

Moreno Castillo, M. A. y Barcellos, C. (2023). Geoinformática y salud: revisión, caracterización y análisis de plataformas SIG basadas en WEB para vigilancia en salud pública. *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 32, 79-111. <http://dx.doi.org/10.21138/GF.831>

GEOINFORMÁTICA Y SALUD: REVISIÓN, CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE PLATAFORMAS SIG BASADAS EN WEB PARA VIGILANCIA EN SALUD PÚBLICA

^aMaira Alejandra Moreno Castillo , ^bChristovam Barcellos  

Fundação Oswaldo Cruz. Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde, Av. Brasil, 4.365 - Pavilhão Haity Moussatché - Manguinhos, Rio de Janeiro, CEP: 21040-900, Brasil.

mcastillo@aluno.fiocruz.br, christovam.barcellos@fiocruz.br

RESUMEN

El siguiente estudio tiene como objetivo revisar las plataformas SIG basadas en Web (SIG-Web) desarrolladas globalmente para apoyar la vigilancia de la salud pública, analizar sus principales características operativas y funcionales, así como proponer alternativas para mejorar el desarrollo e implementación de estas plataformas en el campo de la vigilancia en salud pública. A través de una revisión de la literatura, se recuperaron 2564 artículos relacionados con el tema, entre los cuales se seleccionaron 15 para identificar, extraer y posteriormente, analizar dichas plataformas SIG-Web, siguiendo seis criterios especialmente desarrollados en este estudio para su análisis. Los resultados apuntan a una gran diversidad de condiciones de desarrollo entre las plataformas SIG-Web analizadas, así como a debilidades en la implementación de recursos esenciales para las actividades de vigilancia. En este sentido, tanto los criterios desarrollados para analizar las plataformas SIG-Web como las soluciones propuestas en este trabajo para mitigar algunas de las brechas identificadas pueden servir como punto de referencia para auxiliar a investigadores de salud pública y desarrolladores a implementar mejor futuras herramientas de este tipo.

Palabras clave: SIG; World Wide Web; vigilancia en salud pública; análisis espacial; visualización de datos

GEOINFORMATICS AND HEALTH: REVIEW, CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF WEB-BASED GIS PLATFORMS FOR PUBLIC HEALTH SURVEILLANCE

ABSTRACT

This study aims to review Web-based GIS (Web-GIS) platforms developed globally to support public health surveillance, analyze their main operational and functional attributes, as well as suggest alternatives to improve the development and implementation of these platforms in public health surveillance field. From a literature review, 2564 relevant articles were retrieved, of which 15 were selected to identify, extract, and analyze these Web-GIS platforms, using six criteria specially designed

for this purpose. Results from this study underscore a broad diversity of development conditions across the examined Web-GIS platforms, and spotlight important gaps in integrating crucial features for surveillance activities. Considering these findings, both the criteria developed to analyze Web-GIS platforms and the solutions proposed in this work to mitigate some of the identified gaps can serve as a reference point to help public health researchers and developers to better implement future tools of this kind.

Keywords: GIS; World Wide Web; public health surveillance; spatial analysis; data visualization

1. Introducción

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) están siendo cada vez más utilizados a nivel mundial como parte de programas de vigilancia de salud pública (Fletcher-Lartey & Caprarelli, 2016). A diferencia de otros sistemas de información utilizados para actividades de vigilancia, las herramientas SIG tienen la capacidad excepcional de interrelacionar datos de salud, población y medio ambiente, permitiendo a los investigadores y autoridades sanitarias mapear enfermedades y evaluar cuantitativamente potenciales riesgos socioambientales para la salud y en diferentes escalas geográficas (Barcellos & Ramalho, 2002; Fletcher-Lartey & Caprarelli, 2016). Definido como un sistema computacional dedicado a capturar, almacenar, manipular, analizar y visualizar datos referenciados espacialmente (Maguire, 1991), el software SIG se almacena hoy en día habitualmente en ordenadores de escritorio o computadoras portátiles y requiere usuarios experimentados para ser operado. Sin embargo, dado el progreso tecnológico y la rápida expansión de Internet en los últimos tiempos, el desarrollo de los SIG se está direccionando hacia su integración con las tecnologías World Wide Web (web). Los SIG que aprovechan las tecnologías web para la comunicación entre sus componentes, tales como datos, recursos e interfaz gráfica, se conocen como SIG basados en web o simplemente SIG-Web (Kurbanov, 2015; Veenendaal *et al.*, 2017), y amplían las funcionalidades de los SIG tradicionales al permitir la gestión, análisis y representación dinámica de la geoinformación, entre usuarios con diferentes niveles de conocimiento.

Las aplicaciones de los SIG-Web en epidemiología y salud pública, por otro lado, han sido revisadas en la literatura previamente (Ahasan *et al.*, 2020; Beard *et al.*, 2018; C. M. Croner, 2004; Foresman, 1999; Luan & Law, 2014; Najafabadi & Pourhassan, 2009; Yang *et al.*, 2005; Yasobant *et al.*, 2015). No obstante, pocas revisiones sobre el desarrollo e implementación de plataformas SIG-Web específicamente para la vigilancia de eventos de salud pública, han sido publicadas. Por ejemplo, aunque los trabajos de Croner (2003) y Najafabadi & Pourhassan (2009) son revisiones específicas sobre la evolución, funcionalidades y perspectivas de los SIG y el Internet en el ámbito de la vigilancia y la salud pública, estas no abordan cuestiones relevantes para su desarrollo e implementación. La revisión de Yasobant *et al.*, (2015), por su parte, aborda la implementación de tecnologías SIG-Web en el área de la investigación en salud, incluidos sus potenciales usos en la vigilancia de enfermedades. Sin embargo, el estudio en cuestión se limita a la descripción de técnicas de geovisualización, tanto basadas como no basadas en web, sin profundizar en los aspectos relacionados a la arquitectura de estos sistemas o sus funcionalidades. En la revisión más detallada sobre el tema, Luan & Law (2014) ofrecen un análisis exhaustivo de sistemas de vigilancia basados en SIG-Web. Si bien esta revisión resume el estado del arte del desarrollo de estas herramientas en todo el mundo, y analiza a fondo diferentes aspectos de las plataformas, desde su publicación en 2014 se han producido avances considerables en el área principalmente con el surgimiento de nuevas herramientas de integración entre lenguajes de programación y entornos SIG (Veenendaal *et al.*, 2017).

El desarrollo de SIG-Web es un campo de conocimiento interdisciplinario que, al involucrar la integración de dos tecnologías (Rowland *et al.*, 2020), está sujeto a los avances y limitaciones de cada una de ellas. Adicionalmente, la disponibilidad de herramientas SIG y cartográficas en dispositivos móviles ha aumentado considerablemente la población de usuarios, así como el interés por estos sistemas. Por lo tanto, existe la necesidad de adaptar adecuadamente el software SIG para un público más amplio. Considerando que conforme avanza la informática y las tecnologías de comunicación, aumentan también los desafíos de implementación y desarrollo de software, la necesidad de revisiones

que caractericen y analicen el software disponible es fundamental para garantizar el éxito en la implementación de cualquier tecnología encaminada a satisfacer las demandas de atención en salud. En este sentido, este estudio tiene como objetivo proporcionar una revisión de las plataformas SIG-Web para apoyar la vigilancia de la salud pública en todo el mundo. Más específicamente, tiene como objetivo analizar los principales aspectos técnicos y operativos para las actividades de vigilancia en estas herramientas, así como identificar brechas de implementación y proponer posibles caminos para mejorar el desarrollo y la implementación de tecnologías SIG-Web en el campo de la vigilancia de la salud pública.

2. Materiales, datos y métodos

Este trabajo constituye un estudio exploratorio, descriptivo, que, a través de una revisión de la literatura, pretendió responder a la pregunta de investigación: "*¿Cuáles son las características operativas y funcionales de las plataformas SIG basadas en Web para apoyar la vigilancia en salud pública?*". Esta revisión bibliográfica, a su vez, permitió identificar las plataformas SIG-Web utilizadas para la vigilancia de la salud pública en todo el mundo, y su posterior análisis con base en los seis criterios propuestos a continuación en este estudio.

2.1. Búsqueda de artículos científicos e identificación de las plataformas SIG-Web

Con el fin de identificar las plataformas SIG-Web empleadas como herramientas de apoyo para la vigilancia en salud pública, se realizó una búsqueda bibliográfica entre el 3 y el 14 de noviembre de 2021 en diferentes bases de datos electrónicas, cuya selección fue determinada por el carácter interdisciplinario de la pregunta de investigación de este estudio. Así, MEDLINE (PubMed), considerada la principal fuente de datos bibliográficos en ciencias biomédicas (Aalai *et al.*, 2009) y *Engineering Village*, que contiene las bases de datos de ciencias geoespaciales *Geobase* y *GeoRef* (Dressel, 2017), fueron seleccionadas para realizar las búsquedas bibliográficas primarias. Complementariamente, también se utilizaron las bases de datos Web of Science y la base de datos de Literatura Latinoamericana y del Caribe en Ciencias de la Salud (LILACS). OpenGray y Google Scholar, a su vez, se utilizaron como fuentes de literatura gris.

Posteriormente, utilizando los componentes "Población", "Intervención" y "Resultados" (*Outcomes*) del modelo PICO (Eriksen & Frandsen, 2018; Kitchenham & Charters, 2007) se interrelacionaron los términos de la estrategia de búsqueda, detallados en la Tabla 1, a través de los operadores lógicos 'OR' y 'AND' (Tabla 1). Lo anterior permitió localizar publicaciones que contenían los términos antes mencionados en sus resúmenes, títulos o palabras clave. Es de destacar que en esta revisión no se consideró ningún tipo de comparación. Por lo tanto, durante la búsqueda no se tuvo en cuenta el componente "Comparación" del modelo PICO.

Los términos se buscaron como "Términos MeSH (*Medical Subject Headings*)" en PUBMED; como "*Subject Headings*" en *Engineering Village* y como "Términos DeCS (Descriptores en Ciencias de la Salud)" en LILACS. La búsqueda en Google Scholar se limitó a los primeros 200 resultados (Haddaway *et al.*, 2015), y, utilizando el método *backward snowballing* (bola de nieve retrospectiva, en traducción libre) (Greenhalgh & Peacock, 2005), se revisaron las listas de referencias de los artículos incluidos para identificar referencias o plataformas SIG-Web que pudieran haber sido omitidas durante las búsquedas en las bases de datos electrónicas. Con excepción de LILACS, donde las búsquedas bibliográficas se realizaron utilizando términos en español, inglés y portugués, todas las búsquedas en las demás bases de datos bibliográficas se realizaron utilizando términos en inglés. Durante las búsquedas no se utilizaron filtros ni limitaciones de período de tiempo.

Tabla 1. Estrategia de búsqueda bibliográfica primaria según el modelo PICO

Términos empleados para la búsqueda bibliográfica (en inglés)		
Componente Población	Componente Intervención	Componente Resultados
(public health OR epidemiology OR disease outbreaks OR Preventive medicine OR epidemiologic methods OR epidemics OR pandemics OR outbreaks OR Infectious Disease Outbreak OR birth defects surveillance OR congenital abnormalities surveillance OR Community Health OR Environment, Preventive Medicine and Public Health)	(online OR web browser OR internet or web OR dashboard) AND (gis OR geographic information system OR geographic information systems OR geospatial OR map OR mapping)	(population surveillance OR public health surveillance OR epidemiological monitoring OR forecasting OR Predictions and Projections OR Population Forecast OR Population Projections)

Fuente. Elaboración propia.

2.2. Selección y revisión de artículos científicos

Después de recuperar la literatura, los artículos fueron preseleccionados según los criterios de inclusión y exclusión de la revisión. En este sentido, se consideraron elegibles los artículos cuando (1) abordaban temas de salud humana, (2) incluían al menos uno de los procesos esenciales de un sistema de vigilancia en salud pública; es decir, recopilación, análisis, presentación y/o interpretación de datos de salud (Centers for Disease Control and Prevention, 2001; S. Thacker *et al.*, 2012); (3) involucraran cualquier tecnología capaz de capturar, almacenar, administrar, analizar y/o mostrar información referenciada geográficamente en la web; y (4), estaban disponibles como artículo de texto completo.

Por otro lado, en este estudio se descartaron publicaciones que (1) describieran el desarrollo de un modelo o prototipo de una herramienta SIG-Web; (2) documentaran herramientas SIG-Web no implementadas y (3) citaran plataformas SIG-Web sin un *Uniform Resource Locator* (URL) funcional o activo para el acceso público al sitio web de la herramienta desarrollada, ya que esta revisión pretendió analizar aspectos operativos y funcionales de los SIG-Web. También fueron excluidos de esta revisión resúmenes de eventos, revisiones de literatura, opiniones de expertos y editoriales, así como cualquier artículo (y el respectivo SIG-Web) en idioma distinto al español, inglés y/o portugués, y que no pudo ser traducido.

De los 2564 artículos encontrados, 124 fueron leídos íntegramente y sometidos al proceso de muestreo antes mencionado. De estos 124 artículos, 79 fueron excluidos por falta de acceso público a la plataforma SIG-Web documentada, mientras que 30 de ellos no cumplieron con los criterios de inclusión. La muestra estuvo compuesta por un total de 15 artículos (Figura 1).

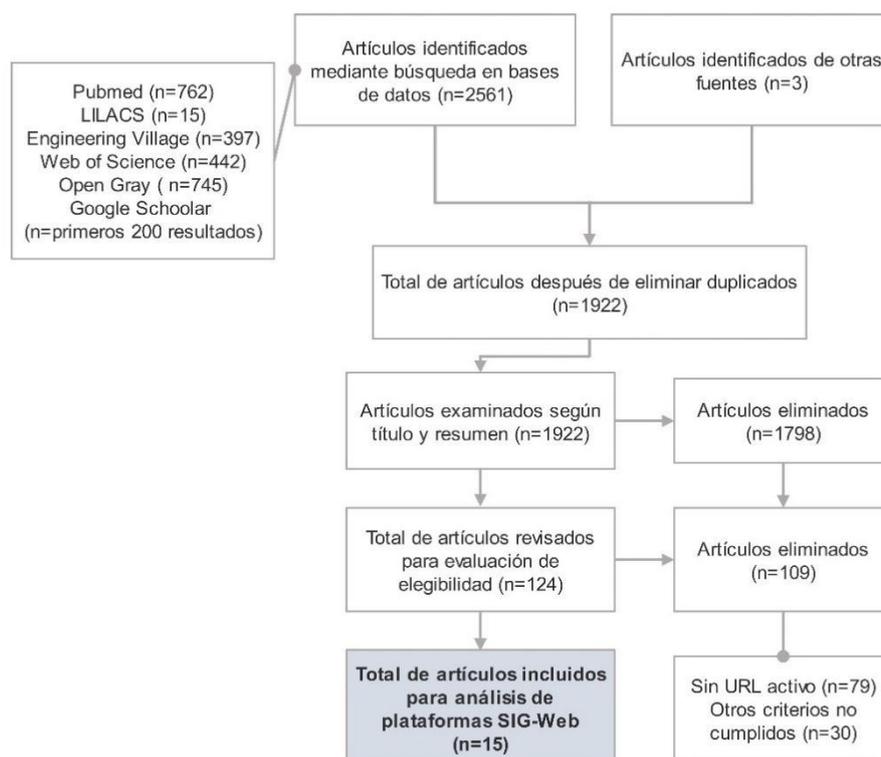


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de búsqueda de literatura y selección de artículos
Fuente. Elaboración propia.

2.3. Extracción de datos y criterios para describir y analizar plataformas SIG-Web

Los artículos seleccionados fueron organizados en hojas de cálculo Microsoft Excel® para extraer los títulos y URLs de las plataformas SIG-Web citadas en los respectivos artículos, así como la información necesaria para su descripción y análisis, según un listado de seis criterios especialmente desarrollados para tal propósito (Tabla 2). Además de adaptar parámetros utilizados en estudios previos (Cinnamon & Schuurman, 2010; Luan & Law, 2014; Maclachlan *et al.*, 2007), durante la construcción de los criterios para el análisis de las plataformas, para este estudio también se consideraron las pautas establecidas en los principales manuales para la evaluación de sistemas de vigilancia (Centers for Disease Control and Prevention, 2001; European Centre for Disease Prevention and Control, 2014), así como diferentes directrices para el uso de recursos cartográficos en salud pública (Geography and Geospatial Science Working Group, 2012; Resendes *et al.*, 2006). De esa forma, en esta revisión se incluyeron aspectos como los relacionados con la privacidad de los datos, críticos para un sistema de vigilancia e ignorados en los estudios citados anteriormente.

