

Modelos geoespaciales para control de brotes de SARS-CoV-2 en Cartagena y Barranquilla, Colombia, 2020

Silvana Zapata Bedoya¹, Diana Marcela Walteros Acero¹ y Marcela Mercado¹

Forma de citar

Zapata Bedoya S, Walteros Acero DM, Mercado M. Modelos geoespaciales para control de brotes de SARS-CoV-2 en Cartagena y Barranquilla, Colombia, 2020. Rev Panam Salud Publica. 2022;46:e26. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.26>

RESUMEN

Objetivo. Determinar la estructura temporal y espacial del virus del síndrome respiratorio agudo grave (SARS-CoV-2, por su sigla en inglés), causante de la enfermedad por coronavirus (COVID-19, por su sigla en inglés) en las ciudades de Cartagena y Barranquilla para tomar acciones necesarias que apoyen el rastreo de contactos.

Métodos. Estudio ecológico transversal que incluye análisis espacial basado en densidades Kernel de variables como casos, alertas desde una aplicación móvil, vulnerabilidad poblacional, índice de pobreza multidimensional, aplicación de interpolación espacial (IDW, por su sigla en inglés) de los casos activos y, por último, la aplicación de la técnica de superposición espacial como resultado final. Se utilizó la base de datos del Instituto Nacional de Salud de las ciudades de Cartagena y Barranquilla y el Departamento de Estadística Nacional.

Resultados. El análisis determinó el comportamiento epidemiológico ascendente de los casos en las dos ciudades e identificó la dirección espacial de propagación de la enfermedad en los barrios, a través de la interpolación espacial. Se detectaron las zonas en las cuales intervenir en 15 barrios de Cartagena y 13 de Barranquilla, en 50 metros alrededor de los casos activos con menos de 21 días de evolución y según las capas de riesgo geográfico, como mecanismo para frenar la propagación de la COVID-19.

Conclusiones. El análisis espacial permitió determinar la estructura temporal y espacial como metodología complementaria útil para el rastreo de contactos, y aportó la evidencia científica necesaria para la aplicación de medidas de intervención directa donde fuera necesario, dirigidas a reducir el contagio del SARS-CoV-2.

Palabras clave

Sistemas de información geográfica, infecciones por coronavirus, vigilancia en salud pública, mapa de riesgo, Colombia.

El coronavirus de tipo 2 del síndrome respiratorio agudo grave (SARS-CoV-2, por su sigla en inglés) causa la enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19, por su sigla en inglés). Esta se describió por primera vez en la ciudad de Wuhan, China, como un informe de un grupo de individuos con neumonía en los que se aisló un coronavirus beta, en el mismo subgénero del virus del SARS, pero bajo una taxonomía diferente (1). La presencia

del virus nuevo, designado como SARS-Cov-2, confirmó la aparición de una enfermedad respiratoria nueva (1).

Desde el primer informe del caso el 31 de diciembre de 2019 (2), su rápida propagación ha causado un brote que condujo a la peor pandemia en 100 años (3). Para junio del 2020, se habían detectado más de 11,3 millones de casos e informado hasta 532 340 muertes en todo el mundo. En América se detectaron 5,8

¹ Instituto Nacional de Salud Bogotá, Colombia. ✉ Silvana Zapata Bedoya, solsilvana@gmail.com

millones de casos y 265 024 muertes, correspondientes a 49,7% de las muertes totales en el mundo (4).

En Colombia, los primeros casos de COVID-19 se diagnosticaron durante la primera semana de marzo del 2020 (el 6 de marzo se diagnosticó el primer caso importado en Bogotá), y al 4 de julio del 2020 se confirmaron más de 117 110 casos en todo el país. En las ciudades de Cartagena y Barranquilla se han presentado 9 377 y 14 487 casos, respectivamente, que corresponde a 20% de los casos del todo el país.

El diagnóstico de casos acompañado del seguimiento y el aislamiento de contactos es una estrategia de contención de infecciones recomendada por la Organización Mundial de la Salud, y especialmente para la COVID-19.

El seguimiento habitual de casos y contactos por personal de salud pública requiere muchos recursos, especialmente tecnológicos; sin embargo, existen estrategias como la epidemiología espacial que, a través de la información disponible basada en la ubicación de los casos, pueden apoyar las medidas tomadas. Esto permite ser más eficiente no solo en el uso de recursos, sino en la administración del tiempo, variable que juega suma importancia en esta enfermedad, ya que una de las claves es el aislamiento oportuno de los casos.

Es claro que en la medida que el SARS-CoV-2 se propaga, se van conociendo más características de la dinámica de su transmisión. En este sentido, la aplicación de geoestadística con sistemas de información geográfica (SIG), y específicamente para este artículo, tiene como objetivo determinar la estructura temporal y espacial del SARS-CoV-2 como técnica para analizar la situación actual de brotes y como apoyo a la estrategia de búsqueda de contactos, aportando a los procesos de gestión de riesgo, sobre todo en regiones vulnerables o las más afectadas por la enfermedad (5,6). Además, permite una mejor distribución de recursos y optimización en tiempos de respuesta para el aislamiento oportuno de casos, técnica que es aplicable a otras enfermedades de interés en salud pública.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el análisis espacial, se realizó un estudio ecológico transversal donde fue necesario cumplir con una serie de etapas previas que se describen a continuación.

Cartografía e información censal

Se adquirió la cartográfica base, así como los datos de población y vivienda del último censo nacional (7). Dicha información se utilizó como base para los análisis posteriores. Se utilizaron los programas ArcGIS 10.3® (8), The Geographic Information System for Everyone Version 10.3®, ESRI® y EpiInfo 7® para los datos descriptivos.

Población estudiada

Los datos fueron proporcionados por la Subdirección de Prevención, Vigilancia y Control en Salud Pública en Instituto Nacional de Salud de Colombia. Se utilizaron todos los casos confirmados al sistema de vigilancia epidemiológica SIVIGILA para COVID-19 de las ciudades de Cartagena y Barranquilla, sumados a todas las alertas correspondientes de la aplicación CoronApp® implementada en el país. Se definió como alerta como aquella situación en la que un usuario de la aplicación

ha informado varios síntomas establecidos como marcadores de COVID-19. El análisis espacial se hizo con 1 758 domicilios de residencia y 561 alertas de CoronApp® con datos de latitud y longitud para el municipio de Cartagena y 2 290 domicilios de residencia y 8 325 alertas de aplicación CoronApp® con datos de latitud y longitud para el distrito turístico de Barranquilla, además de las capas geográficas de vulnerabilidad y el índice de pobreza multidimensional (IPM) por manzana suministrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (9) y la capa de densidad poblacional obtenida de la página web Humanitarian Data Exchange (10).

