

APLICACIONES DEL ANÁLISIS ESPACIAL EN LAS PERSONAS QUE VIVEN CON VIH/SIDA: UNA REVISIÓN PANORÁMICA

APPLICATIONS OF SPATIAL ANALYSIS IN PEOPLE LIVING WITH HIV/AIDS: A SCOPING REVIEW

Luis E. Del Moral-Trinidad¹, Gilberto Silva-Bañuelos¹, Melva G. Herrera-Godina¹, Luz Alicia González-Hernández²

¹ Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara.

² Unidad de VIH, Antiguo Hospital Civil de Guadalajara, InVIH, Universidad de Guadalajara.

Correspondencia:
gilberto.silva9305@alumnos.udg.mx

RESUMEN

Introducción: El análisis espacial se ha utilizado para diversos propósitos en la población que vive con el VIH; la mayor parte de la información está relacionada con la incidencia en áreas específicas. El objetivo de esta revisión panorámica fue sintetizar las aplicaciones del análisis espacial en el estudio de la población que vive con el VIH.

Materiales y Métodos: La metodología para esta revisión fue desarrollada por PRISMA-SCR (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews) y ajustada por Tricco et al.¹³, para revisiones panorámicas.

Resultados: Los resultados se agruparon en cinco categorías: 1. Detección de conglomerados, 2. Epidemiología Especial, 3. Análisis espacio-temporal, 4. Accesibilidad a los servicios de salud, y 5. Métodos de prevención y modelos conjuntos de enfermedades asociadas.

Discusión: Los resultados muestran la variedad de aplicaciones de este tipo de análisis en múltiples contextos, y los objetivos de cada estudio son un ejemplo de los diversos aportes de esta metodología a la lucha contra la pandemia del VIH/SIDA.

Palabras clave: VIH, análisis espacial, SIDA, revisión panorámica

ABSTRACT

Introduction: Spatial analysis has been utilized for various purposes among populations living with HIV, with most information focusing on incidence rates in specific areas. The aim of this comprehensive review is to synthesize the applications of spatial analysis within this demographic.

Materials and Methods: The methodology for this scoping review was developed by PRISMA-SCR (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews) and adjusted by Tricco et al.¹³, for scoping reviews.

Results: The findings were organized into five distinct categories: 1. Cluster detection, 2. Special Epidemiology, 3. Spatio-Temporal analysis, 4. Accessibility to health services and, 5. Methods of prevention and joint models of associated diseases.

Discussion: The results demonstrate the diverse applications of this analysis across various contexts, highlighting how the objectives of each study exemplify the significant contributions of this methodology to combating the HIV/AIDS pandemic.

Keywords: HIV, spatial analysis, AIDS, Scoping review

Recibido: 26-10-2023

Aceptado: 07-10-2024

Publicado: abril 2025

DOI: 10.5354/0719-5281.2025.71987

INTRODUCCIÓN

Según datos del Programa de las Naciones Unidas sobre el VIH/SIDA, para finales del 2023 se estimaba que había 39.9 millones de personas viviendo con VIH (PVVS) a nivel mundial, de las cuales 38.6 millones eran adultos mayores de 15 años. De este total, la mayoría correspondía a mujeres, estimándose alrededor de 630,000 fallecimientos asociados a esta enfermedad ese mismo año. Si bien las nuevas infecciones y las muertes asociadas han disminuido gradualmente desde 2004 gracias a las diversas políticas implementadas, aún se requieren avances para reducir la incidencia anual de la enfermedad¹.

Se ha descrito que la epidemia por VIH presenta variaciones en su prevalencia específica para los diferentes grupos poblacionales y las regiones donde se localiza, tanto a nivel local como internacional. En ciertas regiones del mundo, la respuesta a la epidemia del VIH ha sido efectiva a pesar de circunstancias adversas como la pandemia por COVID-19, la crisis humanitaria en diferentes zonas y los conflictos bélicos en algunos países². Si bien se ha logrado un avance sustancial en la disminución de nuevas infecciones, se ha observado una inversión de la tendencia regional, reportándose que la mayoría de las nuevas infecciones están ocurriendo fuera de la región subsahariana africana. Esto implica la necesidad de reforzar las intervenciones para el control del VIH en regiones como Asia central, América Latina y África del Norte³.

Así, para conocer la dinámica de la epidemia es necesario hacer uso de diferentes herramientas para lograr una caracterización más profunda, una de estas herramientas son los sistemas geográficos que permiten identificar poblaciones clave y situarlas en su contexto para desarrollar intervenciones de prevención dirigidas².

Por lo tanto, documentar, analizar y entender la variación espacial de la prevalencia y otras variables relacionadas con la epidemiología del VIH es esencial para abordar la epidemia en los sectores más afectados. Los métodos de análisis geoespaciales son herramientas básicas para cumplir este objetivo, en particular el análisis espacial⁴. La literatura señala cuatro aplicaciones básicas del análisis espacial en el contexto de los problemas de salud que son: la vigilancia de enfermedades, el análisis de factores de riesgo, la proyección de utilización de los servicios de salud y la creación de perfiles de poblaciones en riesgo en diferentes zonas^{4,5}.

Entre algunos antecedentes sobre la aplicación del análisis espacial en epidemiología podemos mencionar que se han desarrollado estudios para identificar el agrupamiento de muertes por enfermedades crónicas no transmisibles como cáncer y diabetes en países en vías de desarrollo⁶; también se ha utilizado para el entendimiento de enfermedades infecciosas como la malaria y la tuberculosis⁶. En relación con las personas que viven con VIH, se ha aplicado para entender la prevalencia, agrupamiento y distribución de nuevos casos, la mortalidad e identificación de micro epidemias, la identificación de poblaciones de alto riesgo de exposición y los factores de riesgo asociados, entre otros⁷⁻¹⁰.

En resumen, entender los patrones de la epidemia de VIH y su relación con las características geográficas, así como el impacto que tiene el contexto que rodea a esas poblaciones, permitirá crear intervenciones específicas para controlar esta problemática¹¹. Aunque existe evidencia sobre el análisis espacial y su relación con la dinámica del VIH/SIDA en diferentes poblaciones, se carece de una integración de esta evidencia que sirva como base para visualizar como ha sido la aplicación de este método. De este modo, el objetivo del presente estudio fue sintetizar la información relacionada con las aplicaciones del análisis espacial en el estudio de las personas que viven con VIH/SIDA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para guiar este trabajo se conceptualizó la pregunta de investigación formulada utilizando la estructura PCC¹², con la población siendo las personas que viven con el VIH/SIDA, el concepto siendo las aplicaciones del análisis espacial, y el contexto no siendo aplicable, dando como resultado la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las aplicaciones del análisis espacial en el estudio de las personas que viven con el VIH/SIDA?

La metodología se desarrolló siguiendo las directrices recomendadas para revisiones sistemáticas, propuestas por PRISMA-SCR (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extensión for Scoping Reviews) y ajustadas por Tricco et al., para revisiones panorámicas¹³.

En este estudio, el análisis espacial se considera como un "grupo de métodos cuyos resultados cambian cuando cambia la localización de los objetos analizados", y existen múltiples técnicas estadísticas para su uso entre las cuales podemos mencionar la ponderación de distancia inversa (IDW), la distancia inversa ponderada vecina natural (NNIDW), la interpolación de Spline, el método Kriging, la identificación de conglomerados, la correlación espacial y la regresión espacial¹⁴.

Criterios de selección

Los criterios principales para la selección de los estudios fueron los artículos disponibles en inglés o español, los estudios cuantitativos empíricos en poblaciones adultas o pediátricas. Sólo se incluyeron los artículos disponibles en su versión completa. Se excluyeron los artículos cuyo análisis principal no era el "análisis espacial", artículos de revisión, metaanálisis y artículos con solo resúmenes disponibles, pero no el artículo completo.