Utilizando las URL extraídas de los artículos revisados fue posible acceder a todas las plataformas SIG-Web para posteriormente analizarlas de acuerdo con los criterios descritos en la Tabla 2. En los casos en que no fue posible extraer información para cada criterio a partir de la exploración directa de cada SIG-Web, esta fue extraída de su respectivo artículo (criterios 5 y 6). En otros casos, como en los criterios 1, 2 y 4, los artículos fueron utilizados apenas como apoyo para complementar información faltante o confusa.

Tabla 2. Criterios para el análisis de las plataformas SIG-Web para vigilancia en salud pública

Criterio	Descripción
1. Flujo de datos	Se refiere a la fuente principal de datos utilizada por el SIG-Web (bases de datos, SIS, historias clínicas hospitalarias o de laboratorio; u otras fuentes); y al ciclo de actualización de datos en la plataforma (en tiempo real, semanal, mensual o anual)
2. Reporte de informaciones	Describe los parámetros utilizados por el SIG-Web para cuantificar la importancia del evento de salud bajo vigilancia (por ejemplo, número total de casos o muertes; indicadores de morbilidad o mortalidad, factores de riesgo, etc.)
3. Geovisualización de datos	Describe el tipo de mapa utilizado en el SIG-Web (por ejemplo, mapa coroplético, mapa de puntos, etc.) y cómo se visualizan los mapas en la plataforma (mapa estático, mapa interactivo y/o mapa dinámico)
4. Recursos de la plataforma	Describe las funcionalidades en términos de capacidades analíticas (básicas y avanzadas), cartográficas y de gestión de datos (descarga de archivos)
5. Arquitectura de la plataforma	Describe las tecnologías utilizadas para desarrollar los componentes principales de las arquitecturas <i>front-end</i> (sitio web) y <i>back-end</i> (alojamiento web, servidor y base de datos) del SIG-Web y el tipo de licencia de estas tecnologías (gratuito o comercial)
6. Privacidad y seguridad	Describe los métodos empleados por el SIG-Web para preservar la confidencialidad de los datos georreferenciados publicados en la plataforma, así como algún método para garantizar la seguridad de los datos dentro del sistema

SIS: Sistemas de Información en Salud. Fuente. Elaboración propia.

3. Descripción y análisis de resultados

El listado de los 15 artículos seleccionados para la revisión y posterior análisis de los SIG-Web se presenta en la Tabla 3, incluyendo los datos bibliográficos de las publicaciones, la plataforma SIG-Web extraída de cada artículo con su respectivo enlace de acceso vía web y el evento de salud monitoreado por cada plataforma. Los principales resultados del análisis de los SIG-Web se presentan en la Tabla 4 y se discuten en las siguientes secciones.

Tabla 3. Listado de artículos seleccionados y su respectivo SIG-Web para revisión y análisis

Referencia bibliográfica	País	Plataforma SIG-Web	Evento de salud monitoreado
(Reinhardt <i>et al.</i> , 2008)	Alemania	EpiScanGIS	Enfermedad meningocócica
(Freifeld <i>et al.</i> , 2008)	EUA	HealthMap	Enfermedades infecciosas
(Knox <i>et al.</i> , 2014)	Kenia	IR Mapper	Resistencia a insecticidas
(Nelson <i>et al.</i> , 2015)	Canadá	BikeMaps.org	Riesgos por uso de bicicletas
(Kaewpitoon <i>et al.</i> , 2016)	Tailandia	Base de Datos SIG para Colangiosarcoma	Colangiosarcoma
(Ku <i>et al.</i> , 2016)	Taiwán	Taiwan Cancer Map	Cáncer
(Savini <i>et al.</i> , 2018)	Italia	Disease Monitoring Dashboard (DMD)	Enfermedad del Nilo Occidental y otras enfermedades transmitidas por vectores

(Jankowska <i>et al.</i> , 2019)	EUA	<u>Preterm Birth Project (PTBi)</u>	Parto prematuro
(Hu <i>et al.</i> , 2019)	EUA	<u>Southern Integrated Prescribed Fire Information System (SIPFIS)</u>	Exposición a incendios
(Ku <i>et al.</i> , 2019)	Taiwán	<u>World Cancer Map</u>	Cáncer
(Hohl <i>et al.</i> , 2020)	EUA	<u>Covid19Scan</u>	COVID 19
(Bachechi <i>et al.</i> , 2020)	Italia	<u>TRAFAIR: Air Quality Dashboard</u>	Calidad del aire
(Brasil & Ministério da Saúde, 2021a)	Brasil	<u>Projeto Anomalias Congênitas no Rio Grande do Sul (ACRGS)</u>	Anomalias congénitas
(Mast <i>et al.</i> , 2021)	EUA	<u>Atlas of Rotavirus</u>	Aceptación de la vacuna contra rotavirus
(Mohidem <i>et al.</i> , 2021)	Malasia	<u>TB GIS Gombak</u>	Tuberculosis

EUA: Estados Unidos de América. Fuente. Elaboración propia sobre datos de los artículos revisados.

Tabla 4. Resumen de los principales resultados de la revisión

Criterio	Principales hallazgos	Brechas/desafíos identificados	Recomendaciones para mitigar brechas/desafíos
Flujo de datos	- SIS y bases de datos públicas representaron la principal fuente de datos; - Uso considerable de IGV como fuente de datos	Falta de actualización continua de los datos	- Automatización de procesos de recolecta/actualización de datos; - Cuidados adicionales para mantener privacidad e integridad de datos colectivos
Reporte de informaciones	Soporte para el reporte de indicadores y/o índices para cuantificar el impacto del evento de salud monitoreado en todos los SIG-Web	Falta de una exploración más integral de las informaciones de salud producidas por el SIG-Web	- Adopción de técnicas de modelado predictivo; - Colaboraciones interdisciplinarias durante la planificación y desarrollo del SIG-Web
Geovisualización de datos	Implementación de tipos de mapas conforme el tipo de dato visualizado en todos los SIG-Web	Baja adopción de visualizaciones dinámicas (animadas)	- Uso de bibliotecas JavaScript para facilitar implementación de mapas dinámicos; - Considerar principios de diseño para implementar animación cartográfica
Recursos de la plataforma	Recursos analíticos y cartográficos básicos presentes en todas las plataformas SIG-Web	Poca implementación de funciones analíticas avanzadas	- Implementación de métodos de computación científica integrada; - Adopción de herramientas analíticas existentes para otras áreas
Arquitectura de la plataforma	Uso extensivo de software FOSS en la mayoría de las	Dificultades para garantizar el soporte del	- Equilibrar uso de software gratuito y de pago;

	plataformas, así como integración de código externo	sistema a largo plazo, recursos limitados	- Selección de software FOSS bien documentado
Privacidad y seguridad	Agregación espacial como método principal para preservar la confidencialidad de los registros sanitarios geocodificados	Necesidad de explorar otros métodos para evitar la reidentificación en datos geocodificados	- Investigación de abordajes de enmascaramiento geográfico

SIS: Sistemas de Información en Salud. IGV: Información Geográfica Voluntaria. FOSS: *Free Open Source Software* (software de código abierto y gratuito, en traducción libre).

Fuente. Elaboración propia sobre datos de las plataformas SIG-Web analizadas.

3.1. Descripción general de los artículos revisados

En el presente estudio, ninguno de los artículos seleccionados fue publicado antes de la década de 2000, observándose una modesta aparición de publicaciones en el período comprendido entre 2014 y 2018, con algunas publicaciones dispersas a lo largo de estos años (Tabla 3, Figura 2). A partir de 2019 las publicaciones sobre el tema fueron más consistentes, con al menos una publicación por año (Tabla 3, Figura 2). Por otro lado, la mayoría de las publicaciones fueron producidas por equipos con sede en países de América del Norte (n=6) (Freifeld *et al.*, 2008; Hohl *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2019; Jankowska *et al.*, 2019; Mast *et al.*, 2021; Nelson *et al.*, 2015) o asiáticos (n=4) (Kaewpitoon *et al.*, 2016; Ku *et al.*, 2016, 2019; Mohidem *et al.*, 2021) (Tabla 3). En regiones con economías emergentes, como África y América del Sur, apenas se recuperaron dos publicaciones, una en Kenia (Knox *et al.*, 2014) y otra en Brasil (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a) (Tabla 3).

En cuanto al evento de salud monitoreado, 9 de los 15 estudios revisados desarrollaron sus plataformas SIG-Web para monitorear fenómenos de salud relacionados con enfermedades (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Freifeld *et al.*, 2008; Hohl *et al.*, 2020; Kaewpitoon *et al.*, 2016; Ku *et al.*, 2016, 2019; Mohidem *et al.*, 2021; Reinhardt *et al.*, 2008; Savini *et al.*, 2018), siendo las patologías infecciosas (n=5) (Freifeld *et al.*, 2008; Hohl *et al.*, 2020; Mohidem *et al.*, 2021; Reinhardt *et al.*, 2008; Savini *et al.*, 2018) y el cáncer (n=3) (Kaewpitoon *et al.*, 2016; Ku *et al.*, 2016, 2019) las enfermedades monitoreadas con mayor frecuencia (Tabla 3).

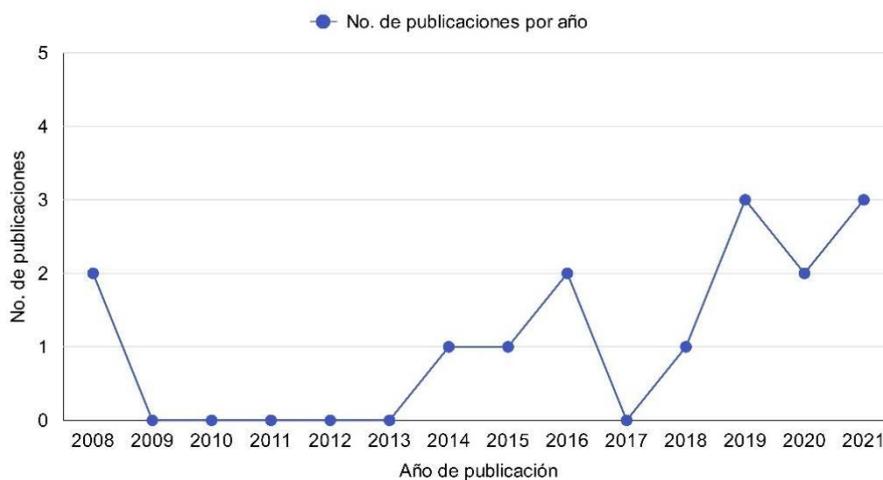


Figura 2. Número de publicaciones por año

Fuente. Elaboración propia sobre datos de los artículos revisados.

Por otro lado, entre los artículos cuyas plataformas SIG-Web pretendían monitorear problemas de salud no relacionados con enfermedades (n=6) (Bachechi *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2019; Jankowska *et al.*, 2019; Knox *et al.*, 2014; Mast *et al.*, 2021; Nelson *et al.*, 2015), la exposición a contaminantes ambientales (Bachechi *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2019) y otros factores de riesgo (Jankowska *et al.*, 2019; Knox *et al.*, 2014; Mast *et al.*, 2021; Nelson *et al.*, 2015) constituyeron las categorías principales.

3.2. Caracterización y análisis de las plataformas SIG-Web

3.2.1. Flujo de datos

Los Sistemas de Información en Salud (SIS) y las bases de datos públicas fueron la principal fuente de datos entre los SIG-Web analizados (n=8) (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Hohl *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2019; Jankowska *et al.*, 2019; Ku *et al.*, 2016; Mast *et al.*, 2021; Savini *et al.*, 2018), mientras que solo tres estudios reportaron el uso de registros clínico-hospitalarios (Kaewpitoon *et al.*, 2016; Mohidem *et al.*, 2021) o de laboratorio (Reinhardt *et al.*, 2008), como fuente principal de datos. La plataforma *Atlas of Rotavirus* (Mast *et al.*, 2021) fue el único SIG-Web que utilizó una base de datos comercial privada para monitorear el impacto de la vacunación contra el rotavirus en los Estados Unidos. Otras fuentes de información menos convencionales encontradas fueron las fuentes de datos colectivas (Freifeld *et al.*, 2008; Knox *et al.*, 2014; Ku *et al.*, 2019; Nelson *et al.*, 2015), y las publicaciones científicas, utilizadas por la plataforma *IR Mapper* (Knox *et al.*, 2014) como fuente principal de datos, y por la plataforma *Disease Monitoring Dashboard* (DMD) (Savini *et al.*, 2018), como fuente complementaria.

Informaciones sobre el ciclo de actualización de datos no fueron reportadas para 6 de las 15 plataformas analizadas (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Jankowska *et al.*, 2019; Kaewpitoon *et al.*, 2016; Ku *et al.*, 2016, 2019; Mohidem *et al.*, 2021). Con excepción de las plataformas *EpiScanGIS* (Reinhardt *et al.*, 2008) y *Atlas of Rotavirus* (Mast *et al.*, 2021) que reportaron ciclos de actualización semanales; las demás plataformas analizadas reportaron ciclos de actualización de datos en tiempo real (Bachechi *et al.*, 2020; Freifeld *et al.*, 2008; Nelson *et al.*, 2015; Savini *et al.*, 2018), diaria (Hohl *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2019) o mensual (Knox *et al.*, 2014; Savini *et al.*, 2018), aunque en algunos casos hubo diferencias en la periodicidad de estos ciclos de actualización, en función del tipo de datos. Por ejemplo, en DMD (Savini *et al.*, 2018) los autores informaron que los datos epidemiológicos se actualizan en la plataforma diariamente en cuanto que los datos ambientales se actualizan mensualmente. La situación anterior se repite en la plataforma *Southern Integrated Prescribed Fire Information System* (SIPFIS) (Hu *et al.*, 2019), que implementó ciclos diarios de actualización de todos los datos relacionados con actividades de quema y pronósticos de impactos de incendios, mientras que la información sobre pronósticos de calidad del aire se actualiza cada 72 horas, según lo informado por el equipo de desarrollo de la plataforma. Cabe destacar una particularidad del sistema *IRMapper* (Knox *et al.*, 2014) en relación a este criterio: si bien, los autores del proyecto declararon su intención de realizar nuevas revisiones bibliográficas para recolectar nuevas publicaciones científicas y actualizar mensualmente los datos del SIG-Web, no fue posible verificar el citado ciclo de actualización desde el propio sistema durante su análisis.

3.2.2. Reporte de informaciones

Conforme los resultados de este estudio, en todas las plataformas analizadas se reportaron parámetros para cuantificar el problema de salud monitoreado. Con excepción de siete SIG-Web que se limitaron a reportar el número de casos (Freifeld *et al.*, 2008; Kaewpitoon *et al.*, 2016; Mohidem *et al.*, 2021; Nelson *et al.*, 2015); el número de observaciones de concentraciones de contaminantes ambientales (Bachechi *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2019) y el número de aglomerados espaciales (Hohl *et al.*, 2020), respectivamente, todos los demás SIG-Web incluyen indicadores de morbilidad y mortalidad en sus sistemas. Algunas de las plataformas analizadas también incluyeron indicadores de factores de riesgo comportamental, socioeconómico y de cobertura de servicios de salud (n=3) (Jankowska *et al.*, 2019;

Ku *et al.*, 2019; Mast *et al.*, 2021). En ese sentido, la plataforma *Preterm Birth Project* (PTBi) (Jankowska *et al.*, 2019) resulta ser la más completa en términos de indicadores de salud. Además de informar sobre la frecuencia, gravedad y factores socioeconómicos y demográficos de los nacimientos prematuros, el sistema reporta tasas de contaminación ambiental, así como otros indicadores relacionados con el parto prematuro (Figura 3).