Geoespacialización

En esta etapa se elaboraron los siguientes mapas temáticos: 1) mapa de puntos con la localización de los casos clasificados como activos, asintomáticos, fecha de inicio de síntomas (FIS) menor de 14 días, FIS menor de 21 días y FIS mayor de 22 días; 2) mapa de puntos con la ubicación de las alertas de CoronApp®; 3) mapa de polígonos con las manzanas de vulnerabilidad; 4) mapa de puntos de la densidad poblacional de cada una de las ciudades; y 5) mapa de polígonos con las manzanas de IPM (figura 1).

Espacialización de la información

La información descrita caracteriza procesos de naturaleza continua o discreta. Por ejemplo, los datos continuos en el espacio son mediciones tomadas en puntos fijos, pero de naturaleza continua. Los procesos discretos en el espacio se refieren a la localización de eventos, como los domicilios de los casos. La espacialización de estos datos mediante modelos facilita la identificación de patrones para conocer si la intensidad de los eventos varía según la zona en estudio. De esta manera, a través del modelo espacial de riesgo, es posible representar y analizar la heterogeneidad de valores en sus dimensiones espaciales y temporales (11,12).

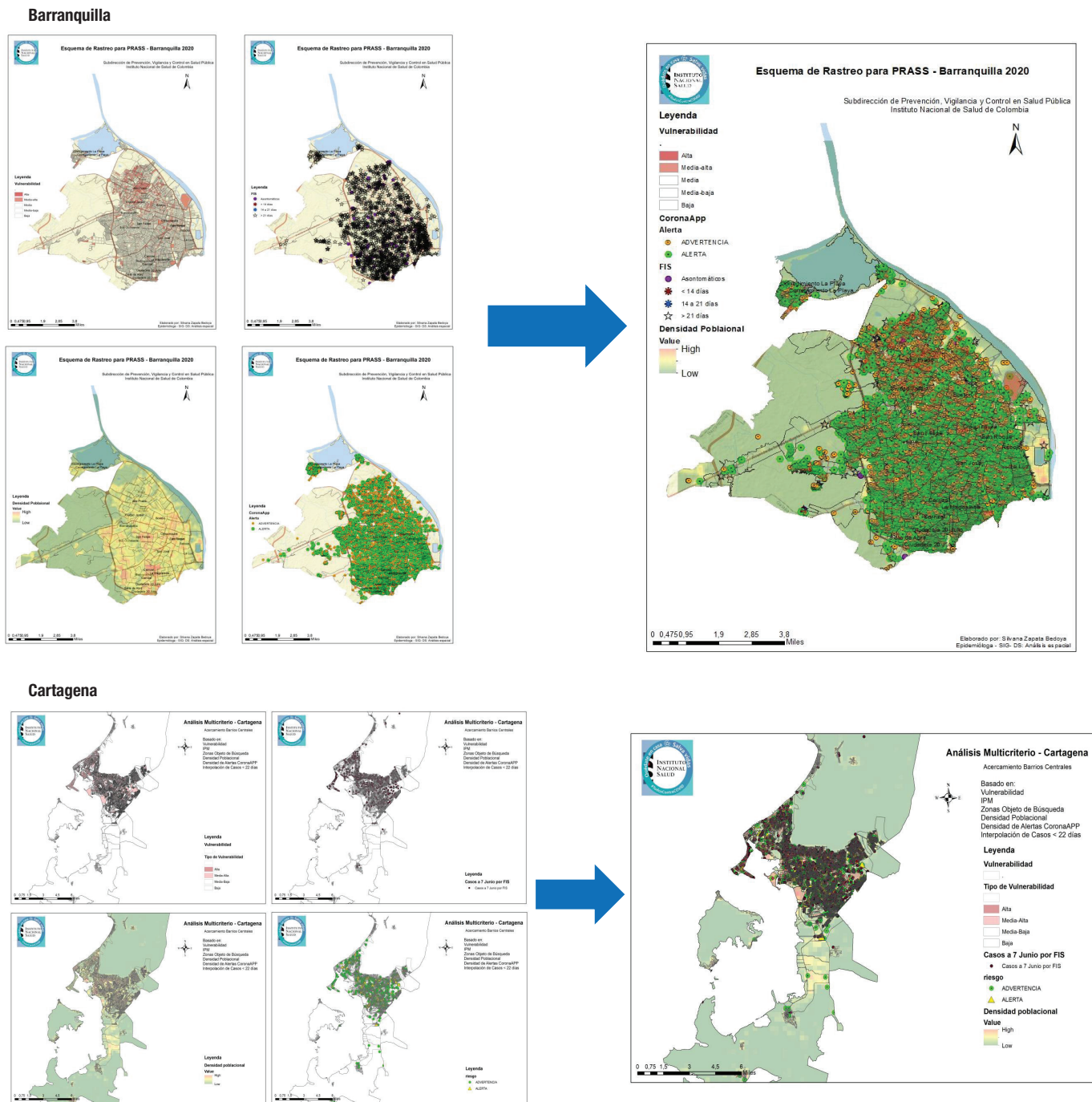
Zonas de influencia

Con el fin de establecer las zonas de influencia, se consignaron anillos concéntricos a 50 metros alrededor de los casos con FIS menor a 21 días, y en las que se pueden identificar los contactos para toma de muestra y aislamiento oportuno. El producto obtenido fue un mapa de *buffer* múltiple de base tres. Se asumió una distancia máxima de 150 metros para estratificar el barrio en tres zonas objeto de vigilancia epidemiológica (ZOV). Esta información se utilizó en forma complementaria para identificar el área bajo influencia de los casos y zonas objeto de vigilancia para aplicación de rastreo, pruebas, aislamiento selectivo y sostenible (PRASS).