Fuentes de información

La elección de las bases de datos se basó en su capacidad de acceder a artículos de revistas indexadas en múltiples continentes, así como en su inclusión de resultados tanto en español como en inglés. Consecuentemente, se utilizaron PubMed y la Biblioteca Virtual de Salud (BVS) para la obtención de los artículos de investigación.

Búsqueda

Se realizó una búsqueda en PubMed y BVS utilizando una combinación de términos controlados (MeSH y DeCS). Para PubMed, se empleó la siguiente estrategia: se usaron los términos ("HIV"[MeSH] AND "Spatial Analysis"[MeSH]) y se incluyó el filtro por artículos con texto completo gratuito ("Free Full text") arrojando un total de 59 resultados de los cuales 5 fueron incluidos en la selección final.

En BVS, la búsqueda se realizó empleando los términos DeCS "VIH" AND "Análisis Espacial" combinados con los filtros: "Estudios de prevalencia", "Estudios de incidencia", y "Factores de riesgo". Además, se limitaron los resultados a aquellos que contuvieran texto completo y fueron publicados en el título, resumen o como asunto principal. Esta búsqueda resultó en 1963 resultados, de los cuales 26 fueron seleccionados para el análisis final.

Selección de la fuente de información

Se realizó un proceso sistemático para la selección de los artículos. Inicialmente, se seleccionaron los títulos para identificar los artículos que coincidían con los términos de búsqueda. Posteriormente, la metodología y la población estudiada fueron evaluadas a partir del resumen, utilizando los criterios de selección ya descritos. Los artículos seleccionados basados en el resumen fueron revisados en su totalidad.

La búsqueda, revisión y selección de artículos se realizó durante 8 semanas (septiembre-noviembre 2022) por dos autores y los manuscritos incluidos estaban en el rango de años entre 2015 a 2021.

Los artículos seleccionados fueron sistematizados analíticamente en una matriz de concentración que permitió su organización. Para cada artículo, se consideraron los siguientes elementos: autor principal, año de publicación, país de origen, diseño, características de la muestra, método de análisis espacial y resultados.

Para alcanzar la síntesis se agruparon los diferentes estudios por categorías a fin de comparar de manera más clara los diversos objetivos. También se contemplaron las semejanzas en las variables de estudio y las diferencias poblacionales, de diseño, de metodología y de análisis aplicados. Todo esto sirvió para la clasificación de categorías propuestas por los autores basadas en la temática de los artículos revisados.

Para la creación de las categorías se consultó entre los autores las principales temáticas encontradas en los artículos revisados, después se seleccionaron las principales categorías propuestas por los cuatro autores. En el caso de las categorías donde no hubiera un consenso se consultó a un revisor externo para la decisión final.

Evaluación crítica de las distintas fuentes de pruebas

No se utilizó ningún instrumento específico para evaluar la calidad de los artículos. Sin embargo, se confirmó la alineación entre los objetivos y resultados de los estudios y los de esta revisión panorámica.

RESULTADOS

Selección de las fuentes de prueba

La búsqueda de los artículos en BVS arrojó un total de 1963 resultados, que después de la eliminación de duplicados y de los no disponibles en texto completo quedó en 1748. De estos fueron excluidos 418 por no cumplir los criterios de inclusión y 1330 artículos fueron evaluados para admisibilidad al estudio. El principal motivo de exclusión fue que el análisis espacial era secundario a los objetivos de los estudios encontrados. De la búsqueda en BVS se obtuvieron 26 artículos que cumplían los criterios de esta revisión.

En relación con la búsqueda en PubMed, se identificaron 59 artículos utilizando las palabras clave de los cuales 5 artículos cumplieron con los criterios de selección de la revisión. En total, 31 artículos fueron seleccionados de ambas búsquedas. La figura 1 muestra el diagrama de flujo del proceso de selección.

Características de los estudios

De los 31 artículos seleccionados, el 60% fueron publicados en los últimos 5 años. La mayoría de los resultados procedían de África (Burundi, Camerún, República Democrática del Congo, Etiopía, Kenia, Mozambique, Uganda y Zimbabwe), seguida de América (Estados Unidos, Colombia y Brasil) y finalmente de Asia (China, India y Malasia). Por otro lado, el diseño metodológico más frecuente fue el de los estudios transversales ($n=22,74\%$), seguidos de los estudios ecológicos ($n=5,14\%$) y finalmente de los estudios de cohorte ($n=4,12\%$).

Síntesis de los resultados

Las categorías de aplicaciones para el análisis espacial de las poblaciones que viven con el VIH aquí propuestas son: la detección de conglomerados, la epidemiología espacial, el análisis espaciotemporal, la accesibilidad a los servicios de salud y los métodos de prevención y los modelos espaciales de enfermedades asociadas.

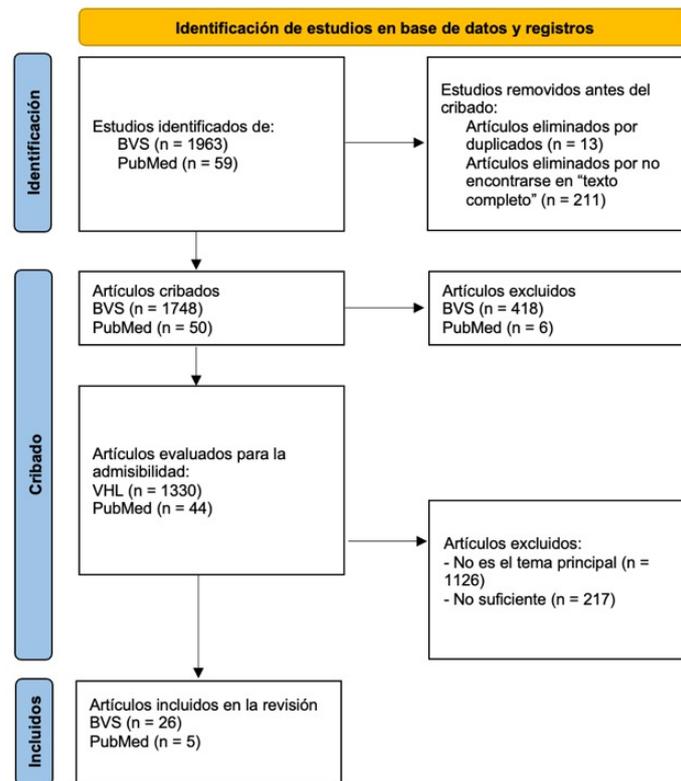
Detección de conglomerados

Una de las técnicas de análisis espacial más utilizadas en los artículos revisados fue la detección de conglomerados, seis estudios aplicaron sólo esta técnica en su estudio¹⁵⁻²⁰ y diez estudios la complementaron con otra técnica de acuerdo con los objetivos establecidos²¹⁻³⁰.

Para clasificar los artículos en esta categoría se incluyeron aquellos que buscaran encontrar grupos de puntos o individuos que comparten similitudes o proximidad en un espacio determinado para poder identificar patrones espaciales significativos. Entre las diversas técnicas para encontrarlos tenemos las de autocorrelación espacial como el índice de Moran y el escaneo espacial de Kulldorff.

En cuanto a las aplicaciones de detección de conglomerados, la descripción de la incidencia de VIH/SIDA en las poblaciones fue la aplicación más frecuente^{15-20,25,27,29-31}. La tabla 1 resume los principales resultados de los estudios que utilizaron la identificación de conglomerados como uno de sus análisis para caracterizar la distribución espacial de las personas que viven con el VIH.