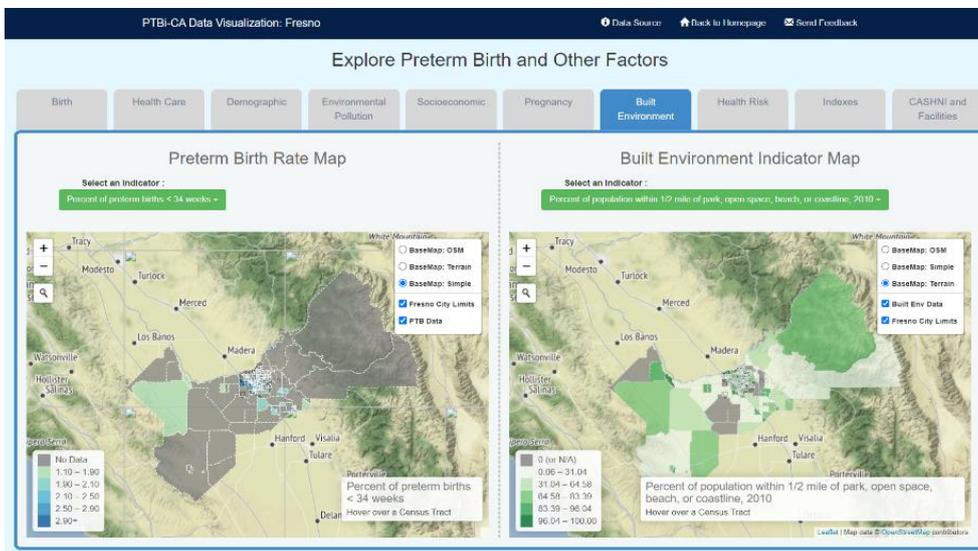


Figura 3. Panel de indicadores de la plataforma PTBi

Fuente. Captura de pantalla del sitio web de la plataforma [consultado 19-08-2022]. Disponible en https://delphidata.ucsd.edu/ptbi/ui/home/#section_explore

Por otro lado, en algunas plataformas se incorporaron índices estadísticos para complementar la información de salud producida por el SIG-Web. Ejemplos de este caso son el *Projeto de Anomalias Congênitas no Rio Grande do Sul* (ACRGS) (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a), el único sistema que incluye medidas estadísticas espaciales para cuantificar la autocorrelación espacial de casos de anomalías congénitas en la región monitoreada (Figura 4); y la plataforma DMD (Savini *et al.*, 2018), que incorporó índices de vegetación para complementar las actividades de monitoreo de la enfermedad del Nilo Occidental.

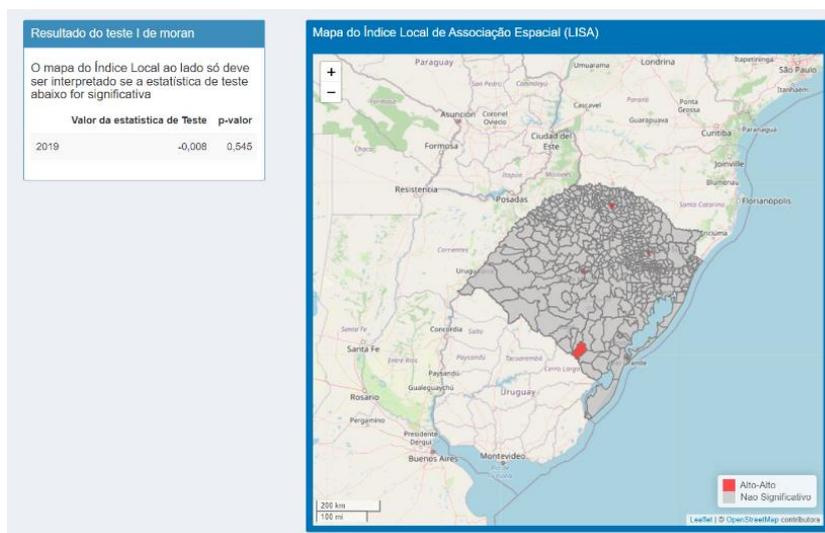


Figura 4. Resultado del Índice Global de Moran en el SIG-Web ACRGS

Fuente. Captura de pantalla del sitio web de la plataforma [consultado 19-08-2022]. Disponible en https://projetoanomaliascongenitas.shinyapps.io/ac_rs/

3.2.3. Geovisualización de datos

Mapas coropléticos fueron utilizados en 6 de las 15 herramientas SIG-Web analizadas (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Jankowska *et al.*, 2019; Ku *et al.*, 2016, 2019; Mast *et al.*, 2021; Reinhardt *et al.*, 2008). Mapas de puntos (Bachechi *et al.*, 2020; Freifeld *et al.*, 2008; Hu *et al.*, 2019; Knox *et al.*, 2014; Mohidem *et al.*, 2021; Savini *et al.*, 2018), símbolos (Hu *et al.*, 2019; Reinhardt *et al.*, 2008) y mapas de símbolos proporcionales (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Hohl *et al.*, 2020; Jankowska *et al.*, 2019; Kaewpitoon *et al.*, 2016; Ku *et al.*, 2016, 2019) fueron implementados con mayor frecuencia (n=8), mientras que los mapas de calor (Knox *et al.*, 2014; Nelson *et al.*, 2015) y los mapas de isopletas (Nelson *et al.*, 2015; Savini *et al.*, 2018) se utilizaron en menor grado (n=4). Tipos de mapas menos convencionales, como mapas con gráficos de área (Figura 5a) o con gráficos circulares, fueron observados en las plataformas *Atlas of Rotavirus* (Mast *et al.*, 2021) y *BikeMaps.org* (Nelson *et al.*, 2015), respectivamente.



Figura 5. Geovisualizaciones en la plataforma *Atlas of Rotavirus*. (a) Mapa con gráfico de área, (b) Mapa dinámico (animado)

Fuente. Captura de pantalla del sitio web de la plataforma [consultado 03-10-2023]. Disponible en <https://www.mapvaccines.com/atlas/vaccination>

En cuanto al tipo de visualización de mapas, con excepción de la plataforma *Atlas of Rotavirus* (Mast *et al.*, 2021), que implementó exclusivamente mapas dinámicos (animados) en el sistema (Figura 5b), todos los SIG-Web analizadas para este criterio tenían soporte para visualización interactiva de mapas. *Covid19Scan* (Hohl *et al.*, 2020) y *DMD* (Savini *et al.*, 2018) representaron un caso particular al implementar un sistema de geovisualización híbrido, con soporte para visualizaciones interactivas y dinámicas en los mapas. También vale la pena mencionar la situación con *EpiScanGIS* (Reinhardt *et al.*, 2008). Aunque los autores del proyecto citaron la disponibilidad de mapas dinámicos además de mapas interactivos, dicha visualización no estaba disponible en el sistema en el momento de este estudio.

3.2.4. Recursos de la plataforma

Conforme los resultados de esta revisión, casi todos los SIG-Web analizadas implementaron recursos analíticos simples (estadísticas descriptivas) a través de gráficos de líneas o barras (n=10) (Bachechi *et al.*, 2020; Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Freifeld *et al.*, 2008; Hu *et al.*, 2019; Jankowska *et al.*, 2019; Ku *et al.*, 2016, 2019; Mast *et al.*, 2021; Mohidem *et al.*, 2021; Nelson *et al.*, 2015). El soporte para análisis avanzado está presente apenas en dos SIG-Web (Reinhardt *et al.*, 2008; Savini *et al.*, 2018), siendo la plataforma *EpiScanGIS* (Reinhardt *et al.*, 2008) el caso más notable, ya que permite el análisis de aglomerados (clústeres) espaciales, aunque adopta software de análisis externo (SatScan™) en lugar de incorporar funciones analíticas directamente en el sistema. Vale la pena señalar que las funciones analíticas de estas plataformas no están disponibles para todos los usuarios en todas las plataformas. El análisis de aglomerados espaciales para la enfermedad meningocócica, por ejemplo, está habilitado en el sitio web de *EpiScanGIS* (Reinhardt *et al.*, 2008) sólo para los usuarios registrados,

previamente autorizados por los administradores del sistema. En contraposición, en la plataforma DMD (Savini *et al.*, 2018), la posibilidad de realizar análisis ambientales como el cálculo del índice de vegetación, está abierta a cualquier usuario. También cabe destacar que en las plataformas *Covid19Scan* (Hohl *et al.*, 2020) y ACRGS (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a) los recursos de análisis espacial están disponible únicamente para visualización y, por lo tanto, sus usuarios no podrán realizar nuevos análisis.

Entre los recursos cartográficos identificados en las plataformas analizadas destaca el soporte para la clasificación de datos, presente en todos los sistemas, con excepción de *Covid19Scan* (Hohl *et al.*, 2020) y la *Base de Datos SIG para Colangiosarcoma* (Kaewpitoon *et al.*, 2016), que no incluyeron dicha funcionalidad, a pesar de tratarse de una plataforma con soporte para mapas interactivos. Además de recursos para alterar la escala geográfica del mapa mediante zoom y la superposición de capas de mapa, fueron pocas las plataformas SIG-Web que implementaron otros tipos de recursos cartográficos (Freifeld *et al.*, 2008; Ku *et al.*, 2016; Savini *et al.*, 2018). El SIG-Web DMD (Savini *et al.*, 2018), incorporó una herramienta para seleccionar los puntos con las ubicaciones de los brotes de la Enfermedad del Nilo Occidental, mientras que *HealthMap* (Freifeld *et al.*, 2008), ofrece la opción de alterar la simbología y las etiquetas de mapa. La plataforma *Taiwan Cancer Map* (Ku *et al.*, 2016), a su vez, es el único sistema que permite modificar los intervalos de clase de los mapas (Figura 6).

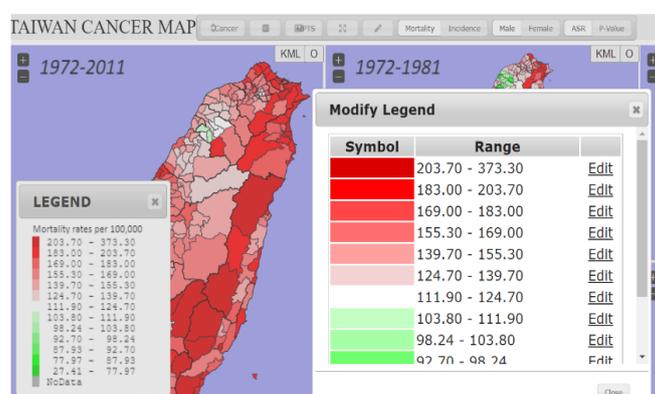


Figura 6. Funcionalidades cartográficas en la plataforma *Taiwan Cancer Map*

Fuente. Captura de pantalla del sitio web de la plataforma [consultado 20-08-2022]. Disponible en <http://taiwancancermmap.csmu-liawyp.tw/>

En cuanto a la gestión de datos, la descarga de archivos, ya sean gráficos o tabulares, fue el recurso encontrado con mayor frecuencia entre las plataformas analizadas (Jankowska *et al.*, 2019; Knox *et al.*, 2014; Ku *et al.*, 2016, 2019; Nelson *et al.*, 2015; Reinhardt *et al.*, 2008; Savini *et al.*, 2018). En este apartado cabe destacar a la plataforma *IR Mapper* (Knox *et al.*, 2014), que permite a los usuarios añadir sus propios datos georreferenciados para visualizarlos temporalmente en el SIG-Web (Figura 7). Un recurso similar fue citado por Mohidem *et al.* (2021), donde, según los autores del artículo, el soporte para la carga de datos estaría disponible en un panel separado de su plataforma *TB GIS Gombak* (Mohidem *et al.*, 2021). Sin embargo, a la fecha de esta revisión, este panel no se encontraba disponible para el acceso público, y por lo tanto no fue posible analizar este recurso en la plataforma.



Figura 7. Función de carga de datos en la plataforma IR Mapper

Fuente. Captura de pantalla del sitio web de la plataforma [consultado 05-01-2023]. Disponible en <https://anopheles.irmapper.com/>

3.2.5. Arquitectura de la plataforma

Los SIG-Web empleados para vigilancia en salud pública analizados en esta revisión se desarrollaron principalmente con tecnologías FOSS (software gratuito y de código abierto, en traducción libre) (Tabla 5). Entre los componentes de la arquitectura back-end, destaca el sistema FOSS *PostgreSQL* como la principal opción para la gestión de las bases de datos dentro de las plataformas SIG-Web analizadas (n= 4) (Bachechi *et al.*, 2020; Jankowska *et al.*, 2019; Nelson *et al.*, 2015; Reinhardt *et al.*, 2008), seguida del sistema de pago de *ArcGIS®*; implementado como servidor web en dos plataformas (Mohidem *et al.*, 2021; Savini *et al.*, 2018) y como base de datos en una plataforma (Kaewpitoon *et al.*, 2016). Software con licencia híbrida también fue utilizado por algunas de las plataformas SIG-Web analizadas. Ejemplos de softwares con este tipo de licencia incluyen *Shinyapps.io*, utilizado para alojar el sitio web en dos SIG-Web (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Hohl *et al.*, 2020) y los sistemas *Oracle® DB* y *SQL server* de Microsoft®, empleados para construir las bases de datos en los SIG-Web de Savini *et al.*, (2018) (Savini *et al.*, 2018) y Mohidem *et al.*, (2021) (Mohidem *et al.*, 2021), respectivamente.

En cuanto a las tecnologías *front-end*, con excepción de la plataformas *World Cancer Map* (Ku *et al.*, 2019), *DMD* (Savini *et al.*, 2018) e *IR Mapper* (Knox *et al.*, 2014), cuyos mapas interactivos fueron desarrollados a partir de las APIs de mapas para JavaScript de Google y *ArcGIS®*, respectivamente; todas las herramientas SIG-Web analizadas utilizaron software libre, siendo la biblioteca *Leaflet* para JavaScript la más utilizada (n=5) (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Hohl *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2019; Jankowska *et al.*, 2019; Nelson *et al.*, 2015). Cabe mencionar también que casi la mitad de los SIG-Web analizados utilizaron, además de HTML (lenguaje de marcado de hipertexto), JavaScript y CSS (hojas de estilo en cascada), algún tipo de *framework* para auxiliar la construcción del sitio web de la plataforma, siendo las librerías *Bootstrap* (gratuita y de código abierto) (Jankowska *et al.*, 2019; Savini *et al.*, 2018) y el paquete para R *Shiny* (licencia híbrida) (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Hohl *et al.*, 2020), los más utilizados por los desarrolladores de las plataformas analizadas.

Tabla 5. Tecnologías utilizadas para el desarrollo de las plataformas SIG-Web analizadas

Componente	Tecnología	Licencia del software
Alojamiento web	Shinyapps.io (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Hohl <i>et al.</i> , 2020)	Gratuita con opción para planes de pago
Servidor web	Apache/Jakarta-Tomcat® (Reinhardt <i>et al.</i> , 2008)	Gratuita, código abierto
	ArcGIS® (Mohidem <i>et al.</i> , 2021; Savini <i>et al.</i> , 2018)	Comercial
	R server (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Hohl <i>et al.</i> , 2020)	Gratuita, código abierto
Base de datos	PostgreSQL (Bachechi <i>et al.</i> , 2020; Jankowska <i>et al.</i> , 2019; Nelson <i>et al.</i> , 2015; Reinhardt <i>et al.</i> , 2008)	Gratuita, código abierto
	PostGIS (Mast <i>et al.</i> , 2021)	Gratuita, código abierto
	ArcGIS® (Kaewpitoon <i>et al.</i> , 2016)	Comercial
	Oracle® DB (Savini <i>et al.</i> , 2018)	Gratuita con opción para planes de pago
	SQL server (Mohidem <i>et al.</i> , 2021)	Gratuita con opción para planes de pago
	MySQL (Freifeld <i>et al.</i> , 2008; Hu <i>et al.</i> , 2019)	Gratuita, código abierto
Layout de mapa	Leaflet/OpenStreetMap (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Hohl <i>et al.</i> , 2020; Hu <i>et al.</i> , 2019; Jankowska <i>et al.</i> , 2019; Nelson <i>et al.</i> , 2015)	Gratuita, código abierto
	OpenLayers (Bachechi <i>et al.</i> , 2020)	Gratuita, código abierto
	Google Maps (Kaewpitoon <i>et al.</i> , 2016)	Gratuita
	Google Maps API (Ku <i>et al.</i> , 2019)	Comercial
	MapServer (Mohidem <i>et al.</i> , 2021; Reinhardt <i>et al.</i> , 2008)	Gratuita, código abierto
	ArcGIS® Maps API (Knox <i>et al.</i> , 2014; Savini <i>et al.</i> , 2018)	Comercial
	D3js (Mast <i>et al.</i> , 2021)	Gratuita, código abierto
	JVectorMap (Ku <i>et al.</i> , 2016)	Gratuita, código abierto
Sitio web	Bootstrap framework (Jankowska <i>et al.</i> , 2019; Savini <i>et al.</i> , 2018)	Gratuita, código abierto
	Struts framework (Reinhardt <i>et al.</i> , 2008)	Gratuita, código abierto
	CodeIgniter framework (Mohidem <i>et al.</i> , 2021)	Gratuita, código abierto
	Angular-TypeScript framework (Bachechi <i>et al.</i> , 2020)	Gratuita, código abierto
	R Shiny® (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Hohl <i>et al.</i> , 2020)	Gratuita con opción para planes pagos
	Google Maps (Kaewpitoon <i>et al.</i> , 2016)	Gratuita

Fuente. Elaboración propia sobre datos de las plataformas SIG-Web analizadas.