Superposición temática

La superposición de información a través de mapas tiene la ventaja de analizar diferentes contenidos temáticos con el objeto de establecer patrones espaciales, ya sea en forma visual o analítica. Para cada una de las unidades de puntos se calculó la densidad kernel. Este parámetro calcula la densidad de las entidades de punto de alrededor de cada celda ráster de salida, y lo que genera una superficie curva uniforme sobre cada

FIGURA 1. Cartografía básica producida para análisis multicriterio, vulnerabilidad, alertas, casos y densidad poblacional, Barranquilla y Cartagena, 2020



Fuente: elaboración propia a partir de elementos cartográficos de vulnerabilidad, alertas, casos y densidad poblacional.

punto, usando cálculos de vecindad local definida por bloques de celdas o píxeles. La función kernel se basa en la función kernel cuártica que se describió en Silverman (13) mediante la siguiente fórmula:

$$\lambda_i(s) = \frac{1}{\delta_i(s)} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} K\left(\frac{s-s_i}{\tau}\right)$$

Donde K representa la función de densidad bariada, $\tau > 0$ es el ancho del radio y s es el centroide de una circunferencia de radio τ (14).

A continuación de la capa de puntos de casos de menos de 21 días se procedió con el cálculo del semivariograma isotrópico experimental y su posterior ajuste a un modelo teórico, lo cual permitió cuantificar el grado y la escala de la variación

espacial (15–18). El semivariograma se calculó según la siguiente expresión:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} N(h) \sum [Z_{(x)} - Z_{(x+h)}]^2$$

Donde $\gamma(h)$ es la semivarianza del total de casos activos de menos de 21 días separadas por los intervalos de las distancias h ; $N(h)$ corresponde al número total de pares de casos separados por un intervalo de distancia h ; $Z(x)$ es el número de casos en una localización x , y $Z(x+h)$ es el número de casos a la distancia del intervalo h desde x . Luego de verificar el semivariograma, se procedió con la ponderación de distancias inversas (IDW, por su sigla en inglés) que es un método local, exacto y determinístico, en el cual el grado de influencia o peso de los puntos cercanos se expresa por el inverso de la distancia elevado a un exponente. Un exponente de 1,0 significa que la tasa de cambio es constante entre los puntos (interpolación lineal), mientras que un exponente de 2,0 o más sugiere que la tasa de cambio de los valores es mayor cerca de puntos conocidos y su influencia se mantiene a mayor distancia (18–20). Matemáticamente, el interpolador general IDW se define con la siguiente fórmula:

$$IDW_p = \sum Z_{(x)} d^{-p} / \sum d^{-p}$$

Donde IDW_p es el interpolador, d es la distancia de separación de un punto en el plano a un caso $Z(x)$, y p el exponente de ponderación.

Para estimar la precisión del interpolador IDW, se realizó una validación cruzada que omitió uno de los puntos a la vez y lo calculó con el resto de los puntos de control, comparando así los valores medidos con los valores estimados. Con la diferencia de estos últimos valores se calculó la raíz del error cuadrático medio (RMS, por su sigla en inglés), el cual establece la precisión de la interpolación de acuerdo con su cercanía a cero (18–20).

Por último, se realizó un análisis de superposición espacial para combinar las características de varias capas en una. En la superposición de rásteres, cada celda de cada capa hace referencia a la misma ubicación geográfica. Esto la hace apta para combinar las características de varias capas en una sola capa. En general, se asignan valores numéricos a cada característica, lo que le permite combinar matemáticamente las capas y asignar un nuevo valor a cada celda en la capa de salida (21). Este enfoque se suele utilizar para clasificar los valores de atributos según la adecuación o el riesgo, para luego sumarlos a fin de producir una clasificación general para cada celda. Esto se realiza con el fin de buscar ubicaciones o zonas específicas que tienen un determinado conjunto de valores de atributos, es decir, que concuerdan con los criterios de zonas objeto de vigilancias epidemiológicas combinadas con los *buffers*.

RESULTADOS

El análisis espacial se realizó con 1 758 domicilios de correspondientes a casos fallecidos, graves, leves, moderados y asintomáticos y 561 alertas de CoronApp® con datos de latitud y longitud para el municipio de Cartagena y 2 290 domicilios

de residencia correspondientes a casos fallecidos, graves, leves, moderados y asintomáticos, y 8 325 alertas de CoronApp®

Situación epidemiológica

Se analizaron los 1 758 casos de SARS-CoV-2 y 561 alertas epidemiológicas registrados en la aplicación CoronApp® para el municipio de Cartagena y 2 290 casos con 8 325 alertas de CoronApp® que cumplen los criterios de ubicación según las coordenadas geográficas. El comportamiento epidemiológico de Cartagena mostró, hasta el 7 de junio del 2020, un total de 1 758 casos para una tasa de incidencia de 170,9 por cada 100 000 habitantes, de los cuales 57,8% fueron de sexo masculino; 92,7% eran personas mayores de 18 años, y 84,6% tenían síntomas leves. Por otra parte, 17,1% ($n = 301$) corresponden a casos relacionados y 84,6% reciben atención domiciliaria. En el caso de la ciudad de Barranquilla, se registró un total de 2 290 casos con una tasa de incidencia de 179,71 por cada 100 000 habitantes, de los cuales 54,7% fueron de sexo masculino; 89,1% eran personas mayores de 18 años, y 91,5% tenían síntomas leves. Además, 12,1% ($n = 276$) corresponden a casos relacionados y 91,5% reciben atención domiciliaria. Ambas curvas epidemiológicas de casos con fecha de inicio de síntomas muestran una tendencia ascendente.

Análisis espacial

Se asignaron coordenadas a los casos, que corresponden al domicilio de cada caso para ambas ciudades y, además, para las alertas de la aplicación CoronApp®, y en aquellos casos en los que se identificó una dirección inexistente se eliminó el registro. Esta información se representa en la figura 1, donde se observa que alrededor de los casos activos menores de 14 días, existen múltiples alertas registradas por la aplicación CoronApp® y que existen altas concentraciones identificadas en barrios específicos de cada una de las dos ciudades, lo que sugiere un patrón espacial para el análisis. Por este motivo, se analiza la densidad de los casos y de alertas teniendo en cuenta la fecha de inicio de síntomas. En este análisis se identificaron variaciones temporales en la densidad de casos durante el período analizado en diferentes barrios de las ciudades estudiadas. Este análisis también se realiza para la densidad poblacional de fuente de información abierta de Humanitarian Data Exchange (figura 2).