Figura 1. Diagrama de flujo de la selección de los estudios



Adaptado y traducido de: Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. PLoS Med. 2009;6(7):e1000097. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed1000097>

Tabla 1. Estudios que utilizan la detección y el análisis de conglomerados para caracterizar la distribución espacial de las personas que viven con el VIH.

Autor	País/año	Análisis	Muestra	Resultados principales
Li et al.(15)	China	La estadística I de Global Moran se utilizó para evaluar la autocorrelación espacial global, mientras que el indicador local de asociación espacial (LISA) se utilizó para identificar las localizaciones específicas de los conglomerados.	31,015	El análisis de LISA identificó tres localidades de alto nivel distribuidas en las ciudades B y C y el condado D y dos localidades de alto nivel en los condados A y E, que incluyeron 2.844 pacientes con MMT y 1.041 casos de VIH, con una tasa de infección del 36,60%.
Chen et al.(16)	China/2019	Se utilizó un software de SatScan para identificar clusters globales y se utilizó un análisis multivariado para determinar la relación entre variables	6119	Entre las infecciones recientes atribuidas al contacto heterosexual, se detectaron tres grupos no superpuestos estadísticamente significativos.

Autor	País/año	Análisis	Muestra	Resultados principales
Jiang et al.(17)	China/2019	La estadística I de Global Moran se utilizó para evaluar la autocorrelación espacial global, mientras que el indicador local de asociación espacial (LISA) se utilizó para identificar las localizaciones específicas de los conglomerados.	3745	El análisis de LISA identificó los focos críticos (Alto-Alto) del VIH/SIDA. Se observaron aleatoriamente focos de casos asociados al consumo de drogas en toda la zona.
Carrel et al.(18)	República Democrática del Congo/ 2016	Un modelo bayesiano para identificar clusters, para cada clúster estimaron la proporción de individuos que dieron positivo para el VIH, y luego encajaron modelos lineales generalizados bayesianos con efectos espaciales aleatorios y una intercepción como única covariable.	All country	La interpolación del VIH a nivel de grupos en el país sugiere que la prevalencia del VIH aumenta en el noreste y partes del sureste, pero en general sigue siendo baja en gran parte del país.
Kibret et al.(19)	Etiopia/ 2019	La estadística I de Global Moran se utilizó para evaluar la autocorrelación espacial global, mientras que el indicador local de asociación espacial (LISA) se utilizó para identificar las localizaciones específicas de los conglomerados.	Todo el país	El análisis de autocorrelación espacial reveló la presencia de conglomerados estadísticamente significativos a 0,01, nivel de significación en cada encuesta.
Waruru et al.(20)	Kenia/ 2018	Detección de conglomerados de Kulldorff para describir la variación espacial de la incidencia del VIH	Todo el país	Alrededor de la mitad de los lugares de la encuesta, 112/238 (47%) tenían altas tasas de VIH (conglomerados de alta prevalencia), con 1,1-4,6 veces más adultos con VIH que lo esperado.
Terzian et al.(21)	Estados Unidos/ 2020	La estadística I de Global Moran se utilizó para evaluar la autocorrelación espacial global. Para identificar un conglomerado de alta prevalencia o de baja prevalencia estadísticamente significativo, se calcularon las puntuaciones Z para cada código ZIP como la diferencia entre la suma de los valores observados y esperados de retención o supresión viral con respecto a sus vecinos en relación a todos los códigos ZIP.	5221	Se observaron agrupaciones geográficas de retención, con un patrón de retención más bajo en el noreste, y retención significativamente más bajos en dos códigos postales.
Eberhart et al.(22)	Estados Unidos/ 2013	La función K se utilizó para determinar si un patrón de puntos dado está más agrupado o disperso que un patrón de puntos de aleatoriedad espacial completa y luego "local# k-función se utilizó para la búsqueda de conglomerados locales.	1704	Entre las personas vinculadas al cuidado, los residentes dentro de las áreas geográficas identificadas por el análisis local de la función K tuvieron más probabilidades de no vincularse al cuidado en un plazo de 90 días, en comparación con los residentes fuera de esas áreas.
Schaefer et al.(23)	Zimbabue/ 2017	Se utilizaron estadísticas de exploración espacial de Kulldorff para detectar conglomerados significativos de alta o baja prevalencia del VIH	Todo el país	Identificaron conglomerados de alta y baja prevalencia de VIH y de utilización de los servicios de conserjería para prevención de VIH.
Cuadros et al.(24)	Camerún/ 2016	Se utilizaron estadísticas de exploración espacial de Kulldorff para detectar conglomerados significativos de alta o baja prevalencia del VIH	17,863	En Kenya, Malawi y Tanzania se identificaron agrupaciones espaciales con un número significativamente elevado de parejas serodiscordantes, que se superponían en gran medida con las agrupaciones con una alta prevalencia del VIH.
Feng et al.(25)	China/2021	La estadística I de Global Moran se utilizó para evaluar la autocorrelación espacial global, mientras que el indicador local de asociación espacial (LISA) se utilizó para identificar las localizaciones específicas de los conglomerados.	77,958	De 2008 a 2019, todos los valores globales de I de Moran fueron mayores que 0 ($P < 0,01$), lo que indicaba una agrupación significativa de casos de VIH/sida entre adultos mayores en todo Sichuan cada año.

Autor	País/año	Análisis	Muestra	Resultados principales
Zhang et al.(26)	China/2021	Se utilizó el Índice de Moran (I) para medir el patrón de distribución del porcentaje de suicidios entre las personas que viven con VIH en todo el país y se eligió la estadística Getis como parámetro para identificar los conglomerados locales.	645,473	La distribución de los suicidios no estaba en consonancia con los patrones geográficos del VIH en China, los focos de mortalidad por suicidio a nivel de las ciudades también estaban concentrados en las zonas situadas en la costa meridional y oriental de China.
Hailu et al.(27)	2020	Se utilizó el software de SatScan para identificar los clústeres globales, mientras que el indicador local de asociación espacial (LISA) se utilizó para identificar las ubicaciones específicas de los clústeres. La estadística de escaneo de Kulldorff se utilizó para identificar y evaluar los factores de riesgo de clústeres espaciales estadísticamente importantes y la interpolación con QGIS se utilizó para evaluar la autocorrelación espacial.	25,774	El mapa de conglomerados de LISA mostró una $p < 0,001$ con una I de Moran de 0,432. El Moran I indicó patrones de agrupación. SaTScan identificó los grupos espaciales primarios más probables para el VIH. Se obtuvieron un total de 6 clusters por orden del análisis espacial SaTScan y sólo 4 clusters obtuvieron ganancias circulares estadísticamente significativas.
Krishnamoorthy et al.(28)	India/2021	Se utilizó el Índice de Moran (I) para medir el patrón de distribución del porcentaje de suicidios entre las personas que viven con VIH en todo el país y se eligió la estadística Getis como parámetro para identificar los conglomerados locales.	230,213	El I de Moran era de 0,377, lo que sugiere una autocorrelación espacial positiva. En el mapa de conglomerados LISA se indicaban 60 distritos críticos de la India, principalmente en estados meridionales como Karnataka, Andhra Pradesh y Telangana, seguidos de estados nororientales como Nagaland, Manipur, Mizoram, Tripura y Assam.
Okoli et al.(29)	Kenia/ 2019	Se utilizó el Índice de Moran (I) para medir el patrón de distribución general y se eligió la estadística Getis como parámetro para identificar los conglomerados locales.	304	El análisis reveló conglomerados con significancia estadística de mujeres que viven con VIH que no usan anti-conceptivos en localidades de Nyanza y partes de Nairobi.
Wang t al.(30)	China/2017	La estadística I de Global Moran se utilizó para evaluar la autocorrelación espacial global, mientras que el indicador local de asociación espacial (LISA) se utilizó para identificar las localizaciones específicas de los conglomerados.	Todo el país	Las tasas de incidencia del SIDA se han agrupado geográficamente. En particular, entre 2011 y 2017, el índice global de Moran I subió rápidamente de 0,114 a 0,312

Acceso a los servicios de salud

En esta categoría de incluyeron artículos cuya temática se des- envolviera en la utilización de los servicios de los usuarios o la distancia de los individuos con las instalaciones de salud. Existe muchas técnicas de análisis espacial que pueden aplicarse en esta temática como las técnicas de interpolación para el cálculo de distancia entre dos puntos ya sea lineal, Kriging, por Splines, entre otras¹⁴.