3.2.6. Privacidad y seguridad

En esta revisión, la agregación espacial fue el mecanismo elegido por todos los SIG-Web analizados para mantener la confidencialidad de los datos de salud geocodificados exhibidos en las plataformas. Con respecto a la seguridad de los datos dentro de los SIG-Web, medidas de restricción para modificar información en el sistema (Bachechi *et al.*, 2020; Jankowska *et al.*, 2019; Mohidem *et al.*, 2021), realizar análisis estadísticos avanzados o acceder a datos sensibles (Reinhardt *et al.*, 2008), fueron algunos de los mecanismos citados por los autores para mantener la confidencialidad e integridad de la información en sus SIG-Web. En otras plataformas, mantener en el anonimato las informaciones

producidas por los usuarios (Nelson *et al.*, 2015) o directamente no enviarlas al servidor en línea (Knox *et al.*, 2014) fueron los métodos de elección para garantizar dicho sigilo. *EpiScanGIS* (Reinhardt *et al.*, 2008) fue la única plataforma que informó sobre la implementación de firewalls y políticas de seguridad restrictivas como capas adicionales para proteger el servidor web. Cabe destacar que en algunos de los artículos revisados se reportó la aprobación por parte de un Comité de Ética en Investigación para la ejecución del proyecto y desarrollo del SIG-Web, a pesar de no estar directamente explícito en la plataforma (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Jankowska *et al.*, 2019; Kaewpitoon *et al.*, 2016; Mohidem *et al.*, 2021), sugiriendo el tratamiento adecuado de los datos geocodificados para su almacenamiento y difusión en la plataforma respectiva.

4. Discusión y valoración de hallazgos

A partir del análisis de las plataformas SIG-Web a continuación se discutirán los principales resultados (resumidos en la Tabla 4), haciendo especial énfasis en los aspectos más críticos para el uso de estas plataformas como herramientas para auxiliar en la vigilancia de la salud pública y en los posibles caminos para abordar los vacíos de implementación encontrados.

Flujo de datos

Uno de los aspectos más relevantes para el flujo de datos en un sistema de vigilancia es la fuente de los datos del sistema. Por tratarse del lugar de donde se recopila la información inicial sobre el fenómeno de salud a monitorear y reportar (European Centre for Disease Prevention and Control, 2014), la fuente de los datos de un sistema de vigilancia está estrechamente relacionada con la calidad y precisión de la información capturada y compartida, impactando directamente en la capacidad de detectar y responder a las necesidades de salud pública. Aunque fuentes de datos tradicionales como Sistemas de Información de Salud y bases de datos públicas fueron ampliamente utilizadas por los SIG-Web analizados, la creciente popularidad del *crowdsourcing* (colaboración colectiva, en traducción libre) como fuente de información para las actividades de vigilancia de salud, se reflejó en los resultados de esta revisión, donde 4 de las 15 plataformas hicieron uso de este enfoque para la obtención de los datos (Freifeld *et al.*, 2008; Knox *et al.*, 2014; Ku *et al.*, 2016; Nelson *et al.*, 2015). Además de alentar a la comunidad a participar en actividades de vigilancia, generalmente mediante el uso de dispositivos móviles o aplicaciones web, el *crowdsourcing* puede ser especialmente útil en situaciones donde los datos son escasos o ausentes en las bases de datos tradicionales (Goranson *et al.*, 2013). Más específicamente, el uso de información geográfica voluntaria (IGV), una forma de *crowdsourcing* centrada específicamente en datos geográficos o espaciales, ha demostrado un gran potencial en el desarrollo de soluciones para la gestión y seguimiento de desastres y eventos de salud pública (Kamel Boulos *et al.*, 2011; Tully *et al.*, 2015; Yan *et al.*, 2020).

A pesar de los muchos beneficios, los enfoques colaborativos para la vigilancia de la salud pública plantean preocupaciones importantes. En el contexto de la IGV y la cibercartografía, debido a que ninguna institución oficial está involucrada en el proceso de producción de datos y no se exige una calificación formal para su recolección, no se puede garantizar la calidad de los datos geocodificados obtenidos mediante métodos colaborativos (Craglia, 2007). Otro aspecto crucial a considerar es la protección de la información relacionada con la comunidad que participa en proyectos basados en IGV, ya que tanto quienes proporcionan los datos como quienes los utilizan deben lidiar con consideraciones éticas (Schmidt *et al.*, 2021). En ese sentido, las plataformas SIG-Web para vigilancia que hacen uso de IGV deben garantizar que los datos recopilados estén vinculados únicamente a seudónimos elegidos por el usuario y no directamente a la identidad del mismo. Así mismo, se debe garantizar que los datos geográficos generados voluntariamente sean empleados para los fines apropiados y no se utilicen posteriormente en otros contextos. Por otro lado, los desarrolladores que incorporen APIs de geolocalización en sus SIG-Web, también deben considerar la gestión de la privacidad del usuario y cómo esta podría verse comprometida dentro de la plataforma como consecuencia de ese tipo de

integraciones externas. Para esos casos, el *World Wide Web Consortium (W3C)* recomienda a los desarrolladores ofrecer controles que les permitan a los usuarios decidir cuando la aplicación web puede rastrear o no su ubicación (Popescu, 2010; World Wide Web Consortium (W3C), 2022).

Otro elemento operativo crucial en una plataforma desarrollada para actividades de vigilancia en salud pública es el ciclo de actualización de los datos. El ciclo de actualización de los datos y la oportunidad del sistema de vigilancia son características complementarias (Glynn & Backer, 2010), y, en consecuencia, en ausencia de una recopilación y actualización sistemática y constante de datos, la capacidad del sistema para proporcionar información confiable y apoyo oportuno para las acciones de intervención puede verse seriamente comprometida. Considerando que el 40 % de los SIG-Web analizados por este estudio no actualizan sus datos en intervalos regulares y oportunos (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Jankowska *et al.*, 2019; Kaewpitoon *et al.*, 2016; Ku *et al.*, 2016, 2019; Mohidem *et al.*, 2021), surge la pregunta de si los obstáculos para la actualización de los datos en esas plataformas son el resultado de restricciones administrativas, tecnológicas, o de una combinación de ambos factores. Investigadores y desarrolladores de plataformas para vigilancia en salud pública deben afrontar la difícil tarea de recopilar y actualizar constantemente el vasto flujo de información generado por los entornos sanitarios contemporáneos. Adicionalmente, los procesos tradicionales de recopilación manual de datos en los hospitales son notablemente ineficientes, con alto consumo de tiempo y recursos humanos (Parciak *et al.*, 2023). Esta ineficiencia persiste incluso cuando los datos de salud se almacenan en bases de datos. Actualmente, cualquier consulta en una base de datos requiere de interacción humana, generalmente a través de una interfaz gráfica de usuario basada en web. Sin embargo, con cantidades de datos cada vez mayores, la capacidad de explorar, obtener y distribuir los datos obtenidos a partir de estas fuentes también será limitada e igualmente ineficiente (Black *et al.*, 2020).

Ante estos desafíos, los flujos de trabajo automatizados de recopilación de datos surgen como una buena alternativa para resolver los problemas introducidos por procedimientos manuales, aunque la viabilidad de dicha implementación depende significativamente de la naturaleza de la fuente de los datos. En plataformas como *HealthMap* (Freifeld *et al.*, 2008), cuyas fuentes de datos se basan en búsquedas en Internet, el desarrollo y la integración de mecanismos automatizados de recopilación y actualización de datos se benefician de plataformas como Google, que proporcionan APIs sólidas y bien documentadas (De, 2017) para tales fines. Sin embargo, dicho proceso de automatización se torna más complejo cuando la fuente principal de información se deriva de, por ejemplo, repositorios oficiales como bases de datos de salud pública, ya que estos generalmente carecen de herramientas para su integración con otros softwares y sistemas (Black *et al.*, 2020). Cuando el desarrollo de una nueva solución de automatización no sea posible por falta de recursos o limitaciones tecnológicas, se recomienda utilizar herramientas de recolección de datos de terceros como alternativa (Hamilton, Janet J.; Hopkins, 2019). Por ejemplo, la herramienta *ReDCap*, una aplicación basada en web, desarrollada por la Universidad de Vanderbilt y diseñada para auxiliar la colecta de datos para estudios de investigación (Harris *et al.*, 2009), se ha utilizado con éxito no sólo para la extracción y actualización automática de datos, sino también, para convertir datos en información geoespacial en plataformas de geovisualización y análisis de la distribución de recursos sanitarios (Yasobant *et al.*, 2015).

Reporte de informaciones

La inclusión de indicadores en los sistemas de vigilancia de la salud pública es crucial, no solo para informar sino también, para orientar las acciones de salud pública y evaluar la efectividad de estas acciones (Organización Panamericana de la Salud, 2018; Sullivan *et al.*, 2010). Si bien, todas las plataformas SIG-Web analizadas en esta revisión incluyeron el reporte de algún tipo de indicador para medir el problema de salud monitoreado, una exploración más integral de esta información podría mejorar significativamente las capacidades de vigilancia del sistema. En este sentido, los modelos predictivos consideran recursos valiosos, especialmente en el contexto de brotes de enfermedades y vigilancia epidémica (Desai *et al.*, 2019; Feng *et al.*, 2010). Utilizando información pasada y presente sobre enfermedades, los modelos predictivos permiten predecir futuros brotes y patrones de transmisión; predecir factores ambientales que favorecen problemas de salud, determinar las áreas geográficas de mayor riesgo y priorizar acciones de intervención o prevención (Lyseen *et al.*, 2014). Sin embargo, en este estudio, el modelado estadístico para predecir o pronosticar la ocurrencia de eventos de salud

pública tan solo se implementó en 2 de los 15 SIG-Web analizados (Bachechi *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2019), ambos dedicados al monitoreo ambiental. Estos resultados respaldan observaciones previas sobre la mala implementación de dichos modelos en las actividades rutinarias de vigilancia y control de salud poblacional (Corley *et al.*, 2014). Varios autores señalan la falta de estandarización y de métodos de validación y verificación de los modelos estadísticos predictivos como las principales causas de esta falencia (Corley *et al.*, 2014; Lutz *et al.*, 2019), además de las dificultades para comunicar visualmente la información de predicción (Brennen *et al.*, 2019).

En ausencia de orientaciones para validar modelos predictivos, los investigadores interesados en desarrollar SIG-Web para funciones de vigilancia pueden recurrir a revisiones sistemáticas y de esa forma, identificar la evidencia disponible sobre los mejores modelos para predecir eventos de salud. Por ejemplo, a través de una revisión sistemática, Martin-Moreno *et al.*, (2022) recuperaron de la literatura científica los principales modelos predictivos utilizados para monitorear la primera ola de la pandemia de Covid-19, y así determinar los métodos de predicción más confiables y prácticos para su aplicación en futuros brotes y posibles pandemias (Martin-Moreno *et al.*, 2022). Cabe señalar, sin embargo, que incluso cuando una revisión sistemática pueda proporcionar conocimientos que podrían ayudar a comprender los modelos predictivos para futuras aplicaciones prácticas, siempre será necesaria una comparación exhaustiva del rendimiento de estos modelos en situaciones comparables, evaluando su validez predictiva para monitorear otras condiciones de salud.

Para tornar las predicciones de los modelos estadísticos más accesibles para los profesionales de la salud pública, Brennen *et al.*, (2019) sugieren equilibrar la cantidad de pronósticos presentados en los sistemas, así como representar de manera clara y precisa la incertidumbre y confianza del pronóstico para el usuario final. La participación activa de las partes interesadas, así como las colaboraciones interdisciplinarias durante la planificación y el desarrollo de un SIG-Web para la vigilancia de la salud pública, también son esenciales para satisfacer las necesidades de reportes de información de una plataforma desarrollada para actividades de vigilancia en salud. Por ejemplo, siguiendo el modelo de diseño centrado en el usuario (Koh *et al.*, 2011; McGuire *et al.*, 2008; Roth *et al.*, 2015), los responsables por el desarrollo de la plataforma PTBi (Jankowska *et al.*, 2019), consideraron las opiniones de los tomadores de decisión en salud pública para identificar las variables e indicadores más relevantes para el evento de salud monitoreado, así como otros aspectos críticos para la plataforma. De hecho, en esta revisión, la plataforma PTBi demostró ser el SIG-Web más completo en términos de indicadores, lo que refuerza la importancia de la participación activa de los profesionales y tomadores de decisiones en salud pública para desarrollar plataformas adaptadas tanto a las preferencias de los usuarios, como a las necesidades de vigilancia.

Geovisualización de datos

Las guías cartográficas que describen las mejores prácticas para construir mapas temáticos de calidad para uso en salud pública, resaltan la importancia de seleccionar el tipo de mapa apropiado según el tipo de datos epidemiológicos que se pretende visualizar. En esta revisión, todos los SIG-Web analizados atendieron estas recomendaciones. Así, mapas coropléticos, recomendados para representar tasas de enfermedad (Juergens, 2020; Kamel Boulos, 2004; Resendes *et al.*, 2006), fueron empleados en las plataformas SIG-Web PTBi (Jankowska *et al.*, 2019), *Taiwan Cancer Map* (Ku *et al.*, 2016) y *World Cancer Map* (Ku *et al.*, 2019), que reportan tasas de prevalencia y mortalidad en sus sistemas, mientras que mapas de puntos (también llamados *dot maps*), indicados para visualizar datos de recuento (Geography and Geospatial Science Working Group, 2012; Resendes *et al.*, 2006), fueron implementados las plataformas dedicadas al reporte de casos (Freifeld *et al.*, 2008; Kaewpitoon *et al.*, 2016; Mohidem *et al.*, 2021; Nelson *et al.*, 2015) o a la visualización de aglomerados espaciales (Savini *et al.*, 2018). Por otro lado, para representar fenómenos suaves y continuos, como el clima o la contaminación, los mapas isopléticos son efectivos, ya que resaltan patrones espaciales en los datos, en lugar de representar cambios abruptos entre áreas (Geography and Geospatial Science Working Group, 2012). Curiosamente, en esta revisión, ninguno de los SIG-Web dedicados al monitoreo ambiental (Bachechi *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2019) implementó este tipo de mapa.

Dado que el principal objetivo de la visualización de datos a través de mapas temáticos es comunicar información de salud de forma clara y convincente, la selección del tipo de mapa debe considerar, además del tipo de datos a representar, los posibles sesgos que introducen estas representaciones visuales. Por ejemplo, a pesar de su fácil construcción, en los mapas coropléticos la comunicación visual del riesgo de enfermedad se presenta demasiado simplificada, ya que todos los valores aparecen distribuidos uniformemente en un polígono (Kamel Boulos, 2004). Otras limitaciones del diseño coroplético incluyen el dominio visual de áreas geográficas más grandes sobre las más pequeñas (C. Croner & De Cola, 2001). Una forma de abordar la visualización de incertidumbres en este tipo de mapas es mediante la construcción de mapas suavizados. Los métodos bayesianos o Empíricos de *Bayes*, por ejemplo, permiten calcular tasas estimadas para cada área geográfica más pequeña, incorporando información sobre los datos observados en áreas vecinas. Además, tienen en cuenta antecedentes relacionados con la variación espacial de las tasas (Talbot *et al.*, 2000). De esta manera, los datos recopilados en las áreas geográficas más pequeñas (con menos individuos), pueden ser exhibidas al mismo tiempo que manteniendo la estabilidad de las tasas estimadas.