En cuanto a la concentración en una zona determinada, se aplica el análisis de zona de influencia/tiempos múltiples a 50 metros alrededor de entidades de puntos de entrada, que en este caso corresponden a los casos con FIS menor de 21 días (figura 3).

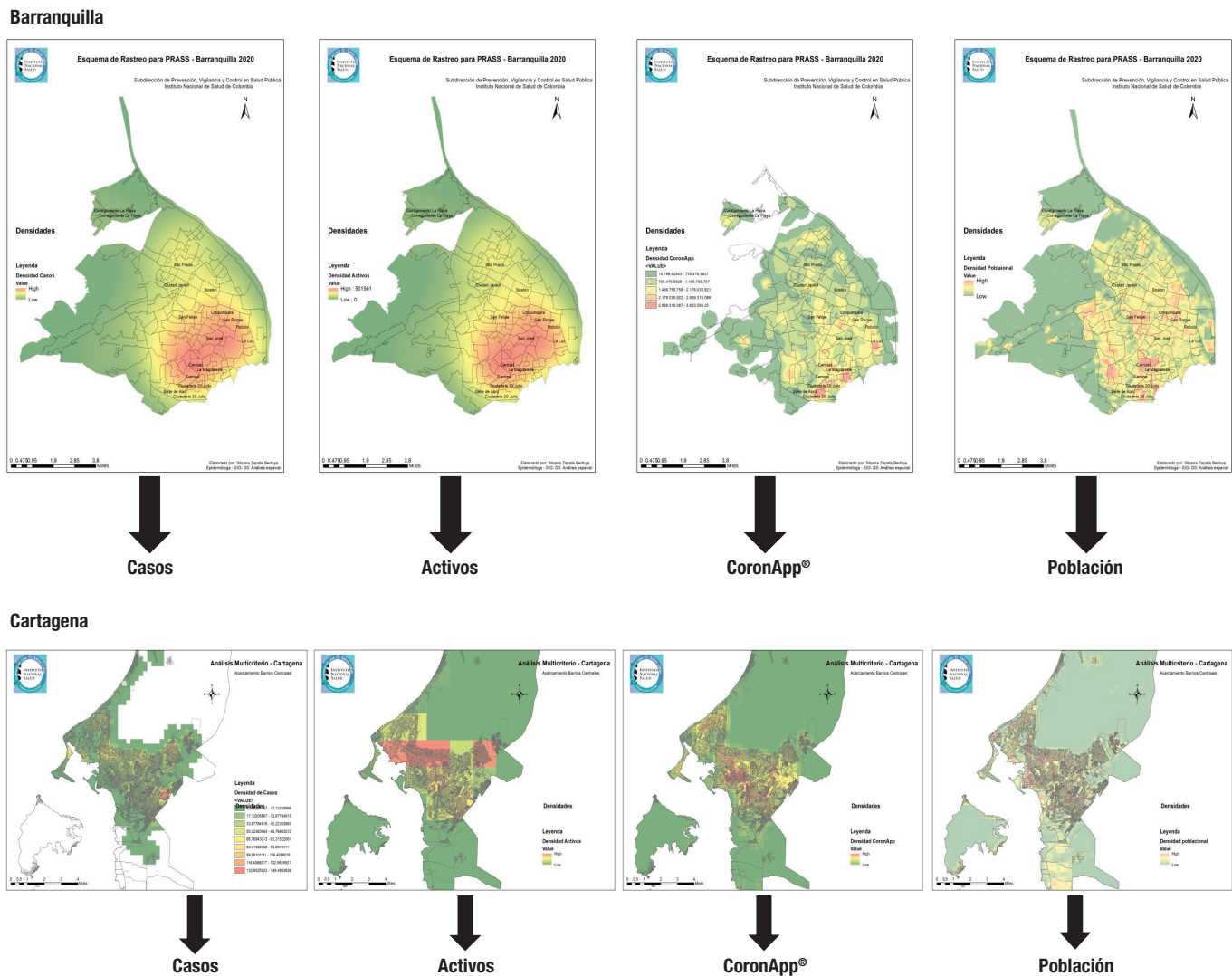
Evolución temporal

Se realizó el mapa de interpolación usando el IDW, en cuya validación cruzada se obtuvo un RMS, y se identificaron focos o concentraciones de casos en las zonas urbanas de ambos municipios y distritos de estudio. El mayor de los focos tiene una disposición horizontal e involucra al menos 20 manzanas en el centro de la región estudiada (figura 4).

En el cálculo de interpolación, se incluyeron los cinco vecinos más cercanos en un sector de 50 m a la redonda, y se obtuvo un RMS de 16,6 por validación cruzada.

Al analizar las figuras 2, 3 y 4, se observan patrones de comportamiento en los siguientes barrios de Cartagena: 13 de

FIGURA 2. Densidades de Kernel para capa de casos, casos activos, alertas, densidad población en Barranquilla y Cartagena, 2020



Fuente: elaboración propia a partir de elementos cartográficos de vulnerabilidad, alertas, casos y densidad poblacional.

junio, El Pozón, Bayunca, Casería Henequén, La Esperanza, La María, Olaya, Pasacaballos, República del Líbano y San Fernando. En el caso de Barranquilla, estos patrones se observan en los barrios Ciudadela, 20 de Julio, Rebollo, Carrizal, San Roque, San Felipe, Corregimiento la Playita, Alto Prado, 7 de abril, San José, La Magdalena, Boston, Ciudad Jardín y Chiquinquirá.