Bajo este tema, tres estudios analizaron el acceso a los servicios de salud en la atención del VIH/SIDA³¹⁻³³. Destacan los estudios que estudian la distancia y ubicación de los servicios de salud en relación con el uso y disponibilidad de los servicios para los usuarios, tanto en la detección oportuna como en el tratamiento continuo. La tabla 2 resume los artículos clasificados en esta categoría.

Tabla 2. Estudios que evalúan el acceso a los servicios de salud relacionados con el VIH.

Autor	País/año	Análisis	Variable(s) estudiada	Resultados principales
Agbadi et al.(32)	Mozambique /2020	Utilizaron una técnica de interpolación espacial con datos de geolocalización a nivel de clúster para identificar clústeres y estimación de la densidad kernel con anchos de banda adaptativos (prevR) para generar estimaciones subnacionales del VIH.	Acceso a pruebas de detección VIH	La observación general es que las zonas con mayor prevalencia de las pruebas de detección del VIH se encuentran en las provincias meridionales y las zonas con menor prevalencia en las provincias septentrionales.
Akullian et al.(31)	Uganda/ 2016	Se calculó la distancia en línea recta (euclidiana) entre cada residencia y el centro de salud al que se accedió, así como entre cada residencia y el centro de salud más cercano	Distancia a los servicios de salud	Las personas con VIH/SIDA viajaron un promedio de 1,92 km más lejos (IC 95% (0,63 a 3,21 km), p=0,004) que las personas VIH-negativas para acceder a la atención de salud.
Goswami et al.(33)	Estados Unidos/ 2014	Se utilizaron los coeficientes de correlación de Spearman para evaluar las asociaciones entre variables sociocontextuales y desenlaces primarios, utilizando áreas de tabulación de código postal como unidad de análisis.	Vinculación a los servicios de salud	En las áreas de códigos postales con altos índices de pobreza, la gran disponibilidad de lugares que dispensan bebida alcohólicas, no tener auto propio y un alto número de paradas de autobús se relacionó de manera significativa con la no vinculación a los servicios de salud.

Análisis espacio-temporal

Esta temática fue construida basada en el supuesto de aquellos artículos cuyo análisis estuviera orientado a comprender los cambios de los fenómenos geográficos a través del espacio y del tiempo. Entre las técnicas implicadas en esta temática podemos encontrar la autocorrelación espacial, el índice de Moral para conglomerados, entre otros¹⁴.

Se clasificaron cuatro estudios bajo este tema, cuyo principal objetivo fue identificar las variaciones de las variables epidemiológicas del VIH a lo largo del tiempo y su asociación y distribución en el territorio analizado^{25,34-36}. La tabla 3 resume los artículos incluidos en esta temática.

Tabla 2. Estudios incluidos en la temática de análisis espacio temporal.

Autor	País/año	Análisis	Variable(s) estudiada	Resultados principales
Feng et al.(25)	China/2021	La estadística I de Global Moran se utilizó para evaluar la autocorrelación espacial global, mientras que el indicador local de asociación espacial (LISA) se utilizó para identificar las localizaciones específicas de los conglomerados.		De 2008 a 2019, todos los valores globales de I de Moran fueron mayores que 0 ($P < 0,01$), lo que indicaba una agrupación significativa de casos de VIH/sida entre adultos mayores en todo Sichuan cada año.
González et al.(35)	Mozaambique /2015	Se utilizó el método de Kulldorf para encontrar conglomerados	Incidencia de VIH	Se identificaron diferentes conglomerados en la ciudad con un exceso de incidencia desde 2010 a 2015
Montana et al.(34)	Colombia/2021	La estadística I de Global Moran se utilizó para evaluar la autocorrelación espacial global, mientras que el indicador local de asociación espacial (LISA) se utilizó para identificar las localizaciones específicas de los conglomerados.	Incidencia de VIH /Mortalidad por VIH/SIDA	Entre 2008 y 2016, todas las autocorrelaciones espaciales univariadas de los índices de Moran Global fueron positivas y estadísticamente significativas, tanto para la incidencia de VIH/SIDA como para la mortalidad por SIDA.
Chen et al.(36)	China /2021	Se utilizó el índice local de Moran para explorar el agrupamiento espacio-temporal de los casos de VIH/SIDA	Prevalencia de VIH	Entre 2011 y 2016, se encontró que los valores de I de Moran variaron de 0.33 a 0.94, lo que indica que los casos de VIH/SIDA estaban agrupados en lugar de distribuidos aleatoriamente, excepto por el año 2011.

Epidemiología espacial

Dentro de esta categoría se clasificaron aquellos estudios que tuvieron como objetivos la descripción de las características epidemiológicas de las PVVS en áreas geográficas, la creación de mapas de distribución y la identificación de factores de riesgo utilizando técnicas de regresión espacial. De manera general se consideró esta categoría para aquellos estudios que estudiaran la distribución geográfica del VIH, sus patrones,

causas y relación con variables sociales. Entre las técnicas de análisis espacial que se utilizaron tenemos la identificación de conglomerados, los métodos de interpolación o cálculo de distancias, los modelos de regresión espacial utilizados para evaluar la influencia de las variables en el contexto del espacio¹⁴.

Ocho de los estudios identificados tenían al menos uno de sus objetivos para ser incluido en este tema³⁷⁻⁴⁴. La tabla 5 resume los artículos incluidos en esta temática.

Autor	País/año	Análisis	Variable(s) estudiada	Resultados principales
Barankarina et al.(37)	Burundi/2016	La estadística global de Moran's I se utilizó para evaluar la autocorrelación espacial general. Luego, se creó un mapa de la prevalencia del VIH utilizando una densidad Kernel gaussiana. Finalmente, se identificaron los cúmulos espaciales con alta y baja prevalencia de VIH mediante las estadísticas de escaneo espacial de Kulldorff	Prevalencia de VIH	Los datos de prevalencia del VIH mostraron autocorrelación espacial (Moran's I = 0.03, p = 0.021), revelando una gran heterogeneidad espacial en la prevalencia del VIH (del 0 al 10 %), sin importar los límites provinciales
Bose et al.(38)	Estados Unidos/2020	La estadística de Moran's I evaluó la dependencia espacial de las tasas de infección por VIH, tanto en general como por género, y la relación entre las tasas de VIH por estado y sus covariables.	Tasas de incidencia por VIH	Se encontró una autocorrelación espacial univariante significativa para la tasa de VIH en hombres (Moran's I: 0.25, p = 0.004, z = 2.92) y para la tasa de VIH en mujeres (Moran's I: 0.214, z = 2.645, p = 0.014). La relación bivariante fue estadísticamente significativa para la tasa de VIH y personas blancas (Moran's I: 0.22, z = 3.03, p = 0.004) y la tasa de VIH y personas negras (Moran's I: 0.304, z = 3.78, p = 0.001).
Bulstra et al.(39)	Estados Unidos /2020	Se calcularon interpolaciones utilizando Kriging para determinar la distribución espacial de la prevalencia del VIH. La estadística global de Moran's I se utilizó para evaluar la autocorrelación espacial general.	Incidencia de VIH	La prevalencia del VIH entre adultos y jóvenes adultos está fuertemente agrupada en el espacio (p < 0.001); los valores observados del índice de Moran's I fueron 0.13 y 0.05, respectivamente (en una escala de -1, completamente disperso, a 1, completamente agrupado).
Feitosa et al.(40)	Brasil/2020	Para analizar el comportamiento de la distribución espacial de los casos, se construyeron mapas temáticos para el período de 2008 a 2016, referentes a los casos reportados de VIH en mujeres embarazadas y los casos reportados de SIDA en niños.	Incidencia de VIH	En cuanto a la distribución espacial de los casos de niños con SIDA registrados en el municipio, se identificó que la mayoría de los casos estaban en la zona Central y solo un caso estaba en la zona Este.
Maranhão et al.(41)	Brasil/2020	El modelo GWR (Regresión Geográficamente Ponderada) se utilizó para explorar las variaciones espaciales en los efectos de las variables independientes en la tasa de mortalidad por SIDA.	Tasa de mortalidad por VIH	La distribución espacial de la tasa de mortalidad bruta muestra que la epidemia está presente más allá de la capital del estado y la región metropolitana, afectando a pequeñas ciudades y alejadas de grandes centros urbanos.