El desarrollador SIG-Web que pretenda utilizar mapas coropléticos también debe seleccionar con cuidadosa atención la simbología para sus mapas. La interpretación de las visualizaciones basadas en mapas depende en gran medida del esquema de color elegida y de la visualización de los datos de salud en diferentes escalas, y por tanto, cualquier cambio en estos parámetros puede resultar en diferentes interpretaciones válidas (Elliott & Wartenberg, 2004). Para determinar el tipo de método de clasificación a utilizar, se recomienda considerar el propósito del mapa, la distribución de los datos y el nivel de conocimiento (cartográfico y estadístico) de la audiencia objetivo (Geography and Geospatial Science Working Group, 2012). También se recomienda limitar el número de intervalos de clase a no más de cinco a siete clases, pues esto facilita la visualización de la simbología (los colores) que representan cada clase (Geography and Geospatial Science Working Group, 2012; Resendes *et al.*, 2006). En cuanto al uso de color, un esquema de color de tipo secuencial, donde un único tono varía en intensidad (generalmente de mayor a menor, siendo valores altos los más oscuros y valores bajos los más claros), puede ser útil para representar datos cuantitativamente diferentes (ya sea datos ordenados por rango o cantidades numéricas), como la densidad poblacional o la tasa de mortalidad (Brewer, 1994; Geography and Geospatial Science Working Group, 2012). Por el contrario, un esquema de color divergente, con dos colores contrastantes que convergen en un punto medio neutro, es ideal para resaltar áreas donde los valores del fenómeno observado son mayores, iguales o menores de lo esperado, como en el caso de las tasas de mortalidad estandarizada (Brewer, 1994; Geography and Geospatial Science Working Group, 2012), visualizadas en el SIG-Web *World Cancer Map* (Ku *et al.*, 2019).

Para el caso de los mapas de puntos, aunque estos suelen indicados para mostrar patrones de concentración o dispersión de un evento en un territorio, este tipo de mapa puede ser difícil de interpretar cuando existe una gran superposición de puntos (Resendes *et al.*, 2006). Algunos autores recomiendan el uso de mayor opacidad para mitigar este problema, aunque una mejor alternativa al mapa de puntos es el uso de mapas de símbolos proporcionales, donde los símbolos varían según la cantidad que representan, a diferencia de los puntos, donde todos los puntos representan el mismo valor (Maciejewski *et al.*, 2008; Resendes *et al.*, 2006).

En cuanto al tipo de visualización de mapas, los resultados de esta revisión sugieren una infrautilización de mapas dinámicos en las plataformas SIG-Web analizadas, ya que si bien la mayoría utilizaron mapas interactivos, menos de la mitad de los SIG-Web (40 %) hizo uso de soluciones de geovisualización dinámica (Hohl *et al.*, 2020; Mast *et al.*, 2021; Savini *et al.*, 2018). De acuerdo con la literatura, el uso de mapas dinámicos o animados aporta beneficios considerables para el análisis de patrones espacio-temporales, puesto que permiten observar cambios en variables relevantes en el espacio y el tiempo, que no son reconocibles en visualizaciones estáticas (Preim & Lawonn, 2020). A pesar de sus beneficios, la animación de mapas puede representar un desafío cartográfico cuando se implementa en entornos web. En primer lugar, dado que las propiedades de interactividad de toda aplicación web están controladas por JavaScript, serán necesarios conocimientos avanzados en este lenguaje de programación para implementar un proyecto de este tipo. Además, la animación de conjuntos de datos epidemiológicos o sanitarios, normalmente vastos, a menudo implica múltiples puntos de datos y animaciones complejas, que pueden consumir importantes recursos y comprometer el rendimiento de las aplicaciones web (Buschmann *et al.*, 2014). Para los desarrolladores de SIG-Web,

esto introduce una capa adicional de complejidad, ya que necesitarán desarrollar códigos meticulosos para evitar tiempos de carga lentos y garantizar interacciones fluidas con los usuarios.

En los últimos años, herramientas de visualización de datos de código abierto han surgido como una excelente solución para el análisis visual, especialmente en entornos donde la flexibilidad y complejidad del diseño visual no deberían estar limitadas por las habilidades de programación (Addepalli *et al.*, 2023; Heer *et al.*, 2008). Entre las herramientas existentes, *D3.js* es la preferida y más ampliamente utilizada por los desarrolladores web (Rodden, 2014). Utilizando tecnologías web básicas como HTML, CSS y SVG (gráficos vectoriales escalables), esta librería *Open Source* para JavaScript permite generar todo tipo de gráficos y mapas, tanto dinámicos como interactivos, sin requerir procesos de instalación adicionales. Pese a su gran versatilidad, *D3.js* implica una significativa curva de aprendizaje para su integración en plataformas SIG-Web, ya que no incluye plantillas de gráficos y requiere una buena comprensión del formato de archivo SVG, así como del DOM y su manipulación para aprovechar sus capacidades (Bostock *et al.*, 2011). *Plotly*, un módulo gratuito y de código abierto para JavaScript y Python (Sievert, 2020), supone una interesante alternativa a *D3.js* como herramienta para la visualización animada de datos de referencia geográfica, puesto que su uso no exige conocimientos previos de JavaScript, y además, puede ser utilizado en una gran variedad de lenguajes de programación, incluyendo R, Python, Java entre otros (Van Der Donckt *et al.*, 2022). *Kartograph*, *CesiumJS* y la API de *ArcGIS* para JavaScript, son otros buenos ejemplos de herramientas para la cartografía web animada. No obstante, cabe destacar que los desarrolladores de SIG-Web para vigilancia de salud pública interesados en la integración de este tipo de herramientas deben ser conscientes de los posibles inconvenientes, incluido el bajo rendimiento y la falta de soporte para funciones específicas que pueden no estar disponibles en dichas herramientas (Wang *et al.*, 2015).

Por otro lado, en el contexto del diseño de representaciones cartográficas animadas, el desafío predominante surge de las capacidades finitas de procesamiento visual y cognitivo del receptor de los mapas, más que de las limitaciones técnicas. En comparación con los mapas estáticos, que presentan toda la información simultáneamente (Harrower *et al.*, 2008); los mapas animados presentan información a lo largo del tiempo, ofreciendo una dimensión representacional adicional que puede usarse para mostrar cambios en variables relevantes en el espacio y el tiempo, y que no son reconocibles en visualizaciones estáticas (Preim & Lawonn, 2020). No en tanto, los desarrolladores de plataformas de mapas web que deseen utilizar animaciones, deben conocer las particularidades de este tipo de visualización y cómo estas podrían afectar a su audiencia. Por ejemplo, en la geovisualización animada de la plataforma *Atlas of Rotavirus* (Mast *et al.*, 2021), que muestra la vacunación semanal contra rotavirus por año, dado que la información sobre la tasa de vacunación solo está presente durante una fracción de segundo, a medida que avanza progresivamente la línea de tiempo, estas animaciones deben verse varias veces para permitir una interpretación adecuada y reducir la posibilidad de perder pistas epidemiológicas importantes. Además, en los casos en que los datos a representar tengan una frecuencia temporal alta, la selección de la escala temporal en el mapa animado debe ser cuidadosa (Preim & Lawonn, 2020). La escala temporal en un mapa dinámico determina cómo se representan las transiciones y cambios de datos en intervalos específicos. Cuando la escala es demasiado amplia, se pueden ignorar las fluctuaciones rápidas, lo que podría conducir a una interpretación incompleta o engañosa. Por otro lado, si la escala es demasiado granular, el espectador puede sentirse abrumado por minucias, lo que dificulta discernir tendencias o patrones más amplios.

Frente a estos desafíos, diferentes autores han desarrollado principios importantes para la implementación de animación cartográfica y que pueden ser adoptados en proyectos que involucran SIG-Web para la vigilancia de la salud pública (Castronovo *et al.*, 2009; Fabrikant & Goldsberry, 2005; Harrower, 2003; Harrower *et al.*, 2008; Maciejewski *et al.*, 2008). Por ejemplo, para abordar la naturaleza transitoria de la representación animada de datos y la sobrecarga de información, Harrower (2003) y Maciejewski *et al.*, (2008) recomiendan implementar controles para la reproducción, navegación y velocidad de las animaciones dentro de la aplicación de mapas web (Harrower, 2003; Maciejewski *et al.*, 2008). Castronovo *et al.*, (2009), añaden como recomendaciones generales para la obtención de mapas dinámicos efectivos, la creación de mapas simples, con sólo unos pocos tipos de datos o recursos; el uso de elementos narrativos auxiliares (como símbolos, subtítulos o grabaciones de

voz) para guiar al usuario, así como proporcionar una breve introducción sobre la interfaz animada antes de mostrar datos, para facilitar la curva de aprendizaje del usuario (Castronovo *et al.*, 2009).

Recursos de la plataforma

En términos de funcionalidad, las características cartográficas básicas como el soporte para la clasificación de datos, el cambio de escala del mapa (mediante zoom) y la superposición de capas de mapa fueron las principales implementaciones en los SIG-Web analizados. Además, la mayoría de las plataformas cuentan con soporte para la gestión de datos dentro del sistema, principalmente mediante la descarga de información gráfica o tabular. En cuanto a las funcionalidades analíticas, si bien, en casi todos los SIG-Web se implementaron análisis descriptivos simples a través de gráficos de líneas o barras, los resultados de este estudio sugieren debilidades en la implementación de recursos analíticos avanzados, ya que tan sólo dos SIG-Web (Reinhardt *et al.*, 2008; Savini *et al.*, 2018) tienen soporte para el análisis estadístico espacial. Estudios previos reportaron observaciones similares sobre la falta de implementación de recursos analíticos avanzados en plataformas SIG-Web (Huang & Li, 2009; Hui Lin & Bo Huang, 2001; Luan & Law, 2014). Cabe resaltar, sin embargo, que la mayoría de las plataformas SIG-Web analizadas en esta revisión fueron diseñadas apenas para visualización de datos, lo que podría explicar las carencias encontradas para este criterio.

Como afirmado por Thacker & Berkelman (1988) "*la vigilancia es información para la acción*". Métodos estadísticos para detectar brotes y grupos de enfermedades; interpretar tendencias espacio-temporales y realizar análisis estadísticos exploratorios, son los vínculos entre el diseño y el funcionamiento de un sistema de vigilancia y el uso de los datos producidos por dicho sistema, para implementar acciones de control y prevención de agravios de salud pública (Lee *et al.*, 2010). En la literatura, algunos investigadores han utilizado soluciones tanto del lado del servidor (servidor web) como del lado del cliente (navegador web) para proporcionar capacidades analíticas espaciales en plataformas SIG-Web (Huang *et al.*, 2011; Hui Lin & Bo Huang, 2001). No obstante, estas soluciones han resultado poco prácticas en entornos de desarrollo reales. Cuando se realizan tareas de análisis espacial en software SIG instalado en una computadora (por ejemplo, ArcGIS® o QGIS), todos los análisis se realizan en un entorno independiente o de red de área local (LAN) (Huang & Li, 2009). Por el contrario, en las aplicaciones web, las tareas de análisis espacial se realizan en el lado del servidor o en lado del cliente, lo que hace que todo el sistema dependa de una comunicación constante entre estas dos interfaces. Como resultado, el proceso de análisis espacial estará influenciado por las limitaciones de cada uno de estos componentes, así como por cualquier factor que afecte la comunicación cliente-servidor, como la capacidad del servidor para manejar un gran volumen de usuarios simultáneos (Huang, 2012) o la velocidad de Internet del usuario.

En reconocimiento de las limitaciones del análisis espacial fuera de los entornos LAN y con los avances en las tecnologías web, en años recientes, la computación científica integrada ha surgido como una propuesta sólida para conectar directamente software estadístico con aplicaciones basadas en web. Como señala Ooms (2014), las aplicaciones que pretenden integrar componentes analíticos requieren un enfoque que priorice la interoperabilidad, así como interfaces programables (APIs) que definan operaciones estadísticas independientemente de cualquier lenguaje de programación específico (Ooms, 2014). En ese contexto, frameworks como *OpenCPU* (Ooms, 2014) y *shiny* (RStudio Inc., 2023) proporcionan una conexión básica al entorno de análisis estadístico del software R, a través de un socket web. Esto permite a los desarrolladores integrar las capacidades informáticas de R en un software personalizado y diseñado para usos específicos (Urbanek, 2003), como una aplicación de mapas para análisis y visualización de datos vía web.

Sin embargo, el desarrollador de SIG-Web interesado en adoptar cualquiera de estas tecnologías debe considerar sus potenciales limitaciones. Por ejemplo, aunque en *shiny* el servidor permite a los desarrolladores crear aplicaciones SIG-Web básicas, sin necesidad de código HTML o JavaScript adicional (Beeley, 2018; RStudio Inc., 2023), su arquitectura puede ser una limitante cuando se trata de crear aplicaciones web más complejas (Kasprzak *et al.*, 2020). Según Ge *et al.* (2018), un problema común de *shiny* es la falta de flexibilidad derivada de su sistema basado en *dashboards* (paneles), el cual, aunque facilita su creación, carece de adaptabilidad en comparación con soluciones creadas en

otros entornos de programación (Ge *et al.*, 2018). En el caso de la plataforma *OpenCPU*, esta proporciona una API para acceder y ejecutar el software R y sus scripts, mediante llamadas del Protocolo de Transferencia de Hipertexto (HTTP) desde un navegador web (Manjunath *et al.*, 2017). De esta manera, los desarrolladores pueden integrar cómodamente todas las funciones de análisis de datos y estadísticas de R (incluidos paquetes y funciones de análisis espacial) en sus propias plataformas web. Debe ser notado, no en tanto, que pese a que *OpenCPU* carece de los problemas de adaptabilidad de *shiny*, los desarrolladores que pretendan integrar dicha plataforma a sus proyectos SIG-Web deben desarrollar su propia aplicación web de forma independiente, lo que aumenta la complejidad del proyecto así como los requisitos de habilidades de programación de los investigadores responsables. Además, debido a que todas las tareas estadísticas son basadas en R y se ejecutan en el servidor, el software debe ser instalado en el servidor, lo que puede agregar aún más complejidad para algunas configuraciones de desarrollo.

Adicional a la computación integrada, el aprovechamiento de soluciones basadas en la nube en combinación con software SIG de escritorio también ha permitido la construcción de plataformas con funciones analíticas, incluyendo la regresión espacial y el mapeo de aglomerados espaciales (Lan & Delmelle, 2022; X. Li *et al.*, 2015). Alternativamente, es posible explorar herramientas analíticas desarrolladas para atender otras áreas del conocimiento e incorporar sus capacidades analíticas en plataformas SIG-Web. Algunos ejemplos son el Procesamiento Analítico Espacial en Línea (SOLAP, por sus siglas en inglés), una tecnología que combina herramientas analíticas del sector de inteligencia empresarial con tecnologías SIG (Ahmed, 2008), y que ha permitido el desarrollo exitoso de SIG-Web con capacidades analíticas robustas para la vigilancia y toma de decisiones en salud (Bernier *et al.*, 2009).

Arquitectura de la plataforma

En esta revisión se observó una amplia gama de tecnologías para el desarrollo de las plataformas SIG-Web analizadas. Considerando que una gran variedad de entornos, lenguajes y marcos de programación del lado del servidor pueden ser utilizados para el desarrollo de plataformas SIG-Web, la cantidad de tecnologías para implementar dichos proyectos es prácticamente infinita (Neumann, 2017). Entre los hallazgos más notables respecto a este criterio, destaca el uso extensivo de recursos gratuitos y/o de código abierto (FOSS, por sus siglas en inglés) para la implementación de los SIG-Web, tanto en la arquitectura *back-end* como en la *front-end*. Hoy en día, una pila completa de soluciones FOSS para crear un SIG-Web incluye *frameworks* de aplicaciones cliente-servidor, motores de cartografiado web con soporte para la representación cartográfica; así como soluciones de almacenamiento de datos y herramientas adicionales que amplían o mejoran las capacidades básicas de la plataforma (Xia *et al.*, 2009), manteniendo los costos de desarrollo al mínimo. Es importante resaltar, sin embargo, que la elección de software libre para el desarrollo de proyectos SIG-Web debe considerar sus desventajas de y, principalmente, sus potenciales impactos cuando se trata de herramientas diseñadas para apoyar la vigilancia de la salud. Según el Centro Europeo para la Prevención y el Control de Enfermedades (ECDC, por sus siglas en inglés), la falta de garantías y acuerdos de servicio en el software FOSS puede comprometer la fiabilidad del sistema de vigilancia, puesto que, al contrario de lo que ocurre con software de pago, no existe ningún contrato que legalmente garantice los niveles de soporte mínimos para resolver posibles problemas relacionados con las funcionalidades y la seguridad del sistema, tiempos de respuesta y actualizaciones del sistema (European Centre for Disease Prevention and Control, 2014).