Análisis de superposición

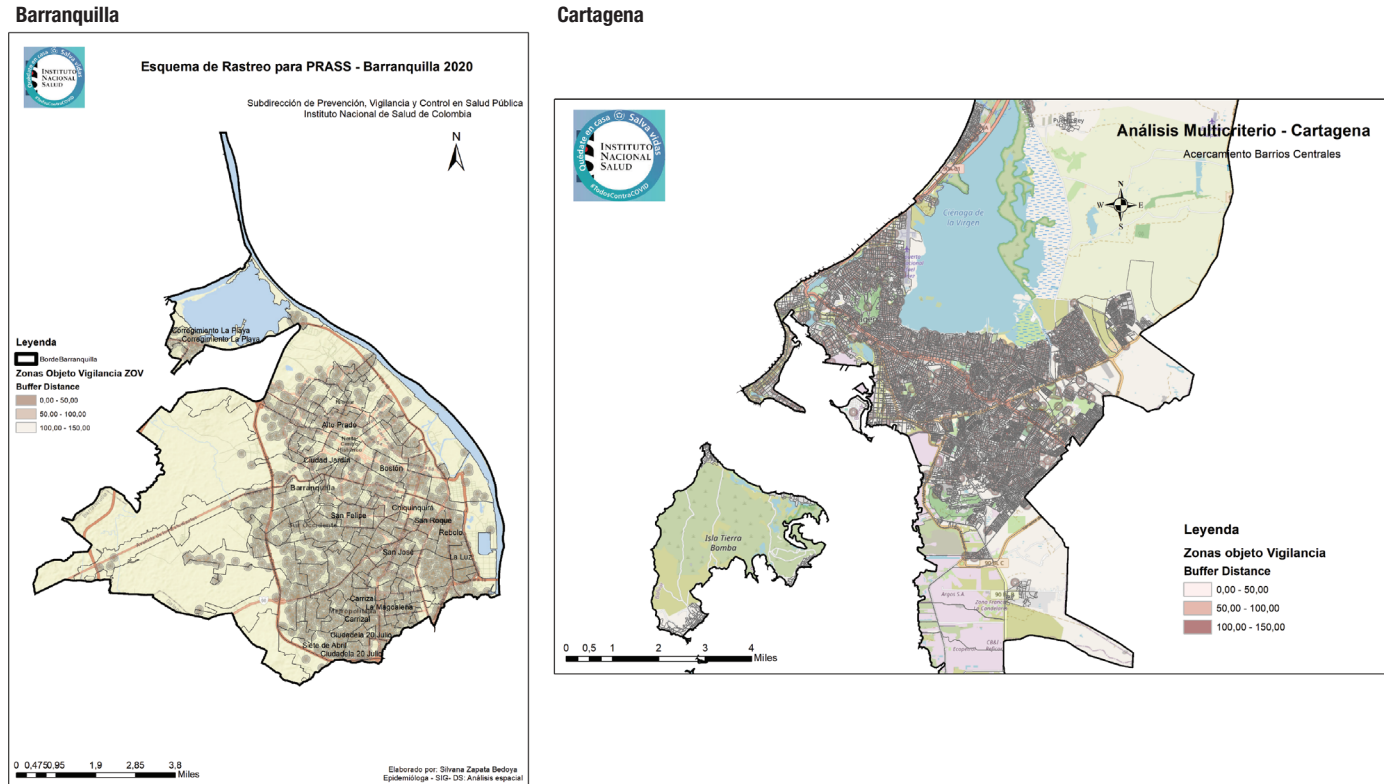
Ante la mayor concentración de casos en diferentes barrios de ambas ciudades, se procedió a realizar un análisis de superposición de cada una de las capas tipo ráster, el método de superposición de mapas consiste en la combinación de dos o más capas o mapas en donde cada celda (píxel) de cada capa o mapa referencia la misma localización geográfica; con esto, se genera una nueva capa o mapa que contiene la combinación de la información de las capas o mapas de entrada. De esta forma,

se recalificaron las capas tipo ráster como densidades de casos, alertas y población. Además, se realizó la interpolación espacial para establecer una superposición basada en las escalas de la interpolación espacial de casos con el fin de identificar los barrios críticos de intervención para la aplicación de pruebas, rastreo y proceder al aislamiento selectivo y sostenible. Como resultado final, esta superposición se interpone a la capa de concentración de casos (*buffer* de 50 metros) de los casos de menos de 21 días, más las capas de los casos y alertas en categorización de los puntos. El resultado de esta superposición se muestra en la figura 5.

Alcance final de la intervención

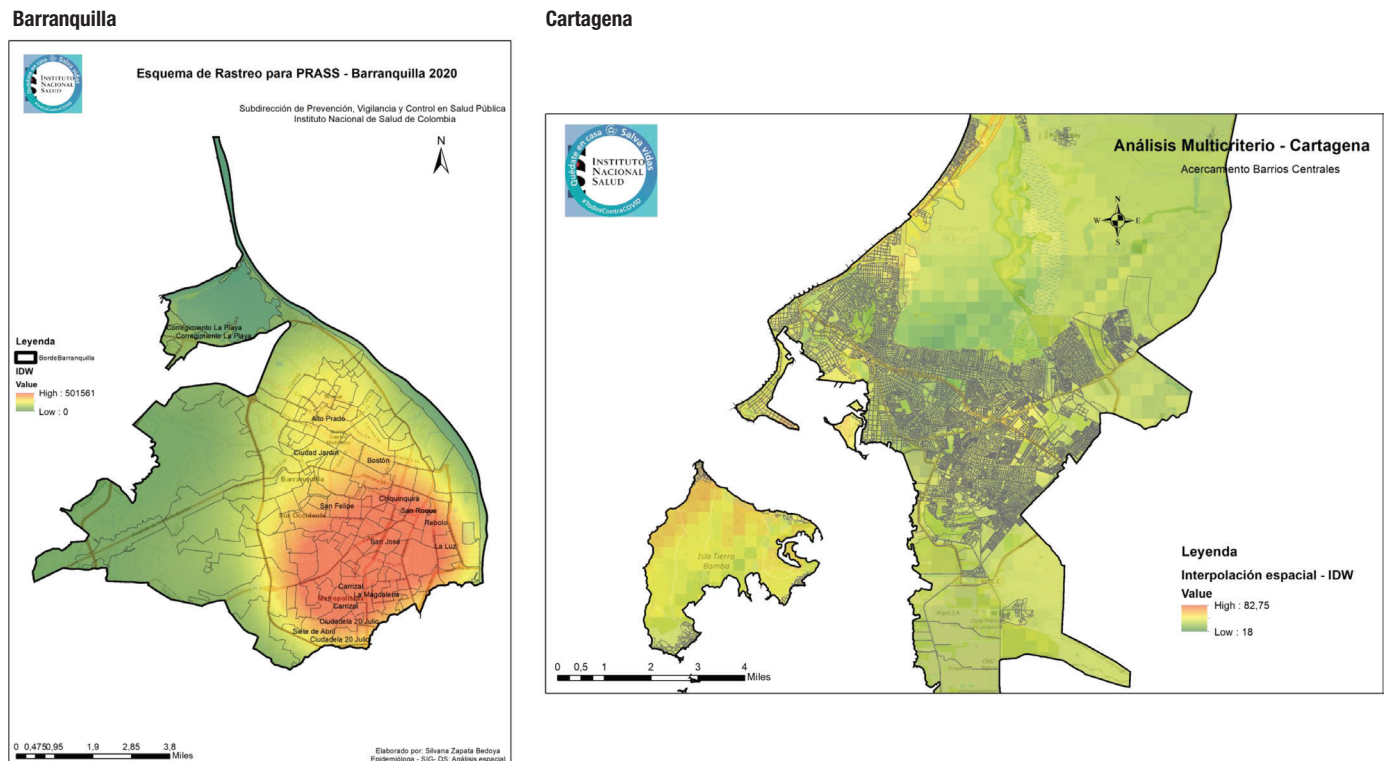
La aplicación de la epidemiología espacial permite enfocar los esfuerzos de las intervenciones en salud pública y en concentrar los equipos en territorio en las zonas de concentración de casos. A su vez, esto permite un bloqueo más