Autor	País/año	Análisis	Variable(s) estudiada	Resultados principales
Moraes et al.(42)	Brasil/2021	La estadística global de Moran's I se utilizó para evaluar la autocorrelación espacial general, mientras que el indicador local de asociación espacial (LISA) se empleó para identificar las ubicaciones específicas de los cúmulos. Para identificar las áreas de riesgo de la epidemia de VIH, se aplicó un análisis de escaneo espacial utilizando el software SaTScan	Incidencia de VIH	Aunque el análisis global de Moran no presentó significancia estadística en ninguno de los cuatro años evaluados, el análisis local de Moran indicó una incidencia baja-baja.
Olakunde et al.(43)	Estados Unidos /2021	La estadística global de Moran's I se utilizó para evaluar la autocorrelación espacial general, mientras que el indicador local de asociación espacial (LISA) se empleó para identificar las ubicaciones específicas de los cúmulos.	Incidencia de VIH	Hubo una autocorrelación espacial global positiva significativa (Moran's I global = 0.42, $p = 0.001$), indicando un agrupamiento significativo de valores similares en la tasa de positividad del VIH a través de los estados.
Sharpe J.(44)	Estados Unidos/2019	Se llevaron a cabo análisis de Moran's I para evaluar la prevalencia del VIH y la incidencia de huracanes en EE.UU. Adicionalmente, se emplearon análisis bivariados de Moran's I para examinar la autocorrelación espacial entre la tasa de casos prevalentes de VIH en un estado y la ocurrencia de eventos de huracanes, así como eventos de huracanes mayores, en estados adyacentes.	Incidencia de VIH	La epidemiología de los huracanes y el VIH pareció estar agrupada espacialmente, lo cual fue confirmado por los resultados de los análisis de autocorrelación espacial. El Moran's I univariado para la prevalencia del VIH fue de 0.1913 (valor Z: 3.46; desviación estándar: 0.0617; pseudo-valor P: 0.003).

Modelos espaciales de enfermedades asociadas

Esta categoría fue creada con el objetivo de señalar que existen aplicaciones del análisis espacial que pueden evaluar la relación entre diferentes enfermedades, en este caso el VIH y otras. Las técnicas de análisis espacial de los estudios en esta categoría son algunos ya mencionados como la identificación de conglomerados y los modelos de regresión espacial.

Cuatro estudios abordan esta cuestión y su característica esencial es identificar si hay grupos de alta prevalencia del VIH que se superponen con grupos de otra enfermedad. En este caso, las investigaciones seleccionadas son asociaciones con el virus del herpes simple 2 (VHS-2), la hepatitis C (VHC), la tuberculosis (TB) y la malaria⁴⁵⁻⁴⁸.

Autor	País/año	Análisis	Variable(s) estudiada	Resultados principales
Okango et al.(45)	Kenia/2016	Realizaron modelado espacial del VIH y HSV-2 entre mujeres en Kenia, relajando ciertas suposiciones, como la suposición de linealidad, permitiendo que la covariable edad tenga un efecto no lineal en la prevalencia del VIH y HSV-2 mediante el uso del modelo de paseo aleatorio de orden 2	Prevalencia de VIH y VHS-2	Se encontró que la edad tiene una relación no lineal tanto con la prevalencia del VIH como con la del HSV-2, y el modelo de coeficientes variables espacialmente ofreció un ajuste significativamente mejor para el HSV-2. La edad de la primera relación sexual también tuvo un mayor efecto en la prevalencia del HSV-2 en la región Costera y algunas partes de la región Noreste, sugiriendo la presencia de matrimonios tempranos o prostitución infantil.

Autor	País/año	Análisis	Variable(s) estudiada	Resultados principales
Aturinde et al.(46)	Uganda/2016	El índice local bivariado de Moran se utilizó para investigar la ocurrencia simultánea y, por lo tanto, la co-agrupación tanto de la tuberculosis (TB) como del VIH. Los conglomerados de TB y VIH se detectaron aplicando las estadísticas de escaneo espacial de Kulldorff.	Incidencia de VIH y TB	El índice de Moran's I bivariado significativamente positivo mostró que, en general, las tasas observadas de TB fueron influenciadas positivamente por las tasas de VIH en el conglomerado y viceversa.
Butt et al.(47)	Estados Unidos/2015	La estadística bivariada local de Moran's I se utilizó para estimar la autocorrelación espacial entre el VIH y el HBV/HCV utilizando un esquema de ponderación de los k vecinos más cercanos.	Incidencia de VIH y VHC	El Moran's I global = 0.153 demostró agrupación espacial de VIH y HBV/HCV en Michigan. Cinco condados fueron identificados como Alto-Alto. El análisis de cúmulos de Poisson identificó dos cúmulos espaciales. El primer cúmulo más probable tuvo un riesgo relativo (RR) de 1.38 ($p < 0.029$) después de ajustar por sexo, raza y estado actual de VIH.
Gwitira et al.(48)	Zimbabue/2018	Se construyeron tres conjuntos de datos para el análisis de casos tanto de VIH/SIDA como de malaria basados en el modelo de Poisson discreto	Incidencia de VIH y malaria	Conglomerados espaciales de VIH/SIDA y malaria, el conglomerado primario significativo para VIH/SIDA con un RR de 1.84 ($p < 0.05$) se detectó en la región sur del país. Los resultados de este estudio también ilustran que hubo cinco distritos donde ocurrió una superposición espacial en las dos enfermedades.

DISCUSIÓN

La literatura analizada en esta revisión presenta la creciente cantidad de información que existe sobre el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), en particular el análisis espacial, en el estudio de las personas que viven con el VIH, así como la gama de información que se puede generar a partir de la aplicación de los diversos métodos estadísticos a los objetos de estudio.

En esta revisión los resultados se dividieron en cinco categorías, siendo la detección de clúster uno de los temas con mayor evidencia incluida en esta revisión¹⁵⁻³⁰. La identificación por conglomerados (cluster) es una forma práctica de utilizar la información sanitaria para planificar intervenciones y supervisar los resultados de las políticas de prevención del VIH⁴⁵. Además, la comprensión de la ubicación, el alcance y los límites de estos grupos, así como sus predictores, factores de riesgo y covariables asociados, es fundamental para crear intervenciones dirigidas a los sectores vulnerables de la población⁴⁶.