Los resultados de esta revisión también muestran una marcada preferencia por la integración de código externo, ya que la mayoría de las plataformas revisadas fueron desarrolladas a partir de diversas APIs, *frameworks* y bibliotecas para navegadores web. APIs de mapas como *OpenStreetMap* y *ArcGIS*[®] de ESRI, fueron las más utilizadas para la construcción del layout de mapa en los SIG-Web analizados (Brasil & Ministério da Saúde, 2021b; Hohl *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2019; Jankowska *et al.*, 2019; Knox *et al.*, 2014; Nelson *et al.*, 2015; Savini *et al.*, 2018). Cuando implementadas en una plataforma web, las APIs de mapas permiten al desarrollador web solicitar datos espaciales para una región geográfica

seleccionada a través de HTTP e incrustar el mapa resultante en cualquier sitio web externo (Chow, 2008). En este enfoque, conocido como *GeoMashup*, los sitios web generalmente utilizan mapas proporcionados por terceros, y los datos geográficos propios (sean del desarrollador o del usuario final) se superponen en estos mapas (Favretto, 2010), creando un nuevo sitio web con base en estas informaciones.

Por su política gratuita, la disponibilidad de cobertura de datos global, la navegación dinámica, la capacidad de consulta y la facilidad de implementación, las APIs de mapas tienen un gran éxito entre los proyectos SIG-Web (Chow, 2008). A pesar de su costo-beneficio y versatilidad, el desarrollo de aplicaciones SIG-Web basadas en APIs de mapas todavía deben solventar algunos desafíos. El aspecto más crítico, al menos en términos de vigilancia en la salud pública, es la falta de funcionalidad SIG avanzada en las APIs de mapas disponibles. Como se mencionó anteriormente, el análisis de datos es uno de los componentes centrales de la vigilancia de la salud pública. Aunque las APIs de mapas existentes proporcionan funcionalidades básicas, como la superposición de capas de mapa o la gestión de datos, estas herramientas todavía no ofrecen el mismo nivel de soporte de análisis espacial que se utiliza, por ejemplo, en una solución SIG de escritorio (Chow, 2008; S. Li & Gong, 2008). Además, varios estudios que evaluaron las APIs de mapas en el pasado señalaron diferencias en cuanto a rendimiento, capacidades cartográficas y viabilidad de uso a largo plazo entre las diferentes APIs evaluadas (Bloch, 2006; de Souza *et al.*, 2004; Farooq & Zirkler, 2010; Gerken *et al.*, 2011; Peterson, 2015; Wong, 2007). Por ejemplo, según Peterson (2014), la API *Leaflet* tiene un código mucho más corto que cualquier otra API desarrollada para creación de mapas en la web, lo que permite velocidades de ejecución más rápidas. Por el contrario, la API de *OpenStreetMap* posee un código más largo, aunque ofrece más funcionalidades (Peterson, 2015). El autor también destaca las dificultades que imponen los rápidos avances tecnológicos y los desafíos para mantener el desarrollo de dichas APIs actualizado y compatible con las nuevas tecnologías (Peterson, 2015).

Privacidad y seguridad

Además de las exigencias de confidencialidad necesarias en cualquier sistema de información sanitaria, las plataformas SIG accesibles al público a través de Internet deben enfrentarse a los riesgos asociados con la divulgación de conjuntos de datos que pueden contener identificadores geográficos. En esta revisión, se encontró que en todos los SIG-Web analizados, la agregación de registros dentro de los límites de áreas geográficas fue el método elegido para preservar la confidencialidad de los registros de salud geocodificados. En el contexto de datos geocodificados a nivel individual, el proceso de agregación a menudo implica fusionar ubicaciones individuales en una unidad espacial relevante, como ciudades, estados o divisiones censales (Zandbergen, 2014). Sin embargo, para numerosas aplicaciones, incluida la vigilancia de la salud, tener datos agregados espacialmente no es tan valioso como el acceso a ubicaciones individuales (Armstrong, 1999). Por ejemplo, el análisis de detección de aglomerados espaciales es crucial para la vigilancia y la investigación de enfermedades de rara ocurrencia, como las anomalías congénitas (Bermejo-Sánchez & Posada de la Paz, 2017); o para el seguimiento de brotes de enfermedades infecciosas o transmisibles (Yeng *et al.*, 2020). Sin embargo, este tipo de análisis es mucho menos potente o simplemente no es posible utilizando datos agregados (Zandbergen, 2014).

Ante esta brecha, es importante que los investigadores interesados en desarrollar SIG-Web para la vigilancia de la salud inviertan sus esfuerzos en explorar posibles métodos que sirvan para evitar la reidentificación en datos georreferenciados, con el fin de garantizar la privacidad de los sistemas. Para los casos en los que la agregación espacial de datos puede comprometer su interpretación y análisis, los enfoques de Enmascaramiento geográfico o *Geomasking*, donde las coordenadas de ubicación son intercambiadas para limitar el riesgo de reidentificación después de la publicación de los datos (Molla *et al.*, 2019; Zandbergen, 2014), pueden implementarse, preservando al mismo tiempo información suficiente para tomar decisiones basadas en estos datos. En el estudio de Houfah-Khoufah (2021), por ejemplo, utilizaron tres métodos de *Geomasking* y enmascararon con éxito las direcciones de un conjunto de datos de casos de COVID-19 en Francia, preservando más o menos la distribución espacial original de los aglomerados (Houfah-Khoufah *et al.*, 2021). Sin embargo, como el número de estos estudios es todavía relativamente pequeño (Kwan *et al.*, 2004), se necesitan más investigación para dilucidar cuestiones críticas como la efectividad de estos métodos en comparación con otras técnicas;

sus efectos en los análisis espaciales, la viabilidad de su implementación en sistemas de vigilancia basados en web y su valor para generar información relevante para los tomadores de decisiones en salud pública.

Otros desafíos

Los resultados de este estudio sobre el significativo aumento en el número de publicaciones que contienen las palabras “Web”, “GIS”, “vigilancia” y “salud pública” en los últimos cinco años, pueden interpretarse como un reflejo del creciente interés de la comunidad científica mundial en tecnologías SIG basadas en la web como recursos prácticos para recopilar, analizar y difundir datos de salud. Sin embargo, el desarrollo y adopción de estas herramientas aparenta ser notablemente restringido en regiones con recursos limitados, pues de las quince plataformas analizadas, sólo dos fueron desarrolladas en países subdesarrollados (Brasil & Ministério da Saúde, 2021a; Knox *et al.*, 2014). El bajo número de SIG-Web con URLs activas recuperados en esta revisión también sugiere posibles dificultades para el mantenimiento online de estas plataformas. Llama la atención que, de los 124 artículos revisados, 79 carecían de *Uniform Resource Locators* (URL) válidos, lo que imposibilitó su exploración y análisis. De hecho, las plataformas PTBi (Jankowska *et al.*, 2019) y *TB GIS Gomback* (Mohidem *et al.*, 2021), disponibles online durante la fase de análisis (entre enero y agosto de 2022) de este estudio, no pudieron ser localizadas en la web, por ejemplo, el 27 de julio de 2023. Aunque la mayoría de los SIG-Web analizados en este estudio fueron desarrollados principalmente con recursos gratuitos o de bajo costo, siempre se requerirá de apoyo financiero posterior a la implementación de cualquier plataforma SIG-Web, especialmente en lo que respecta a los recursos humanos necesarios para mantener el funcionamiento de estos sistemas en el largo plazo.

Perspectivas y tendencias tecnológicas para el futuro desarrollo de SIG-Web para la vigilancia de la salud pública

Con el reciente surgimiento y la rápida evolución del Internet de las cosas (IoT), el futuro del desarrollo de plataformas SIG-Web está marcado por diversas tendencias tecnológicas prometedoras. En el contexto de los SIG-Web para la vigilancia de la salud pública, la adopción de arquitecturas de computación en la nube, en las cuales el software, la plataforma y la infraestructura SIG se proporcionan como un servicio, a través de Internet (Agrawal & Gupta, 2017; Veenendaal, 2017), ha demostrado ser una buena aliada a la hora de mejorar la eficiencia del procesamiento de grandes volúmenes de geodatos de salud, especialmente durante importantes emergencias de salud pública (Kolak *et al.*, 2021; Sareen *et al.*, 2018). Dentro del paradigma de la computación en la nube, las arquitecturas sin servidor se han convertido en la tecnología de tendencia actual. El enfoque sin servidor, también conocido como *Serverless*, es un modelo informático donde las operaciones del sistema están completamente administradas por un proveedor de servicios (Roberts *et al.*, 2017). Su principal ventaja radica en la alta escalabilidad y gran versatilidad del modelo para el manejo de problemas de latencia y para brindar servicios ininterrumpidos a los usuarios (Baldini *et al.*, 2017; Roberts *et al.*, 2017), proporcionando así una plataforma informática con menos desafíos técnicos y requisitos de mantenimiento. Como ha sido discutido previamente por varios autores, la integración de la informática sin servidor en aplicaciones geoespaciales puede ser muy útil para resolver los problemas de rendimiento asociado al procesamiento de grandes datos geoespaciales y costos operativos (Bebortta *et al.*, 2020), generalmente presentes en herramientas SIG-Web desarrollados para la vigilancia de salud pública.

Otra tecnología emergente y bastante prometedora es la Inteligencia Artificial Geoespacial (GeoIA). La GeoIA combina métodos SIG, Inteligencia Artificial, *Machine Learning*, minería de datos y computación de alto rendimiento para extraer conocimiento a partir de *big data* geoespacial (VoPham *et al.*, 2018), y ha sido ampliamente utilizada en las áreas de epidemiología y salud pública para el modelado predictivo de enfermedades e impactos de las exposiciones a contaminantes ambientales en la salud humana (Kamel Boulos *et al.*, 2019). Futuras implementaciones de la GeoIA en plataformas

SIG-Web para la vigilancia de la salud pública no solo prometen ser la solución para el análisis de conjuntos de datos de salud grandes y complejos; sino que también tienen el potencial de ampliar los alcances de los métodos tradicionales de vigilancia, al incorporar el análisis de nuevas fuentes de *big data* geoespacial; incluidas las redes sociales, la teledetección satelital (*remote sensing*) y la detección personal (*personal sensing*), y de esa forma, responder a situaciones de salud pública a través de un abordaje integral y multidisciplinar.

Limitaciones del estudio

El presente estudio utilizó cuatro bases de datos electrónicas y dos fuentes de literatura gris, todas cuidadosamente seleccionadas con el objetivo de atender la naturaleza interdisciplinaria de este trabajo, manteniendo al mismo tiempo, una amplia cobertura de la literatura científica. Estas fuentes, sin embargo, no garantizan una cobertura total y, por tanto, la inclusión de todas las publicaciones relevantes para los objetivos de esta revisión. Así mismo, a pesar de la inclusión de una variedad de palabras clave para la búsqueda de literatura, incluyendo términos amplios como “salud pública” y otros más específicos como “epidemiología”, es posible que la estrategia de búsqueda no abarque todas las publicaciones relevantes. Por otra parte, en virtud de que uno de los objetivos principales de este trabajo consistió en el análisis funcional y operacional de las plataformas SIG-Web documentadas en cada artículo, una cantidad significativa de plataformas fue excluida por la falta de acceso público vía web. En consecuencia, existe riesgo de sesgo al presentar cualitativamente los hallazgos, una vez que artículos y plataformas SIG-Web pueden estar siendo subrepresentados.

Este estudio a su vez, realizó un vasto esfuerzo para desarrollar criterios de análisis sólidos e integrales para caracterizar las plataformas SIG-Web revisadas, priorizando los parámetros que consideramos más críticos y relevantes para llevar a cabo actividades de vigilancia de salud pública. Sin embargo, es importante señalar que varios criterios importantes fueron desconsiderados. Esta omisión incluye factores como la estandarización de la información espacial para su visualización vía web y la adaptabilidad de estas plataformas para dispositivos móviles, ambos factores clave para garantizar la interoperabilidad, accesibilidad y usabilidad de los SIG-Web para vigilancia en salud pública en diversos contextos. Además, tampoco se ponderaron elementos más subjetivos como el diseño de la interfaz de usuario de estas plataformas. Estos aspectos, aunque vitales para la experiencia general del usuario y la eficiencia del sistema, quedaron fuera del alcance y de los objetivos principales del presente trabajo.

Finalmente, la adopción de una metodología rigurosa y sistemática para incluir y excluir publicaciones para la revisión de la literatura en este estudio, contribuyó sustancialmente para minimizar sesgos de selección. No obstante, al no incluir todos los elementos del proceso de revisión sistemática (como la evaluación de la calidad), esta revisión no debe considerarse como una revisión sistemática, sino más bien, una revisión sistematizada de la literatura (Grant & Booth, 2009), cuyos posibles sesgos y limitaciones deben ser ponderados en el presente estudio.

5. Conclusiones

Este estudio se realizó con el objetivo de caracterizar las plataformas SIG basadas en web desarrolladas para la vigilancia en salud pública, con el fin de identificar el estado del conocimiento en esta área y brindar pautas de diseño y desarrollo que contribuyan para una mejor implementación de estas herramientas. A pesar de las limitaciones identificadas, las aplicaciones SIG-Web para la vigilancia de la salud pública poseen un vasto potencial que aún debe explorarse. Estudios futuros destinados a reducir limitaciones operativas, especialmente aquellas relacionadas con el ciclo de actualización de datos y la integración de herramientas analíticas; junto con el fortalecimiento de colaboraciones interdisciplinarias e intersectoriales para reducir costos de implementación y eliminar barreras de acceso, serán esenciales para garantizar plataformas SIG-Web competentes, y para aumentar la adopción de estas tecnologías en el campo de la vigilancia de la salud pública. Finalmente, dada la falta de protocolos para el diseño e implementación de tecnologías SIG-Web para la vigilancia de la salud pública, tanto los criterios desarrollados para analizar las plataformas SIG-Web, como las soluciones

propuestas para mitigar algunas de las brechas identificadas en este trabajo, pueden servir como punto de referencia para auxiliar a investigadores y desarrolladores de salud pública a implementar mejor futuras herramientas de este tipo.

6. Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con el apoyo de la Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Educación Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referencias bibliográficas

Aalai, E., Gleghorn, C., Webb, A., Glover, S. W. (2009). Accessing public health information: a preliminary comparison of CABI's global health database and medline. *Health Information & Libraries Journal*, 26(1), 56–62. <https://doi.org/10.1111/J.1471-1842.2008.00781.X>

Addepalli, L., Lavanya, A., Sindhuja, S., Gaurav, L., Ali, W., Author, C. (2023). *A Comprehensive Review of Data Visualization Tools: Features, Strengths, and Weaknesses*. <https://doi.org/10.22362/ijcert/2023/v10/i01/v10i0102>

Agrawal, S., & Gupta, R. D. (2017). Web GIS and its architecture: a review. *Arabian Journal of Geosciences 2017 10:23*, 10(23), 1–13. <https://doi.org/10.1007/S12517-017-3296-2>

Ahasan, R., Alam, M. S., Chakraborty, T., Hossain, M. M. (2020). Applications of GIS and geospatial analyses in COVID-19 research: A systematic review. *F1000Research*, 9. <https://doi.org/10.12688/F1000RESEARCH.27544.2>

Ahmed, T. O. (2008). Spatial on-line analytical processing (SOLAP): Overview and current trends. *Proceedings - 2008 International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, ICACTE 2008*, 1095–1099. <https://doi.org/10.1109/ICACTE.2008.217>

Armstrong, M. (1999). Geographically masking health data to preserve confidentiality. *Wiley Online Library*, 15(18), 497–525. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0258\(19990315\)18:5<497::aid-sim45>3.0.co;2-#](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0258(19990315)18:5<497::aid-sim45>3.0.co;2-#)

Bachechi, C., Desimoni, F., Po, L., Casas, D. M. (2020). Visual analytics for spatio-Temporal air quality data. *Proceedings of the International Conference on Information Visualisation, 2020-September*, 460–466. <https://doi.org/10.1109/IV51561.2020.00080>

Baldini, I., Castro, P., Chang, K., Cheng, P., Fink, S., Ishakian, V., Mitchell, N., Muthusamy, V., Rabbah, R., Slominski, A., Suter, P. (2017). Serverless Computing: Current Trends and Open Problems. In *Research Advances in Cloud Computing* (pp. 1–20). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5026-8_1

Barcellos, C., Ramalho, W. (2002). Situação atual do geoprocessamento e da análise de dados espaciais em saúde no Brasil. *Perspectivas Da Utilização de Sistemas de Informações Geográficas*, 4(2), 221–230. <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/768>

Beard, R., Wentz, E., Scotch, M. (2018). A systematic review of spatial decision support systems in public health informatics supporting the identification of high risk areas for zoonotic disease outbreaks. *International Journal of Health Geographics 2018 17:1*, 17(1), 1–19. <https://doi.org/10.1186/S12942-018-0157-5>

Bebortta, S., Das, S. K., Kandpal, M., Barik, R. K., Dubey, H. (2020). Geospatial Serverless Computing: Architectures, Tools and Future Directions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(5), 311. <https://doi.org/10.3390/ijgi9050311>

Beeley, C. (2018). *Web application development with R using Shiny* (3rd ed.). Packt Publishing Ltd.