FIGURA 3. Creación de zonas objeto de casos activos en Barranquilla y Cartagena, 2020



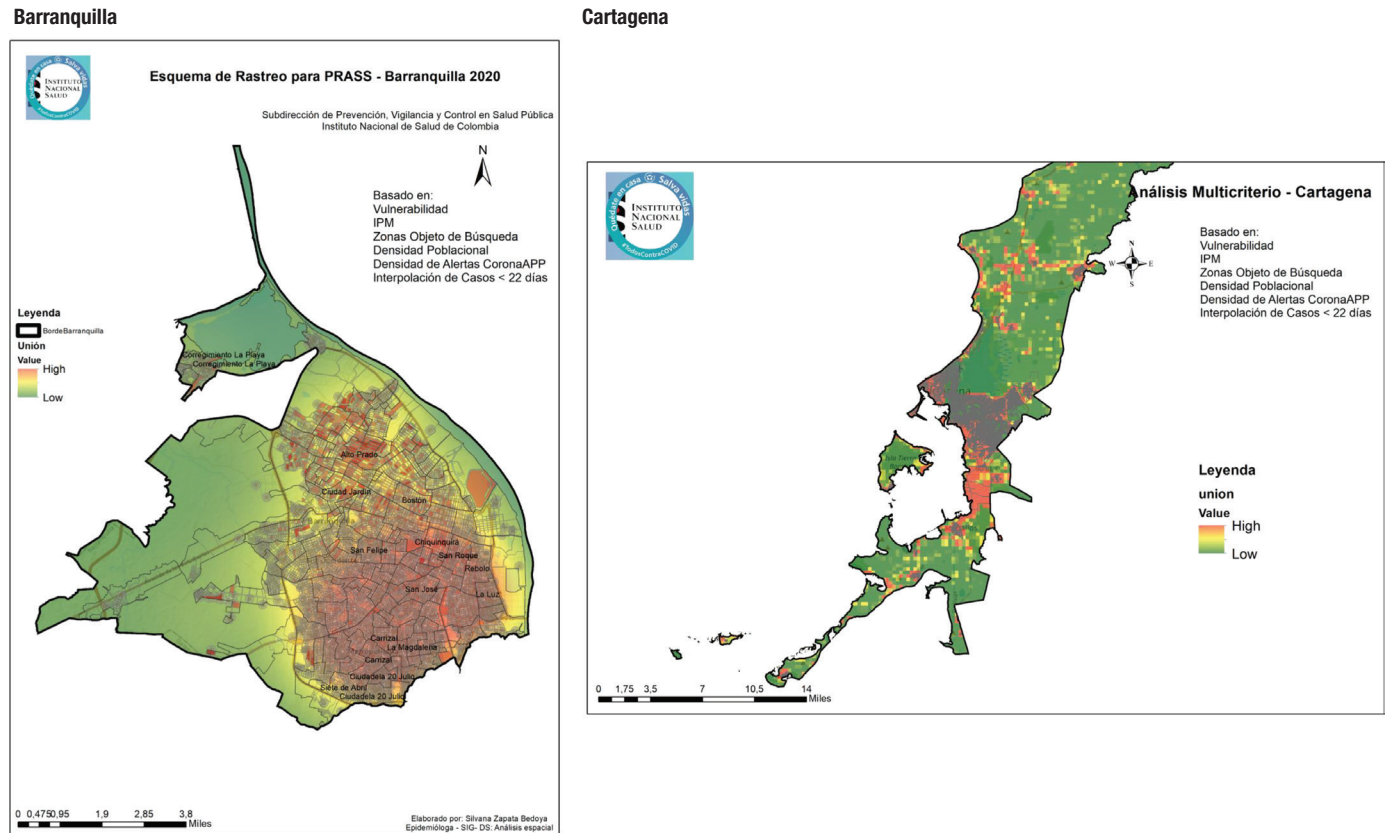
Fuente: elaboración propia a partir de elementos cartográficos de casos activos.

FIGURA 4. Interpolación espacial para casos activos de menos de 14 días en Barranquilla y Cartagena, 2020



Fuente: elaboración propia a partir de elementos cartográficos de casos activos de menos de 14 días

FIGURA 5. Resultado final del análisis multicriterio en Barranquilla y Cartagena, 2020



Fuente: elaboración propia a partir de elementos cartográficos procesados totales.

efectivo para detener la transmisión comunitaria, además de disponer el personal, que es muchas ocasiones y en muchos territorios de Colombia es escaso, al servicio de actividades puntuales.

El alcance de este análisis permitió intervenir en Cartagena 983 zonas objetos de vigilancia para 10 barrios y 1 526 en Barranquilla para 13 barrios, con un radio 150 metros que incluían manzanas con vulnerabilidad media-alta y alta y valores de IPM superiores a 60% y donde se evidencia un incremento en la detección de casos por semana (período de 1 al 7 de junio del 2020) que pasó de 185 casos detectados a 437 a la semana siguiente de la intervención (período del 14 al 20 de junio del 2020) en Barranquilla y de 121 a 176 en Cartagena, permitiendo el aislamiento oportuno de nuevos casos y red de contactos, una forma de usar la información para la acción inmediata de toma de decisiones cuando existen altos volumen de casos y se requiere aislar de manera inteligente con principios de eficiencia, eficacia y efectividad.