Los estudios de Terzian et al. y Eberhart et al. ilustran la utilidad del análisis espacial para identificar conglomerados de pacientes con problemas de retención en el cuidado y supresión virológica⁴⁹. Terzian et al. encontraron que los pacientes dentro de estos conglomerados tenían una retención del 72%, en comparación con el 60% en las zonas fuera de los conglomerados. Por otro lado, Eberhart et al. identificaron áreas en el norte del estado donde se agrupaban los pacientes que no lograron la retención o la supresión, los cuales eran predominantemente hispanos y viajaban más de 30 millas para llegar a su centro de atención⁵⁰. Estos hallazgos resaltan cómo el análisis espacial

puede ayudar a direccionar intervenciones hacia las poblaciones y zonas más vulnerables.

Lo anterior ejemplifica como el análisis espacial puede ser útil para identificar patrones y áreas de oportunidad en la atención, para evaluar la cobertura de los servicios y las zonas que requieren un posible reforzamiento en la atención. Diversos estudios muestran que la distribución geográfica de factores socioeconómicos influyen en eventos de salud como la violencia de pareja, las enfermedades cardiovasculares y la sobredosis por opioides⁵¹⁻⁵³. Esto remarca la necesidad de intervenciones localizadas y, por tanto, la integración de estas técnicas puede mejorar la respuesta de las políticas sanitarias antes problemas diversos.

En cuanto a la categoría de accesibilidad a los servicios de salud, la aplicación del método se utilizó principalmente para explorar la relación entre la distancia y el acceso al tratamiento, la retención, la supresión virológica y para identificar áreas en las que la población se somete a pruebas de VIH³¹⁻³³. Estos estudios muestran que el acceso a los servicios de salud no es homogéneo entre las poblaciones de un mismo territorio. Las barreras difieren dentro del territorio, por lo que es necesario emplear técnicas analíticas que permitan la integración de todas las variables relacionadas, como en el caso del análisis espacial⁵.

El análisis espacial y temporal fue otro de los temas encontrados en esta revisión, que destaca su utilidad para identificar tendencias a lo largo de los años en la incidencia y prevalencia del VIH en un territorio, así como su relación con el mismo^{25,34,35}. Esta aplicación permite descubrir las tendencias de los casos actuales y nuevos de VIH y, al mismo tiempo, crear modelos de predicción del comportamiento de la enfermedad basados en

años anteriores, con el objetivo de orientar a los responsables de la toma de decisiones para dirigir las políticas de prevención a los grupos más afectados⁵⁴.

El estudio de González et al. en 2015 aplicó técnicas espacio-temporales y logró identificar conglomerados de nuevas infecciones por VIH entre 2010 y 2012. Estos investigadores determinaron que durante ese periodo hubo conglomerados significativos, cuyo número aumentó en todas las zonas semi-rurales. Además, el incremento de la prevalencia se relacionaba de forma significativa con las áreas geográficas identificadas en ambos años. Estos resultados permitieron comprender mejor la dinámica de la epidemia en dicha región³⁵.

En cuanto a las categorías de epidemiología espacial y modelos de enfermedad conjunta, se observa que la aplicación del análisis espacial ayuda a describir las características de la distribución del VIH a través de la incidencia y prevalencia, y a relacionarlo con el espacio mediante la identificación de factores de riesgo a través de modelos de regresión espacial, además de relacionar estas características con la co-ocurrencia de otras enfermedades como VHS-2, VHC y TB^{24,26-28,30,36-41,43-48,55}.

Esta metodología puede implementarse para informar a las autoridades sobre la distribución de la enfermedad y las características que hacen a un grupo más susceptible que a otro en cuanto al riesgo de contagio y progresión de la enfermedad. Cabe señalar que la epidemia de VIH no está aislada e interactúa con otras enfermedades, por lo que es importante crear modelos que sirvan para entender la interacción entre las epidemias y el espacio geográfico para generar intervenciones preventivas combinadas^{9,54}.

El análisis espacial permite estudiar una enfermedad de manera global más allá del concepto epidemiológico clásico de "tiempo, espacio y persona". Ampliar el concepto de espacio, concebirlo como algo más que un simple punto geográfico, pero también incluir las condiciones ambientales, el marco social, la cultura, la economía y las interacciones humanas para caracterizar la enfermedad de una manera más holística^{56,57}. En este sentido, este tipo de análisis se presentan como un complemento que permita un estudio más completo de los problemas de salud y las dinámicas de los individuos con su contexto.

La evolución de los sistemas de información geográfica y las técnicas de análisis espacial han emergido como herramientas complementarias para el estudio de problemas de salud y la toma de decisiones más holísticas. Como señala Wang en 2020, el uso de estas tecnologías responde a la creciente complejidad de los problemas de salud actuales⁵⁸. Esto se refleja en el creciente

interés de investigadores y agencias gubernamentales por aplicar estos enfoques no solo en el estudio de las personas que viven con VIH/SIDA, sino también en otros fenómenos de salud⁵⁹⁻⁶¹.

La diversificación de las herramientas utilizadas puede contribuir a la lucha contra el VIH/SIDA, permitiendo la creación de modelos predictivos más exactos y ayudando a identificar patrones que estén relacionados con la distribución geográfica de las personas.

Un aspecto clave sobre el uso del análisis espacial es la privacidad de los usuarios para el uso de sus datos. Puesto que este análisis requiere la geolocalización exacta de las personas, esto plantea el riesgo de vulnerar su deseo de permanecer anónimos. Para esto, se ha explorado la necesidad de usar modelos que protejan los datos de las personas en un término encontrado en la literatura como "geoprivacidad"⁶².

La protección de datos personales se ha convertido en un pilar fundamental en el ámbito de las investigaciones de salud pública, especialmente en un contexto donde la digitalización y el análisis de grandes volúmenes de información juegan un papel crucial⁶². En este sentido, el campo emergente de la salud pública enfrenta el desafío de equilibrar la necesidad de acceso a datos para la investigación y la imperativa protección de la privacidad.

Una limitación significativa de este estudio es la inclusión de artículos únicamente en inglés y español, limitando así la gama de contextos en los que se analiza el problema. Como resultado, la generalización de los hallazgos a todas las poblaciones está restringida.

Los resultados de la revisión presentan categorías propuestas por los autores para sintetizar y mostrar las diferentes aplicaciones del análisis espacial. Sin embargo, estas categorías no son restrictivas, ya que un estudio podría pertenecer a más de una. La clasificación sugerida se basó en el objetivo general de los estudios analizados y no representa la totalidad de los mismos.