- Bermejo-Sánchez, E., Posada de la Paz, M. (2017). Congenital anomalies: Cluster detection and investigation. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1031, 535–557. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67144-4_29/COVER
- Bernier, E., Gosselin, P., Badard, T., Bédard, Y. (2009). Easier surveillance of climate-related health vulnerabilities through a Web-based spatial OLAP application. *International Journal of Health Geographics*, 8(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-8-18/FIGURES/9>
- Black, A., MacCannell, D. R., Sibley, T. R., Bedford, T. (2020). Ten recommendations for supporting open pathogen genomic analysis in public health. *Nature Medicine*, 26(6), 832–841. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0935-z>
- Bloch, J. (2006). How to design a good API and why it matters. *Companion to the 21st ACM SIGPLAN Symposium on Object-Oriented Programming Systems, Languages, and Applications*, 506–507. <https://doi.org/10.1145/1176617.1176622>
- Bostock, M., Ogievetsky, V., Heer, J. (2011). D³ Data-Driven Documents. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 17(12), 2301–2309. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2011.185>
- Brasil, & Ministério da Saúde. (2021a). Aplicativo de acesso livre na web para monitoramento de anomalias congênitas: o caso do Rio Grande do Sul. In A. Correia de Medeiros & L. De Almeida Costa (Eds.), *Saúde Brasil 2020/2021 - Anomalias congênitas prioritárias para vigilância ao nascimento* (1st ed., pp. 389–406). Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes-svs/analise-de-situacao-de-saude/saude-brasil_anomalias-congenitas_26out21.pdf/view
- Brasil, & Ministério da Saúde. (2021b). *Saúde Brasil 2020/2021 - Anomalias congênitas prioritárias para vigilância ao nascimento* (A. Correia de Medeiros & L. De Almeida Costa (eds.); 1st ed.). Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/saude_brasil_anomalias_congenitas_prioritarias.pdf
- Brennen, A., Sieniawski, G., George, D. (2019). *What Flu Forecasting Taught Us About Visualizing Uncertainty*. <https://github.com/BNext-IQT/Viziflu>
- Brewer, C. A. (1994). Color Use Guidelines for Mapping and Visualization. *Modern Cartography Series*, 2(C), 123–147. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-042415-6.50014-4>
- Buschmann, S., Trapp, M., Dollner, J. (2014). Real-time animated visualization of massive air-traffic trajectories. *Proceedings - 2014 International Conference on Cyberworlds, CW 2014*, 174–181. <https://doi.org/10.1109/CW.2014.32>
- Castronovo, D. A., Chui, K. K. H., Naumova, E. N. (2009). Dynamic maps: A visual-analytic methodology for exploring spatio-temporal disease patterns. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 8(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-61/FIGURES/2>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2001). Updated guidelines for evaluating public health surveillance systems; recommendations from the Guidelines Working Group. In *MMWR* (Vol. 50, Issue No. RR-13). <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/7555>
- Chow, T. E. (2008). The Potential of Maps APIs for Internet GIS Applications. *Transactions in GIS*, 12(2), 179–191. <https://doi.org/10.1111/J.1467-9671.2008.01094.X>
- Cinnamon, J., Schuurman, N. (2010). Injury surveillance in low-resource settings using Geospatial and Social Web technologies. *International Journal of Health Geographics*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-9-25/FIGURES/6>
- Corley, C. D., Pullum, L. L., Hartley, D. M., Benedum, C., Noonan, C., Rabinowitz, P. M., Lancaster, M. J. (2014). Disease Prediction Models and Operational Readiness. *PLoS ONE*, 9(3). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0091989>
- Craglia, M. (2007). Volunteered Geographic Information and Spatial Data Infrastructures: when do parallel lines converge? *VGI Specialist Meeting*, 13–14. http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/vgi/docs/position/Craglia_paper.pdf

- Croner, C., & De Cola, L. (2001). Visualization of disease surveillance data with geostatistics. *UNECE (United Nations Eco-(Page Number Not for Citation Purposes)(Page Number Not for Citation Purposes)*, 97–6. http://ldecola.net/mgt/publications/croner_decola_2001.pdf
- Croner, C. M. (2004). Public health GIS and the internet. *Journal of Map and Geography Libraries*, 1(1), 105–135. https://doi.org/10.1300/J230V01N01_07
- De, B. (2017). Introduction to APIs. In *API Management* (pp. 1–14). Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-1305-6_1
- de Souza, C. R. B., Redmiles, D., Cheng, L.-T., Millen, D., Patterson, J. (2004). Sometimes you need to see through walls. *Proceedings of the 2004 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, 63–71. <https://doi.org/10.1145/1031607.1031620>
- Desai, A. N., Kraemer, M. U. G., Bhatia, S., Cori, A., Nouvellet, P., Herringer, M., Cohn, E. L., Carrion, M., Brownstein, J. S., Madoff, L. C., Lassmann, B. (2019). Real-time Epidemic Forecasting: Challenges and Opportunities. *Health Security*, 17(4), 268–275. <https://doi.org/10.1089/hs.2019.0022>
- Dressel, W. (2017). Engineering Village. *The Charleston Advisor*, 19(1), 19–22. <https://doi.org/10.5260/CHARA.19.1.19>
- Elliott, P., Wartenberg, D. (2004). Spatial epidemiology: Current approaches and future challenges. *Environmental Health Perspectives*, 112(9), 998–1006. <https://doi.org/10.1289/EHP.6735>
- Eriksen, M. B., & Frandsen, T. F. (2018). The impact of patient, intervention, comparison, outcome (PICO) as a search strategy tool on literature search quality: a systematic review. *Journal of the Medical Library Association : JMLA*, 106(4), 420. <https://doi.org/10.5195/JMLA.2018.345>
- European Centre for Disease Prevention and Control. (2014). *Data quality monitoring and surveillance system evaluation - A handbook of methods and applications*. <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/data-quality-monitoring-and-surveillance-system-evaluation-handbook-methods-and>
- Fabrikant, S., Goldsberry, K. (2005). Thematic relevance and perceptual salience of dynamic geovisualization displays. *Proceedings, 22th ICA/ACI International Cartographic Conference*, 11–16. https://www.researchgate.net/profile/Sara_Fabrikant/publication/238068723_THEMATIC_RELEVANCE_AND_PERCEPTUAL_SALIENCE_OF_DYNAMIC_GEOVISUALIZATION_DISPLAYS/links/56a5062608ae1b6511327481.pdf
- Farooq, U., & Zirkler, D. (2010). API peer reviews. *Proceedings of the 2010 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, 207–210. <https://doi.org/10.1145/1718918.1718957>
- Favretto, A. (2010). API, Cloud computing, WebGIS and cartography. *Netcom*, 24-3/4, 245–260. <https://doi.org/10.4000/netcom.386>
- Feng, D., Yan, Z., Ostergaard, J., Xu, Z., Gan, D., Zhong, J., Zhang, N., Dai, T. (2010). Simulation embedded artificial intelligence search method for supplier trading portfolio decision. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 4(2), 221. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2009.0096>
- Fletcher-Lartey, S. M., Caprarelli, G. (2016). Application of GIS technology in public health: successes and challenges. *Parasitology*, 143(4), 401–415. <https://doi.org/10.1017/S0031182015001869>
- Foresman, T. W. (1999). Spatial analysis and mapping on the Internet. *Journal of Public Health Management and Practice*, 5(4), 57–64. <https://www.jstor.org/stable/44970565>
- Freifeld, C. C., Mandl, K. D., Reis, B. Y., Brownstein, J. S. (2008). HealthMap: Global Infectious Disease Monitoring through Automated Classification and Visualization of Internet Media Reports. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA*, 15(2), 150. <https://doi.org/10.1197/JAMIA.M2544>
- Ge, S. X., Son, E. W., Yao, R. (2018). iDEP: an integrated web application for differential expression

- and pathway analysis of RNA-Seq data. *BMC Bioinformatics* 2018 19:1, 19(1), 1–24. <https://doi.org/10.1186/S12859-018-2486-6>
- Geography and Geospatial Science Working Group. (2012). *Cartographic Guidelines for Public Health*. https://www.cdc.gov/dhds/maps/gisx/resources/cartographic_guidelines.pdf
- Gerken, J., Jetter, H.-C., Zöllner, M., Mader, M., Reiterer, H. (2011). The concept maps method as a tool to evaluate the usability of APIs. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 3373–3382. <https://doi.org/10.1145/1978942.1979445>
- Glynn, M. K., Backer, L. C. (2010). Collecting Public Health Surveillance Data: Creating a Surveillance System. In *Principles & Practice of Public Health Surveillance* (pp. 44–64). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195372922.003.0004>
- Goranson, C., Thihalolipavan, S., Di Tada, N. (2013). VGI and public health: Possibilities and pitfalls. *Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice*, 9789400745872, 329–340. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4587-2_18/COVER
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/J.1471-1842.2009.00848.X>
- Greenhalgh, T., & Peacock, R. (2005). Effectiveness and efficiency of search methods in systematic reviews of complex evidence: audit of primary sources. *BMJ*, 331(7524), 1064–1065. <https://www.bmj.com/content/331/7524/1064.short>
- Haddaway, N. R., Collins, A. M., Coughlin, D., Kirk, S. (2015). The Role of Google Scholar in Evidence Reviews and Its Applicability to Grey Literature Searching. *PLOS ONE*, 10(9), e0138237. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0138237>
- Hamilton, Janet J., & Hopkins, R. S. (2019). *Using Technologies for Data Collection and Management. The CDC field epidemiology manual*. <https://www.cdc.gov/eis/field-epi-manual/chapters/data-collection-management.html>
- Harris, P. A., Taylor, R., Thielke, R., Payne, J., Gonzalez, N., Conde, J. G. (2009). Research electronic data capture (REDCap)—A metadata-driven methodology and workflow process for providing translational research informatics support. *Journal of Biomedical Informatics*, 42(2), 377–381. <https://doi.org/10.1016/J.JBI.2008.08.010>
- Harrower, M. (2003). Tips for Designing Effective Animated Maps. *Cartographic Perspectives*, 44(44), 63–65. <https://doi.org/10.14714/CP44.516>
- Harrower, M., Fabrikant, S., Dodge, M. (2008). *The role of map animation in geographic visualization*. <https://doi.org/10.1002/9780470987643.ch4>
- Heer, J., van Ham, F., Carpendale, S., Weaver, C., Isenberg, P. (2008). Creation and Collaboration: Engaging New Audiences for Information Visualization. In A. Kerren, J. T. Stasko, J.-D. Fekete, & C. North (Eds.), *Information Visualization* (1st ed., pp. 92–133). Springer Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-70956-5_5
- Hohl, A., Delmelle, E. M., Desjardins, M. R., Lan, Y. (2020). Daily surveillance of COVID-19 using the prospective space-time scan statistic in the United States. *Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology*, 34, 100354. <https://doi.org/10.1016/J.SSTE.2020.100354>
- Houfah-Khoufah, W., Touya, G., Le Guilcher, A. (2021). Geographically masking addresses to study COVID-19 clusters. *Cartography and Geographic Information Science*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/15230406.2021.1977709>
- Hu, Y., Ai, H. H., Odman, M. T., Vaidyanathan, A., Russell, A. G. (2019). Development of a WebGIS-Based Analysis Tool for Human Health Protection from the Impacts of Prescribed Fire Smoke in Southeastern USA. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(11). <https://doi.org/10.3390/IJERPH16111981>

- Huang, H. (2012). Incorporating Load Balancing Spatial Analysis Into Xml-Based Webgis. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B4, 415–420. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B4-415-2012>
- Huang, H., & Li, Y. (2009). Load Balancing Spatial Analysis in XML/GML/SVG Based WebGIS. *2009 International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, 538–541. <https://doi.org/10.1109/ESIAT.2009.127>
- Huang, H., Li, Y., Gartner, G., Wang, Y. (2011). An SVG-based method to support spatial analysis in XML/GML/SVG-based WebGIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 25(10), 1561–1574. <https://doi.org/10.1080/13658816.2010.532133>
- Hui Lin, & Bo Huang. (2001). SQL/SDA: a query language for supporting spatial data analysis and its Web-based implementation. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 13(4), 671–682. <https://doi.org/10.1109/69.940739>
- Jankowska, M. M., Yang, J. A., Block, J., Baer, R. J., Jelliffe-Pawlowski, L. L., Flores, S., Pacheco-Warner, T., Costantino, A., Fuchs, J., Chambers, C. D., Newel, G. (2019). An Online Geographic Data Visualization Tool to Relate Preterm Births to Environmental Factors. *Preventing Chronic Disease*, 16(8). <https://doi.org/10.5888/PCD16.180498>
- Juergens, C. (2020). Trustworthy COVID-19 Mapping: Geo-spatial Data Literacy Aspects of Choropleth Maps. *KN - Journal of Cartography and Geographic Information*, 70(4), 155–161. <https://doi.org/10.1007/S42489-020-00057-W/FIGURES/4>
- Kaewpitoon, S. J., Rujirakul, R., Joosiri, A., Jantakate, S., Sangkudloa, A., Kaewthani, S., Chimplee, K., Khemplila, K., Kaewpitoon, N. (2016). GIS Database and Google Map of the Population at Risk of Cholangiocarcinoma in Mueang Yang District, Nakhon Ratchasima Province of Thailand. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention : APJCP*, 17(3), 1293–1297. <https://doi.org/10.7314/APJCP.2016.17.3.1293>
- Kamel Boulos, M. N. (2004). Towards evidence-based, GIS-driven national spatial health information infrastructure and surveillance services in the United Kingdom. *International Journal of Health Geographics*, 3, 1. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-3-1>
- Kamel Boulos, M. N., Peng, G., VoPham, T. (2019). An overview of GeoAI applications in health and healthcare. *International Journal of Health Geographics*, 18(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s12942-019-0171-2>
- Kamel Boulos, M. N., Resch, B., Crowley, D. N., Breslin, J. G., Sohn, G., Burtner, R., Pike, W. A., Jezierski, E., Chuang, K. Y. S. (2011). Crowdsourcing, citizen sensing and sensor web technologies for public and environmental health surveillance and crisis management: Trends, OGC standards and application examples. *International Journal of Health Geographics*, 10(1), 1–29. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-10-67/FIGURES/17>
- Kasprzak, P., Mitchell, L., Kravchuk, O., Timmins, A. (2020). Six Years of Shiny in Research - Collaborative Development of Web Tools in R. *R Journal*, 12, 1–23. <https://doi.org/10.32614/RJ-2021-004>
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering* (Version 2.3; EBSE Technical Report EBSE-2007-01). <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.117.471>
- Knox, T. B., Juma, E. O., Ochomo, E. O., Pates Jamet, H., Ndungo, L., Chege, P., Bayoh, N. M., N'Guessan, R., Christian, R. N., Hunt, R. H., Coetzee, M. (2014). An online tool for mapping insecticide resistance in major Anopheles vectors of human malaria parasites and review of resistance status for the Afrotropical region. *Parasites and Vectors*, 7(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-76/FIGURES/9>
- Koh, L. C., Slingsby, A., Dykes, J., Kam, T. S. (2011). Developing and Applying a User-Centered Model