DISCUSIÓN

Los sistemas de información geográfica y los métodos de análisis espacial son herramientas de gran potencialidad que pueden ayudar a la comprensión de la dinámica de la génesis y evolución de los brotes de enfermedades infecciosas, de vectores, entre otras. En todo tipo de brotes, el análisis espacial aporta un instrumento metodológico fundamental para conocer

la distribución de los casos para generar hipótesis etiológicas, dirigir y evaluar las actividades de vigilancia y control (22,23). En el presente análisis espacial se ha logrado en gran medida en ambos aspectos.

Las búsquedas activas comunitarias (BAC) siempre han funcionado en salud pública; en Colombia se ha reorganizado y ha tomado el nombre de PRASS que busca utilizar herramientas tanto tecnológicas como manuales: con datos de los casos, captura en plataformas digitales y análisis espacial y búsqueda a través de rastreadores que usan el análisis espacial para dirigir sus recorridos y las acciones en campo. La herramienta de análisis espacial como apoyo a esta estrategia permite identificar casos en diferentes metros y realizar aislamiento selectivo a las comunidades con toma de muestras masivas y aislamiento de estos grupos garantizando las condiciones de protección de datos de los análisis y sin mostrar su ubicación.

Algunos estudios vinculan la extensión de los brotes de COVID-19 con la desigualdad social (24) y es aquí donde las herramientas de superposición, sumadas a las capas de vulnerabilidad y el IPM, permiten aislar de manera oportuna las personas más vulnerables y focalizar las ayudas estatales. Los resultados de este análisis espacial indican la posible relación entre las zonas vulnerables y con IPM altos y aumento de los casos.

Debe señalarse que este tipo de análisis puede constituirse en una capacidad instalada territorial que, si bien al inicio se dirige a disminuir el contagio, puede ser muy útil en el seguimiento

de otras condiciones y necesidades de salud de la población, asociadas o no a la pandemia, que requieren acciones de las instituciones. Visto de esta manera, el rastreo permite apalancar la inteligencia colectiva o vigilancia comunitaria de eventos en salud. Sin embargo, este tipo de análisis requieren un equipo interdisciplinario, con conocimiento en base de datos, del evento epidemiológico y habilidades en sistemas de información geográfica para lograr el objetivo final.

Una de las limitaciones es la calidad de los datos; en vigilancia epidemiológica no todas las regiones reconocen la importancia de la captura de la coordenada geográfica de los casos y su importancia para el análisis posterior, así que no siempre es posible obtener el 100% de los puntos de todos los casos. Sin embargo, se considera aceptable que las pérdidas en las coordenadas no sean superiores a 30%. Una de las características acerca del análisis espacial es que “el lugar hace la diferencia”; por lo tanto, la ubicación de los eventos necesita ser integrada para mejorar las acciones.

Por último, estos análisis requieren de un proceso continuo de vigilancia que incorpore una recopilación oportuna de la información, el aseguramiento de la calidad de esta y la obtención de los insumos para su geocodificación a nivel de punto para hacer más expedito los análisis espaciales. También se recomienda el uso de elementos geográficos oficiales de libre acceso en la mayoría de los países, a través de los departamentos e institutos geográficos o del sistema nacional de estadística.

Conclusiones

El análisis espacial permitió determinar la estructura temporal y espacial como metodología complementaria útil para el

rastreo de contactos, aportando la evidencia científica necesaria para la aplicación de medidas de intervención directa en los barrios en los que resulta necesario, encaminadas a reducir el contagio del SARS-CoV-2

Esta herramienta localizó focos de intervención para generar información regionalizada para la toma de decisiones en términos de cofinanciamiento o de aislamiento de las poblaciones para evitar la propagación de la COVID-19.

Los mapas generados con esta metodología mostraron, con mayor detalle, indicadores tradicionales de seguimiento de contactos y los lugares específicos donde sería necesario tomar medidas de prevención y control de acuerdo con el grado de propagación, para permitir una mayor racionalización de tiempo y de recursos.

Contribución de los autores. Todas las autoras concibieron el estudio original, planificaron los experimentos y escribieron y revisaron el manuscrito. DMW recopiló los datos. SZB analizó los datos e interpretó los resultados. Todas las autoras revisaron y aprobaron la versión final.

Agradecimientos. Las autoras agradecen a la Secretaría de Salud de las ciudades de Cartagena y Barranquilla y al Programa Nacional de Epidemiología de Campo FETP-Colombia del Instituto Nacional de Salud.

Conflicto de intereses. Ninguno declarado por los autores.

Declaración. Las opiniones expresadas en este manuscrito son responsabilidad del autor y no reflejan necesariamente los criterios ni la política de la *RPSP/PAJPH* y/o de la OPS.

