaciones locales de los servicios relacionados con Neoplasias. La Figura 7 muestra los mapas de agrupación espacial LISA para los años del 2017 al 2022, y para un de nivel de significancia de 0.2.



Fuente: elaboración propia

Figura 6 Tendencia del índice global de Moran del 2017 al 2022.



Fuente: elaboración propia

Figura 7 Mapas de agrupación LISA con nivel de significancia de 0.2.

- **Hotspots (Alto-Alto).** Se observa que, del 2018 al 2022, la entidad de Chihuahua, mantienen una prevalencia alta de pacientes con neoplasias que recibieron un servicio respecto a su población, es decir, el valor normalizado de chihuahua, así como el de sus vecinos, Durango y Sinaloa es mayor a la media de los valores normalizados de cada una de las entidades, lo que indica una mayor prevalencia de pacientes con enfermedades de Neoplasias. Para el 2018 y 2022, la entidad de colima, así como sus entidades vecinas

Jalisco, Michoacán, Guanajuato, presentaron un valor “normalizado”, mayor a la media, lo que indica una mayor prevalencia de pacientes con enfermedades de Neoplasias es esta región para estos años. Baja California Sur, también, presenta mayor prevalencia de pacientes con enfermedades de Neoplasias a través de los 6 años.

- **Coldspots (Bajo-Bajo).** Se observó que, las entidades como Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla conforman regiones en donde se presentan menos servicios de pacientes con neoplasias respecto a su población, para cada uno de los años. Note que, Veracruz y Chiapas también presentan un número menor de servicios de pacientes con neoplasias en estos años a excepción del 2022.

4. Discusión

Los resultados obtenidos pueden actuar como indicadores preliminares para expertos en salud pública y administradores del sector salud en México, facilitando la implementación de mejoras en las políticas de salud. Por ejemplo, al gestionar y distribuir recursos, se debería considerar el desarrollo de estrategias que reduzcan la movilidad de pacientes con enfermedades no transmisibles que carecen de seguridad social entre entidades federativas, lo que podría optimizar el acceso a los servicios de salud. Además, los hallazgos sobre las agrupaciones espaciales en la prevalencia de servicios otorgados a pacientes con neoplasias sugieren la necesidad de una exploración más profunda para identificar características específicas de estos pacientes en distintas regiones. Por ejemplo, se podría reducir la granularidad del análisis a nivel municipal e incluir información socioeconómica, así como considerar indicadores de inclusión social, para caracterizar mejor los grupos sociales en las entidades federativas [Pozos, 2022].

5. Conclusiones

En conclusión, se ha demostrado que la proporción de servicios de salud se correlaciona con la proporción de la población en las entidades federativas, específicamente en el caso de enfermedades del sistema circulatorio, respiratorio,

y enfermedades endocrinas, nutricionales y metabólicas. Además, se identificó que la movilidad de los pacientes hacia instituciones médicas fuera de su entidad de residencia afecta significativamente esta proporción. En particular, la Ciudad de México se destaca como la entidad que recibe el mayor porcentaje de pacientes externos, con un 43%. El Estado de México, a su vez, representa la mayor proporción de pacientes que se trasladan a la Ciudad de México para recibir atención, especialmente por enfermedades del sistema circulatorio y respiratorio.

Para el caso de los servicios otorgados a pacientes con Neoplasias, se observó la ausencia de correlación respecto a la población por entidad federativa. Por lo que se realizó un análisis de correlación espacial para explorar posibles agrupaciones espaciales (conjunto de entidades). Se encontró que, con un nivel de significancia de 0.2 para el análisis LISA, del 2018 al 2022, la región conformada por Chihuahua, Durango y Sinaloa, así como la región conformada por colima, Jalisco, Michoacán y Guanajuato, tienen una mayor prevalencia de pacientes con Neoplasias. También la entidad de Baja California Sur, por si sola presentó mayor prevalencia de pacientes con enfermedades de Neoplasias para todos los años.

6. Bibliografía y Referencias

[1] Alcocer, C. Plan Nacional de Salud 2019-2024. Hospital General de México, México. Enero, 2019.

[2] Anselin, L. Local Indicators of Spatial Association - LISA. Geographical Analysis, vol. 27, no. 2, p. 93-115., Ohio, Estados Unidos. 1995.

[3] Cerón, J. A., Reyes, M. S., Muñoz, F., Gutiérrez, J. A. Análisis espacial comparativo 2021-2022 de la pandemia por covid-19 y sus efectos en la pobreza en México. Contaduría y administración, vol. 67 no. 4, p. 279-302, Ciudad de México, México. Marzo, 2023.

[4] Dantés, O. G., Sesma, S., Becerril, V. M., Knaul, F. M., Arreola, H., Frenk, J. Sistema de salud de México. Salud pública de México, vol. 53, no. 2, p. s220-s232, Morelos, México. 2011.

[5] DGIS. Datos Abiertos – Egresos Hospitalarios. http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/da_egresoshosp_gobmx.html.

[6] Dirección General de Epidemiología. Panorama Epidemiológico de las Enfermedades No Transmisibles en México 2021. Secretaría de Salud, México. Junio, 2022.

[7] INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020. En línea https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#datos_abiertos.

[8] INEGI. Encuesta Nacional de Empleo y Seguridad Social (ENESS) 2017. Información Demográfica y Social. México. 2017.

[9] Legetic, B., Medici, A., Hernández, M., Alleyne, G. A., Hennis, A. Las dimensiones económicas de las enfermedades no transmisibles en América Latina y el Caribe. Organización Panamericana de la Salud. 2017.

[10] Moran, P. A. P. Notes on Continuous Stochastic Phenomena. Biometrika, vol. 37, no. 1/2, p. 17-23, Oxfordshire, Inglaterra. 1950.

[11] Park, C., Clemenceau, J. R., Seballos, A., Crawford, S., Lopez, R., Coy, T., Hwang, T. H. A spatiotemporal analysis of opioid poisoning mortality in Ohio from 2010 to 2016. Scientific reports, vol. 11, no 1, p 4692, Estados Unidos. Febrero, 2021.

[12] Pozos, E. E. S., Luna, G. L. M., Arenas, A. G. Storytelling to Visualize Changes in Regions Based on Social Inclusion Indicators. International Congress of Telematics and Computing, p. 173-188, Mexico. 2022.

[13] Siabato, W., Guzmán, J. La autocorrelación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa. Cuadernos de Geografía, vol. 28, no 1, p. 1-22, Bogotá, Colombia. 2019.

[14] UNAM. Infraestructura de Datos Espaciales Abiertos. En línea https://www.gits.igg.unam.mx/idea/inicio, Último acceso, Julio, 2024.

[15] WHO. CIE-10. En línea https://icd.who.int/browse10/2019/en. Último acceso, Julio, 2024.

[16] World Health Organization. Noncommunicable diseases country profiles 2018. Ginebra, Suiza. 2018.