- for the Design and Implementation of Information Visualization Tools. *2011 15th International Conference on Information Visualisation*, 90–95. <https://doi.org/10.1109/IV.2011.32>
- Kolak, M., Li, X., Lin, Q., Wang, R., Menghaney, M., Yang, S., Anguiano, V. (2021). The US COVID Atlas: A dynamic cyberinfrastructure surveillance system for interactive exploration of the pandemic. *Transactions in GIS: TG*, 25(4), 1741–1765. <https://doi.org/10.1111/TGIS.12786>
- Ku, W. Y., Liaw, Y. P., Huang, J. Y., Nfor, O. N., Hsu, S. Y., Ko, P. C., Lee, W. C., Chen, C. J. (2016). An Online Atlas for Exploring Spatio-Temporal Patterns of Cancer Mortality (1972–2011) and Incidence (1995–2008) in Taiwan. *Medicine*, 95(21). <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000003496>
- Ku, W. Y., Nfor, O. N., Liu, W. H., Tantoh, D. M., Hsu, S. Y., Wang, L., Chou, T. Y., Liaw, Y. P. (2019). Online community collaborative map A geospatial and data visualization tool for cancer data. *Medicine (United States)*, 98(20). <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000015521>
- Kurbanov, O. (2015). Applied GIS: Web GIS Serving Public Safety in Central Asia. *International Journal of Geoinformatics*, 11(4), 69–74. <https://doi.org/10.52939/IJG.V11I4.913>
- Kwan, M. P., Casas, I., Schmitz, B. C. (2004). Protection of geoprivacy and accuracy of spatial information: How effective are geographical masks? *Cartographica*, 39(2), 15–28. <https://doi.org/10.3138/X204-4223-57MK-8273>
- Lan, Y., & Delmelle, E. (2022). A Web-based Geographic Framework to Detect and Visualize Space-time Clusters of COVID-19. *AutoCarto 2022*. https://cartogis.org/docs/autocarto/2022/docs/abstracts/Session9_Lan_6472.pdf
- Lee, L., Thacker, S., Louis, M. (Eds.). (2010). *Principles and Practice of Public Health Surveillance* (3rd ed.). Oxford University Press.
- Li, S., & Gong, J. (2008). Mashup: A new way of providing web mapping/GIS services. *Proc. XXI ISPRS Congress, Commission IV, 2008*, p. B4. https://www.isprs.org/proceedings/xxxvii/congress/4_pdf/114.pdf
- Li, X., Anselin, L., Koschinsky, J. (2015). GeoDa Web - Enhancing Web-based mapping with spatial analytics. *GIS: Proceedings of the ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems, 03-06-Nove*. <https://doi.org/10.1145/2820783.2820792>
- Luan, H., & Law, J. (2014). Web GIS-Based Public Health Surveillance Systems: A Systematic Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information 2014, Vol. 3, Pages 481-506*, 3(2), 481–506. <https://doi.org/10.3390/IJGI3020481>
- Lutz, C. S., Huynh, M. P., Schroeder, M., Anyatonwu, S., Dahlgren, F. S., Danyluk, G., Fernandez, D., Greene, S. K., Kipshidze, N., Liu, L., Mgbere, O., McHugh, L. A., Myers, J. F., Siniscalchi, A., Sullivan, A. D., West, N., Johansson, M. A., Biggerstaff, M. (2019). Applying infectious disease forecasting to public health: A path forward using influenza forecasting examples. *BMC Public Health*, 19(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/S12889-019-7966-8/TABLES/4>
- Lyseen, A. K., Nøhr, C., Sørensen, E. M., Gudes, O., Geraghty, E. M., Shaw, N. T., Bivona-Tellez, C. (2014). A Review and Framework for Categorizing Current Research and Development in Health Related Geographical Information Systems (GIS) Studies. *Yearbook of Medical Informatics*, 9(1), 110. <https://doi.org/10.15265/IY-2014-0008>
- Maciejewski, R., Rudolph, S., Hafen, R., Abusalah, A., Yakout, M., Ouzzani, M., Ebert, D. S. (2008). Understanding syndromic hotspots-a visual analytics approach. *2008 IEEE Symposium on Visual Analytics Science and Technology*, 35–42. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4677354/>
- Maclachlan, J. C., Jerrett, M., Abernathy, T., Sears, M., Bunch, M. J. (2007). Mapping health on the Internet: A new tool for environmental justice and public health research. *Health and Place*, 13(1), 72–86. <https://doi.org/10.1016/J.HEALTHPLACE.2005.09.012>
- Maguire, D. J. (1991). An overview and definition of GIS. In *Geographical information systems: Principles and applications* (1st ed., Vol. 1, pp. 9–20). [http://lidecc.cs.uns.edu.ar/~nbb/ccm/downloads/Literatura/OVERVIEW AND DEFINITION OF](http://lidecc.cs.uns.edu.ar/~nbb/ccm/downloads/Literatura/OVERVIEW_AND_DEFINITION_OF)

GIS.pdf

- Manjunath, P. K., Janani, R. S., Pillai, A. S. (2017). OpenCPU platform for IoT applications — A study. *2017 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/TAPENERGY.2017.8397305>
- Martin-Moreno, J. M., Alegre-Martinez, A., Martin-Gorgojo, V., Alfonso-Sanchez, J. L., Torres, F., Pallares-Carratala, V. (2022). Predictive Models for Forecasting Public Health Scenarios: Practical Experiences Applied during the First Wave of the COVID-19 Pandemic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(9), 5546. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095546>
- Mast, T. C., Heyman, D., Dasbach, E., Roberts, C., Goveia, M. G., Finelli, L. (2021). Planning for monitoring the introduction and effectiveness of new vaccines using real-word data and geospatial visualization: An example using rotavirus vaccines with potential application to SARS-CoV-2. *Vaccine: X*, *7*, 100084. <https://doi.org/10.1016/J.JVACX.2021.100084>
- McGuire, M., Gangopadhyay, A., Komlodi, A., Swan, C. (2008). A user-centered design for a spatial data warehouse for data exploration in environmental research. *Ecological Informatics*, *3*(4–5), 273–285. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2008.08.002>
- Mohidem, N. A., Osman, M., Muharam, F. M., Elias, S. M., Shaharudin, R., Hashim, Z. (2021). Development of a web-geographical information system application for plotting tuberculosis cases. *Geospatial Health*, *16*(2). <https://doi.org/10.4081/gh.2021.980>
- Molla, Y. B., Nilsen, K., Singh, K., Ruktanonchai, C. W., Schmitz, M. M., Duong, J., Serbanescu, F., Moran, A. C., Matthews, Z., Tatem, A. J. (2019). Best practices in availability, management and use of geospatial data to guide reproductive, maternal, child and adolescent health programmes. *BMJ Global Health*, *4*(Suppl 5), e001406. <https://doi.org/10.1136/BMJGH-2019-001406>
- Najafabadi, A. T., Pourhassan, M. (2009). Web GIS and public health. *Online J Health Allied Scs*, *8*(4), 4. <https://web-archive.southampton.ac.uk/cogprints.org/6972/1/2009-4-4.pdf>
- Nelson, T. A., Denouden, T., Jesticco, B., Laberee, K., Winters, M. (2015). BikeMaps.org: A Global Tool for Collision and Near Miss Mapping. *Frontiers in Public Health*, *3*(MAR). <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2015.00053>
- Neumann, A. (2017). Web Mapping and Web Cartography. In S. . X. H. . Z. X. Shekhar (Ed.), *Encyclopedia of GIS* (2nd ed., pp. 2488–2498). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17885-1_1485
- Ooms, J. (2014). *The OpenCPU System: Towards a Universal Interface for Scientific Computing through Separation of Concerns*. <http://arxiv.org/abs/1406.4806>
- Organización Panamericana de la Salud. (2018). Indicadores de salud. Aspectos conceptuales y operativos. In *Indicadores de salud. Aspectos conceptuales y operativos*. Organización Panamericana de la Salud. <https://doi.org/10.37774/9789275320051>
- Parciak, M., Suhr, M., Schmidt, C., Bönisch, C., Löhnhardt, B., Kesztyüs, D., Kesztyüs, T. (2023). FAIRness through automation: development of an automated medical data integration infrastructure for FAIR health data in a maximum care university hospital. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, *23*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/S12911-023-02195-3/FIGURES/6>
- Peterson, M. P. (2015). Evaluating Mapping APIs. In J. Brus, A. Vondrakova, & V. Vozenilek (Eds.), *Modern Trends in Cartography* (1st ed., pp. 183–197). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07926-4_15
- Popescu, A. (2010). Geolocation api specification. *World Wide Web Consortium, Candidate Recommendation CR-Geolocation-API-20100907*. <https://www.immagic.com/eLibrary/ARCHIVES/TECH/W3C/W081222P.pdf>
- Preim, B., & Lawonn, K. (2020). A survey of visual analytics for public health. *Computer Graphics*

Forum, 39(1), 543–580. <https://doi.org/10.1111/cgf.13891>

Reinhardt, M., Elias, J., Albert, J., Frosch, M., Harmsen, D., Vogel, U. (2008). EpiScanGIS: An online geographic surveillance system for meningococcal disease. *International Journal of Health Geographics*, 7(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-7-33/FIGURES/3>

Resendes, A., Barcellos, C., Skaba, D., Oliveira, E. (2006). *Abordagens espaciais na saúde pública* (1st ed., Vol. 1). Ministério da Saúde, Fundação Oswaldo Cruz. <https://ares.unasus.gov.br/acervo/handle/ARES/1197>

Roberts, M., Chapin, J., Farnham, B., Tokyo, S., Boston, B., Sebastopol, F., Beijing, T. (2017). *What is Serverless?* <https://symphonia.io/what-is-serverless.pdf>

Rodden, K. (2014). Applying a Sunburst Visualization to Summarize User Navigation Sequences. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 34(5), 36–40. <https://doi.org/10.1109/MCG.2014.63>

Roth, R. E., Ross, K. S., & MacEachren, A. M. (2015). User-Centered Design for Interactive Maps: A Case Study in Crime Analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2015, Vol. 4, Pages 262–301, 4(1), 262–301. <https://doi.org/10.3390/IJGI4010262>

Rowland, A., Folmer, E., Beek, W. (2020). Towards Self-Service GIS—Combining the Best of the Semantic Web and Web GIS. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12), 753. <https://doi.org/10.3390/ijgi9120753>

RStudio Inc. (2023, August 12). *shiny: Web Application Framework for R. R package version 1.7.5*. [consultado 15-10-2023]. Disponible en <http://cran.r-project.org/package=shiny>

Sareen, S., Sood, S. K., Gupta, S. K. (2018). IoT-based cloud framework to control Ebola virus outbreak. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 9(3), 459–476. <https://doi.org/10.1007/s12652-016-0427-7>

Savini, L., Tora, S., Di Lorenzo, A., Cioci, D., Monaco, F., Polci, A., Orsini, M., Calistri, P., Conte, A. (2018). A Web Geographic Information System to share data and explorative analysis tools: The application to West Nile disease in the Mediterranean basin. *PloS One*, 13(6). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0196429>

Schmidt, F., Dröge-Rothaar, A., Rienow, A. (2021). Development of a Web GIS for small-scale detection and analysis of COVID-19 (SARS-CoV-2) cases based on volunteered geographic information for the city of Cologne, Germany, in July/August 2020. *International Journal of Health Geographics*, 20(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s12942-021-00290-0>

Sievert, C. (2020). *Interactive web-based data visualization with R, plotly, and shiny*. CRC Press.

Sullivan, P. S., McKenna, M. T., Waller, L. A., Williamson, G. D., Lee, L. M. (2010). Analyzing and Interpreting Public Health Surveillance Data. In *Principles & Practice of Public Health Surveillance* (pp. 88–145). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195372922.003.0006>

Talbot, T. O., Kulldorff, M., Forand, S. P., Haley, V. B. (2000). Evaluation of spatial filters to create smoothed maps of health data. *Statistics in Medicine*, 19(17–18), 2399–2408. [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/1097-0258\(20000915/30\)19:17/18%3C2399::AID-SIM577%3E3.0.CO;2-R](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/1097-0258(20000915/30)19:17/18%3C2399::AID-SIM577%3E3.0.CO;2-R)

Thacker, S. B., & Berkelman, R. L. (1988). Public Health Surveillance in the United States. *Epidemiologic Reviews*, 10(1), 164–190. <https://doi.org/10.1093/OXFORDJOURNALS.EPIREV.A036021>

Thacker, S. B., Qualters, J. R., Lee, L. M., & Centers for Disease Control and Prevention. (2012). Public health surveillance in the United States: evolution and challenges. *MMWR Suppl*, 61(3), 3–9. <https://www.cdc.gov/MMWR/preview/mmwrhtml/su6103a2.htm>

Tully, D., Rhalibi, A. El, Carter, C., Sudirman, S. (2015). Hybrid 3D Rendering of Large Map Data for Crisis Management. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2015, Vol. 4, Pages 1033–1054, 4(3), 1033–1054. <https://doi.org/10.3390/IJGI4031033>

- Urbanek, S. (2003). Rserve A fast way to provide R functionality to applications. *Proceedings of DSC*. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=86bfb1ba7d7e103f2b3f58a28e4b61c1af7a8216>
- Van Der Donckt, J., Van Der Donckt, J., Deprost, E., Van Hoecke, S. (2022). Plotly-Resampler: Effective Visual Analytics for Large Time Series. *2022 IEEE Visualization and Visual Analytics (VIS)*, 21–25. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9973221>
- Veenendaal, B., Brovelli, M. A., Li, S. (2017). Review of Web Mapping: Eras, Trends and Directions. *ISPRS International Journal of Geo-Information 2017, Vol. 6, Page 317, 6(10)*, 317. <https://doi.org/10.3390/IJGI6100317>
- VoPham, T., Hart, J. E., Laden, F., Chiang, Y.-Y. (2018). Emerging trends in geospatial artificial intelligence (geoAI): potential applications for environmental epidemiology. *Environmental Health, 17(1)*, 40. <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0386-x>
- Wang, Lidong Wang, Guanghui Alexander, C. A. (2015). Big Data and Visualization: Methods, Challenges and Technology Progress. *Digital Technologies, 1(1)*, 33–38. <https://doi.org/10.12691/dt-1-1-7>
- Wong, J. (2007). Marmite: Towards End-User Programming for the Web. *IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC 2007)*, 270–271. <https://doi.org/10.1109/VLHCC.2007.40>
- World Wide Web Consortium (W3C). (2022, September 1). *Geolocation API specification*. [consultado 11-04-2023]. Disponible en <https://www.w3.org/TR/2022/REC-geolocation-20220901/>
- Xia, D., Xie, X., Xu, Y. (2009). Web GIS server solutions using open-source software. *OSSC-2009 - Proceedings of 2009 IEEE International Workshop on Open-Source Software for Scientific Computation*, 135–138. <https://doi.org/10.1109/OSSC.2009.5416738>
- Yan, Y., Feng, C. C., Huang, W., Fan, H., Wang, Y. C., Zipf, A. (2020). Volunteered geographic information research in the first decade: a narrative review of selected journal articles in GIScience. *https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1730848*, 34(9), 1765–1791. <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1730848>
- Yang, G. J., Vounatsou, P., Zhou, X. N., Utzinger, J., Tanner, M. (2005). A review of geographic information system and remote sensing with applications to the epidemiology and control of schistosomiasis in China. *Acta Tropica, 96(2–3)*, 117–129. <https://doi.org/10.1016/J.ACTATROPICA.2005.07.006>
- Yasobant, S., Vora, K. S., Hughes, C., Upadhyay, A., Mavalankar, D. V. (2015). Geovisualization: A Newer GIS Technology for Implementation Research in Health. *Journal of Geographic Information System, 07(01)*, 20–28. <https://doi.org/10.4236/JGIS.2015.71002>
- Yeng, P. K., Woldaregay, A. Z., Solvoll, T., Hartvigsen, G. (2020). Cluster Detection Mechanisms for Syndromic Surveillance Systems: Systematic Review and Framework Development. *JMIR Public Health and Surveillance, 6(2)*, e11512. <https://doi.org/10.2196/11512>
- Zandbergen, P. A. (2014). Ensuring Confidentiality of Geocoded Health Data: Assessing Geographic Masking Strategies for Individual-Level Data. *Advances in Medicine, 2014*, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2014/567049>