REFERENCIAS

- Ruiz-Bravo A, Jiménez-Valera M. SARS-CoV-2 y pandemia de síndrome respiratorio agudo (COVID19). *Ars Pharma*. 2020;61(2): 63-79.
- Koo JR, Cook AR, Park M, Sun Y, Sun H, Lim JT, et al. Interventions to mitigate early spread of SARS-CoV-2 in Singapore: a modelling study. *Lancet Infect Dis*. 2020;20(6):678-88.
- Tang Y, Wang S. Mathematic modeling of COVID-19 in the United States. *Emerg Microbes Infect*. 2020;9(1):827-9.
- Organización Mundial de la Salud. Coronavirus disease (COVID-2019) situation reports Ginebra: OMS; 2020. Disponible en: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200404-sitrep-75-covid-19.pdf?sfvrsn=99251b2b_4
- Goldenberg JS, Contreras Escudero L. Diseño y puesta en marcha de un sistema de vigilancia epidemiológica en salud mental. *Rev Panam Salud Publica*. 2002;11(2):83-92.
- Barcellos C. Unidades y escalas en los análisis espaciales en salud. *Revista Cubana de Salud Pública*. 2003;29(4):307-13.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Datos abiertos cartografía y geografía s de Colombia. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia; 2020. Disponible en: <https://geportal.ligac.gov.co/es/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>
- ArcGIS [software GIS]. Versión 10.8. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, Inc., 2019.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia. Geovisores. Disponible en: <https://geportal.dane.gov.co/>
- Humanitarian Data Exchange. Disponible en: <https://data.humdata.org/>
- Maskrey A. Navegando entre brumas: la aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgos en América Latina. Bogotá: Tercer Mundo Editores; 1998.
- Lopez-Abente G, Ibáñez Martí C. Aplicación de técnicas de análisis espacial a la mortalidad por cáncer en Madrid. Reporte técnico 66. Madrid: Dirección General de Salud Pública; 2001.
- Läuter H, Silverman BW. Density estimation for statistics and data analysis. *Biometrical Journal*. 1988;30(7):876-877. Doi: <https://doi.org/10.1002/bimj.4710300745>.
- Pfeiffer D, Robinson TP, Stevenson M, Stevens KB, Rogers DJ, Clements ACA. *Spatial analysis in epidemiology*. Oxford: Oxford University Press; 2008.
- Waller LA, Gotway CA. *Applied spatial statistics for public health data*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons; 2004.
- Niño L. Uso de la función semivariograma y estimación kriging en el análisis espacial de un indicador entomológico de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Biomédica*. 2008;28: 578-86. Disponible en: <https://doi.org/10.7705/biomedica.v28i4.64>
- Isaaks EH, Srivastava MR. *An introduction to applied geostatistics*. Nueva York: Oxford University Press; 1989.
- Villatoro M, Henríquez C, Sancho F. Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense*. 2008;32:95-105.
- Albrecht J. *Key concepts and techniques in GIS*. Londres: SAGE Publications Ltd; 2007.
- Chang K-T. *Introduction to geographic information systems*. Boston: McGraw-Hill; 2008.
- Liria J. Sistemas de información geográfica y análisis espaciales: un método combinado para realizar estudios panbiogeográficos. *Rev Mex Biodivers*. 2008;79(1):281-4.

22. Araújo VEM de, Pinheiro LC, Almeida MC de M, Menezes FC de, Morais MHF, Reis IA, et al. Relative risk of visceral leishmaniasis in Brazil: a spatial analysis in urban area. *PLoS Negl Trop Dis*. 2013;7(11):e2540.
23. Chamaillé L, Tran A, Meunier A, Bourdoiseau G, Ready P, Dedet J-P. Environmental risk mapping of canine leishmaniasis in France. *Parasit Vectors*. 2010;3(1):1-8. Doi: <https://doi.org/10.1186/1756-3305-3-31>
24. Cordera J, Buriyovich J, Quevedo S, Montes P. COVID-19 y desigualdad social. Podcasts [Internet];2020. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/15401>

Manuscrito recibido el 30 de julio de 2020. Aceptado para su publicación, tras revisión, el 25 de octubre de 2020.

Geospatial models for SARS-CoV-2 outbreak control in Cartagena and Barranquilla, Colombia, 2020

ABSTRACT

Objective. Determine the temporal and spatial structure of the severe acute respiratory syndrome virus (SARS-CoV-2) that causes coronavirus disease (COVID-19), in the cities of Cartagena and Barranquilla, Colombia, in order to take necessary actions to support contact tracing.

Methods. Cross-sectional ecological study with spatial analysis based on kernel densities of variables, including cases, mobile application alerts, population vulnerability, multidimensional poverty index; inverse distance weighted spatial interpolation of active cases; and, finally, the spatial superposition technique as a final result. The database of the National Institute of Health of the cities of Cartagena and Barranquilla and the Department of National Statistics was used.

Results. The analysis identified an upward epidemiological trend in cases in the two cities, and determined the spatial direction of disease spread in neighborhoods, through spatial interpolation. Intervention areas were detected in 15 neighborhoods in Cartagena and 13 in Barranquilla, 50 meters around active cases with fewer than 21 days of evolution and by geographical risk layers, as a mechanism to stop the spread of COVID-19.

Conclusions. Spatial analysis proved to be a useful complementary methodology for contact tracing, by determining temporal and spatial structure and providing necessary scientific evidence for the application of direct intervention measures, where necessary, to reduce the spread of SARS-CoV-2.

Keywords

Geographic information systems; coronavirus infections; public health surveillance; risk map; Colombia.

Modelos geoespaciais para controle de surtos de SARS-CoV-2 em Cartagena e Barranquilla, Colômbia, 2020

RESUMO

Objetivo. Determinar a estrutura temporal e espacial do vírus da síndrome respiratória aguda grave (SARS-CoV-2, na sigla em inglês), causador da doença pelo coronavírus de 2019 (COVID-19, na sigla em inglês), nas cidades de Cartagena e Barranquilla, visando a tomar ações necessárias que apoiem o rastreamento de contatos.

Métodos. Estudo ecológico transversal que inclui análise espacial baseada em densidade de Kernel de variáveis como casos, alertas de um aplicativo móvel, vulnerabilidade populacional, índice de pobreza multidimensional, aplicação de interpolação espacial (IDW, na sigla em inglês) de casos ativos e, por último, aplicação da técnica de sobreposição espacial como resultado final. Foram utilizadas as bases de dados do Instituto Nacional de Saúde para as cidades de Cartagena e Barranquilla e do Departamento Nacional de Estatística.

Resultados. A análise determinou o comportamento epidemiológico ascendente dos casos nas duas cidades e identificou a direção espacial de propagação da doença nos bairros, por meio de interpolação espacial. Foram detectadas áreas para intervenção em 15 bairros de Cartagena e 13 de Barranquilla, em 50 metros ao redor dos casos ativos com menos de 21 dias de evolução e de acordo com as camadas de risco geográfico, como mecanismo para impedir a propagação da COVID-19.

Conclusões. A análise espacial permitiu determinar a estrutura temporal e espacial como uma metodologia complementar útil para o rastreamento de contatos, e forneceu a evidência científica necessária para a aplicação de medidas de intervenção direta, quando necessário, visando a reduzir o contágio pelo SARS-CoV-2.

Palavras-chave

Sistemas de informação geográfica; infecções por coronavírus; vigilância em saúde pública; mapa de risco, Colômbia.