En conclusión, el análisis espacial puede ofrecer una visión de conjunto de la relación entre el espacio y la enfermedad. Permite identificar las zonas más afectadas, los factores de riesgo y las variables relacionadas, las tendencias a lo largo de los años y el impacto que la localización de los servicios de salud. Todo ello con el fin de lograr una comprensión holística del comportamiento de las enfermedades, proporcionar herramientas a los responsables de la toma de decisiones y hacer un uso racional y eficiente de los recursos disponibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. UNAIDS/WHO. HIV statistics, globally and by WHO region, 2024. 2024.
2. Lakew Y, Benedict S, Haile D. Social determinants of HIV infection, hotspot areas and subpopulation groups in Ethiopia: evidence from the National Demographic and Health Survey in 2011. *BMJ Open*. 2015;5(11):e008669.
3. UNAIDS. 2024 global AIDS report — The Urgency of Now: AIDS at a Crossroads [Internet]. 2024. Disponible en: <http://www.wipo.int/>
4. Zulu LC, Kalipeni E, Johannes E. Analyzing spatial clustering and the spatiotemporal nature and trends of HIV/AIDS prevalence using GIS: The case of Malawi, 1994-2010. *BMC Infect Dis*. 2014;14(1):1–21.
5. Hallett TB, Anderson SJ, Asante CA, Bartlett N, Bendaud V, Bhatt S, et al. Evaluation of geospatial methods to generate subnational HIV prevalence estimates for local level planning. *Aids*. 2016;30(9):1467–74.
6. Namosha E, Sartorius B, Tanser F. Spatial Clustering of All-Cause and HIV-Related Mortality in a Rural South African Population (2000-2006). *PLoS One*. 2013;8(7):1–8.
7. Kamel Boulos MN, Peng G, Vopham T. An overview of GeoAI applications in health and healthcare. *Int J Health Geogr*. 2019;18(1):1–9. doi: 10.1186/s12942-019-0171-2
8. Kleinschmidt I, Pettifor A, Morris N, Rees H. Geographic Distribution of Human Immunodeficiency Virus in South Africa. *Am J Trop Med Hyg*. 2013;77(6):1163–9.
9. Mee P, Collinson MA, Madhavan S, Root ED, Tollman SM, Byass P, et al. Evidence for localised HIV related micro-epidemics associated with the decentralised provision of antiretroviral treatment in rural South Africa: A spatio-temporal analysis of changing mortality patterns (2007-2010). *J Glob Health*. 2014;4(1).
10. Cuadros DF, Awad SF, Abu-Raddad LJ. Mapping HIV clustering: A strategy for identifying populations at high risk of HIV infection in sub-Saharan Africa. *Int J Health Geogr*. 2013;12:1–9.
11. Cuadros DF, Branscum AJ, Miller FDW, Awad SF, Abu-Raddad LJ. Are Geographical “Cold Spots” of Male Circumcision Driving Differential HIV Dynamics in Tanzania? *Front Public Health*. 2015;3(September):1–8.
12. Pollock D, Peters MDJ, Khalil H, McInerney P, Alexander L, Tricco AC, et al. Recommendations for the extraction, analysis, and presentation of results in scoping reviews. *JBIM Evid Synth*. 2023 Mar 1;21(3):520–32.
13. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O’Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Ann Intern Med*. 2018 Oct 2;169(7):467–73. doi: 10.7326/M18-0850
14. Paramasivam CR, Venkatramanan S. An introduction to various spatial analysis techniques. *GIS and Geostatistical Techniques for Groundwater Science*. 2019;(June):23–30.
15. Li M, Li R, Shen Z, Li C, Liang N, Peng Z, et al. Spatial distribution of HIV, HCV, and co-infections among drug users in the southwestern border areas of China (2004-2014): A cohort study of a national methadone maintenance treatment program. *BMC Public Health*. 2017;17(1):1–13.
16. Chen M, Ma Y, Chen H, Dai J, Luo H, Yang C, et al. Demographic characteristics and spatial clusters of recent HIV-1 infections among newly diagnosed HIV-1 cases in Yunnan, China, 2015. *BMC Public Health*. 2019;19(1):1–11.
17. Jiang L, Li Z, Huang J, Liu B, Yang Y, Lin L, et al. Spatiotemporal clusters of HIV/AIDS infections caused by drug use and heterosexual contact in Ruili city, China 1989-2016. *BMC Infect Dis*. 2019;19(1):925.
18. Carrel M, Janko M, Mwandagaliwa MK, Morgan C, Fwamba F, Muwonga J, et al. Changing spatial patterns and increasing rurality of HIV prevalence in the Democratic Republic of the Congo between 2007 and 2013. *Health Place*. 2016;39:79–85. doi: 10.1016/j.healthplace.2016.02.009
19. Kibret GD, Ferede A, Leshargie CT, Wagnaw F, Ketema DB, Alebel A. Trends and spatial distributions of HIV prevalence in Ethiopia. *Infect Dis Poverty*. 2019;8(1):1–9.
20. Waruru A, Achia TNO, Tobias JL, Ng’Ang’A J, Mwangi M, Wamicwe J, et al. Finding Hidden HIV Clusters to Support Geographic-Oriented HIV Interventions in Kenya. *J Acquir Immune Defic Syndr* (1988). 2018;78(2):144–54.
21. Terzian AS, Younes N, Greenberg AE, Opoku J, Hubbard J, Happ LP, et al. Identifying Spatial Variation Along the HIV Care Continuum: The Role of Distance to Care on Retention and Viral Suppression. *AIDS Behav*. 2018;22(9):3009–23. doi: 10.1007/s10461-018-2103-8
22. Eberhart MG, Yehia BR, Hillier A, Voytek CD, Blank MB, Frank I, et al. Behind the cascade: Analyzing spatial patterns along the HIV care continuum. *J Acquir Immune Defic Syndr* (1988). 2013;64(SUPPL. 1):42–51.
23. Schaefer R, Gregson S, Takaruzza A, Rhead R, Masoka T, Schur N, et al. Spatial patterns of HIV prevalence and service use in East Zimbabwe: Implications for future targeting of interventions. *J Int AIDS Soc*. 2017;20(1):1–10.
24. Cuadros DF, Abu-Raddad LJ. Geographical patterns of HIV sero-discordancy in high HIV prevalence countries in sub-Saharan Africa. *Int J Environ Res Public Health*. 2016;13(9).
25. Feng YS, Liu L, Liu L hao, Zeng Y li, Zhang L lin, He F, et al. Epidemiological and spatiotemporal analyses of HIV/AIDS prevalence among older adults in Sichuan, China between 2008 and 2019: A population-based study. *International Journal of Infectious Diseases [Internet]*. 2021;105:769–75. doi: 10.1016/j.ijid.2021.02.077

26. Zhang H, Feng Y, Li Z, Xiu X, Wang L. Spatial analysis and risk factors of suicide among people living with HIV/AIDS who committed suicide. *Int J Std Aids*. 2021;32(6):490–500. doi: 10.1177/0956462420977972
27. Hailu BA, Tadese F, Bogale GG, Molla A, Miheretu BA, Beyene J. Spatial patterns and associated factors of HIV Seropositivity among adults in Ethiopia from EDHS 2016: a spatial and multilevel analysis. *BMC Infect Dis*. 2020;20(1):1–11.
28. Krishnamoorthy Y, Majella MG, Rajaa S, Bharathi A, Saya GK. Spatial pattern and determinants of HIV infection among adults aged 15 to 54 years in India – Evidence from National Family Health Survey-4 (2015-16). *Tropical Medicine and International Health*. 2021;26(5):546–56.
29. Okoli ML, Alao S, Ojukwu S, Emechebe NC, Ikhuoria A, Kip KE. Predictive and spatial analysis for estimating the impact of sociodemographic factors on contraceptive use among women living with HIV/AIDS (WLWHA) in Kenya: Implications for policies and practice. *BMJ Open*. 2019;9(1):1–15.
30. Wang Y, Zhao C, Liu Z, Gao D. Spatiotemporal analysis of AIDS incidence and its influencing factors on the Chinese mainland, 2005-2017. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(3):1–19.
31. Akullian AN, Mukose A, Levine GA, Babigumira JB. People living with HIV travel farther to access healthcare: A population-based geographic analysis from rural Uganda. *J Int AIDS Soc*. 2016;19(1):1–8.
32. Agbadi P, Nutor JJ, Darkwah E, Duah HO, Duodu PA, Alhassan RK, et al. Covariates and spatial interpolation of hiv screening in mozambique: Insight from the 2015 aids indicator survey. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(16):1–15.
33. Goswami ND, Schmitz MM, Sanchez T, Dasgupta S, Sullivan P, Cooper H, et al. Understanding local spatial variation along the care continuum: The potential impact of transportation vulnerability on HIV linkage to care and viral suppression in high-poverty areas, Atlanta, Georgia. *J Acquir Immune Defic Syndr* (1988). 2016;72(1):65–72.
34. Montana JF, Ferreira GRON, Cunha CLF, de Queiroz AAR, Fernandes WAA, Polaro SHI, et al. The HIV epidemic in Colombia: spatial and temporal trends analysis. *BMC Public Health*. 2021;21(1):1–14.
35. González R, Augusto OJ, Munguambe K, Pierrat C, Pedro EN, Sacooc C, et al. HIV incidence and spatial clustering in a rural area of southern Mozambique. *PLoS One*. 2015;10(7):1–13.
36. Chen W, Yang J, Jiang J, He L, Xu Y, Zheng J, et al. A spatial analysis of the epidemiology of HIV-infected students in Zhejiang province, China. *BMC Infect Dis*. 2021;21(1):1–8.
37. Barankanira E, Molinari N, Niyongabo T, Laurent C. Spatial analysis of HIV infection and associated individual characteristics in Burundi: Indications for effective prevention. *BMC Public Health*. 2016;16(1):1–11. doi: 10.1186/s12889-016-2760-3
38. Bose S. Demographic and spatial disparity in HIV prevalence among incarcerated population in the US: A state-level analysis. *Int J STD AIDS*. 2018;29(3):278–86.
39. Bulstra CA, Hontelez JAC, Giardina F, Steen R, Nagelkerke NJD, Bärnighausen T, et al. Mapping and characterising areas with high levels of HIV transmission in sub-Saharan Africa: A geospatial analysis of national survey data. *PLoS Med*. 2020;17(3):e1003042.
40. Feitosa JMF, Conceição HN da, Câmara JT, Chaves TS, Pereira BM, Pinheiro Moura LR, et al. Análise epidemiológica e espacial de HIV/AIDS em crianças e gestantes. *Revista de Enfermagem UFPE on line*. 2019;14.
41. Maranhão TA, Alencar CH, Magalhães M de AFM, Sousa GJB, Ribeiro LM, Abreu WC de, et al. Mortality due to acquired immunodeficiency syndrome and associated social factors: a spatial analysis. *Rev Bras Enferm*. 2020;73(Suppl 5):e20200002.
42. Thayse Moraes de Moraes, Wellington Augusto Andrade Fernandes, Paes, Carlos Jaime Oliveira, Glenda Roberta Oliveira Naiff Ferreira I, Gonçalves LHT. Spatiotemporal analysis of the HIV epidemic in older people in a Brazilian Amazon state. *Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia*. 2021;24(1).
43. Olakunde BO, Pharr JR, Adeyinka DA, Conserve DF, Duncan DT. Spatial analysis of HIV infection and the associated correlates among transgender persons in the United States. *AIDS Care - Psychological and Socio-Medical Aspects of AIDS/HIV*. 2022;34(8):1000–7.
44. Danielle Sharpe J. A comparison of the geographic patterns of HIV prevalence and hurricane events in the United States. *Public Health [Internet]*. 2019;171:131–4. doi:10.1016/j.puhe.2019.04.001
45. Okango E, Mwambi H, Ngesa O. Spatial modeling of HIV and HSV-2 among women in Kenya with spatially varying coefficients. *BMC Public Health*. 2016;16(1):1–13.
46. Aturinde A, Farnaghi M, Pilesjö P, Mansourian A. Spatial analysis of HIV-TB co-clustering in Uganda. *BMC Infect Dis*. 2019;19(1):1–10.
47. Butt Z, Grady S, Wilkins M, Hamilton E, Todem D, Gardiner J, et al. Spatial epidemiology of HIV-hepatitis co-infection in the State of Michigan: A cohort study. *Infect Dis*. 2015;47(12):852–61.
48. Gwitira I, Murwira A, Mberikunashe J, Masocha M. Spatial overlaps in the distribution of HIV/AIDS and malaria in Zimbabwe. *BMC Infect Dis*. 2018;18(1):1–10.
49. Terzian AS, Younes N, Greenberg AE, Opoku J, Hubbard J, Happ LP, et al. Identifying Spatial Variation Along the HIV Care Continuum: The Role of Distance to Care on Retention and Viral Suppression. *AIDS Behav*. 2018;22(9):3009–23.

50. Eberhart MG, Yehia BR, Hillier A, Voytek CD, Blank MB, Frank I, et al. Behind the cascade: Analyzing spatial patterns along the HIV care continuum. *J Acquir Immune Defic Syndr* (1988). 2013;64(SUPPL. 1):42–51.
51. Deng S, Liang J, Peng Y, Liu W, Su J, Zhu S. Spatial analysis of the impact of urban built environment on cardiovascular diseases: a case study in Xixiangtang, China. *BMC Public Health* [Internet]. 2024 Aug 31;24(1):2368. Disponible en: <https://bmcpublihealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-024-19884-x>
52. Srinivasan S, Pustz J, Marsh E, Young LD, Stopka TJ. Risk factors for persistent fatal opioid-involved overdose clusters in Massachusetts 2011–2021: a spatial statistical analysis with socio-economic, accessibility, and prescription factors. *BMC Public Health*. 2024 Dec 1;24(1).
53. Okyere J, Ayebeng C, Boateng ENK, Assie RAA, Odoi A, Dzirassah KD, et al. Spatial distribution and determinants of physical intimate partner violence among women in Kenya: Evidence from the 2022 Kenya Demographic and Health Survey. *PLoS One*. 2024 Aug 1;19(8 August).
54. Eryando T. Spatial Analysis for Enhancing the Use of Health Data Availability from Different Sources to Help the Decision-Making Process. *Kesmas: Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*. 2022;17(3):165.
55. Caminha TCS, Ferreira HS, Costa NS, Nakano RP, Carvalho RES, Xavier AFS, et al. Waist-to-height ratio is the best anthropometric predictor of hypertension. *Medicine* [Internet]. 2017;96(2):e5874. Disponible en: <http://insights.ovid.com/crossref?an=00005792-201701130-00041>
56. Sifaki-Pistolla D, Chatzea VE, Frouzi E, Mechili EA, Pistolla G, Nikiforidis G, et al. Evidence-Based Conceptual Collection of Methods for Spatial Epidemiology and Analysis to Enhance Cancer Surveillance and Public Health. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(19).
57. Conners EE, West BS, Roth AM, Meckel-Parker KG, Kwan MP, Magis-Rodriguez C, et al. Quantitative, qualitative and geospatial methods to characterize HIV risk environments. *PLoS One*. 2016;11(5):1–14.
58. Wang F. Why public health needs GIS: a methodological overview. Vol. 26, *Annals of GIS*. Taylor and Francis Ltd.; 2020. p. 1–12.
59. Soleimani M, Ayyoubzadeh SM, Jalilvand A, Ghazisaeedi M. Exploring the geospatial epidemiology of breast cancer in Iran: identifying significant risk factors and spatial patterns for evidence-based prevention strategies. *BMC Cancer*. 2023 Dec 1;23(1).
60. Hadianfar A, Rastaghi S, Tabesh H, Saki A. Application of distributed lag models and spatial analysis for comparing the performance of the COVID-19 control decisions in European countries. *Sci Rep*. 2023 Dec 1;13(1).
61. Li Y, Li J, Dang Y, Chen Y, Tao C. Adverse Events of COVID-19 Vaccines in the United States: Temporal and Spatial Analysis. *JMIR Public Health Surveill*. 2024 Jul 15;10:e51007.
62. Zurbarán MA, Salazar A, Brovelli MA, Wightman PM. An evaluation framework for assessing the impact of location privacy on geospatial analysis. *IEEE Access*. 2020;8:158224–36.