

Análisis espacio-temporal del SARS-COV-2 en Cali, Colombia

SARS-coV-2 spatio temporal analysis in Cali, Colombia

Daniel E. Cuartas, David Arango-Londoño, Gissel Guzmán-Escarria, Edgar Muñoz, Diana Caicedo, Delia Ortega, Andrés Fandiño-Losada, Jorge Mena, Miyerlandi Torres, Lena Barrera y Fabián Méndez

Recibido 12 abril 2020 / Enviado para modificación 15 abril 2020 / Aceptado 28 abril 2020

RESUMEN

Objetivo Describir la distribución espacio-temporal del COVID-19 en la ciudad de Cali durante el primer mes de epidemia.

Métodos Se realizó un análisis exploratorio de datos espaciales, compuesto por un análisis de densidad de Kernel y se verificó la presencia de patrones espaciales por medio de la función K de Ripley.

Resultados La distribución espacial de los casos tiende a concentrarse inicialmente en el norte y sur de la ciudad, con una dinámica cambiante hacia el oriente y occidente.

Conclusiones El patrón espacial identificado puede estar influenciado por las medidas de aislamiento tomadas a nivel local y nivel nacional, además no se puede descartar el efecto del poco acceso que tiene la población general a las pruebas diagnósticas, los retrasos y represamientos para conocer los resultados de las mismas y aun los posibles sesgos por dificultades en la técnica de toma de la muestra o su conservación.

Palabras Clave: Análisis espacial; infecciones por coronavirus; COVID-19, geografía médica (*fuentes: DeCS, BIREME*).

ABSTRACT

Objective To describe the spatio-temporal distribution of the COVID-19 in the city of Cali during the first month of the epidemic.

Methods An exploratory analysis of spatial data was carried out, consisting of a kernel density analysis and the presence of spatial patterns was verified by the K-Ripley function.

Results The spatial distribution of the cases tends to initially concentrate in the north and south of the city, with a changing dynamic towards the east and west.

Conclusions The identified spatial pattern may be influenced by the isolation measures taken at the local and national level, but the effect of the low access of the general population to diagnostic tests, delays and restraints to know the results cannot be ruled out and even possible biases due to difficulties in the technique of taking the sample or its conservation.

Key Words: Spatial analysis; coronavirus infections; SARS-CoV-2; COVID-19 virus, medical geography (*source: MeSH, NLM*).

DC: Geógrafo. Ph.D. Ciencias Ambientales. Universidad del Valle. Cali, Colombia. daniel.cuartas@correounivalle.edu.co
DL: Estadístico. M.Sc. Economía Aplicada. Pontificia Universidad Javeriana Cali. Cali, Colombia. david.arango@javerianacali.edu.co
GE: Geógrafa, Universidad del Valle. Cali, Colombia. gissel.guzman@correounivalle.edu.co
EM: Estadístico. M.Sc. Epidemiología, University of Texas Health Science Center at San Antonio, San Antonio, Estados Unidos. munoze@uthscsa.edu.co
DM: MD. M.Sc. Epidemiología. Pontificia Universidad Javeriana Cali. Cali, Colombia. diana.caicedob@javerianacali.edu.co
DO: Estadística. M.Sc. Epidemiología. Pontificia Universidad Javeriana Cali. Cali, Colombia. delia.ortega@javerianacali.edu.co
AF: MD. Ph.D. Health Sciences. Universidad del Valle. Cali, Colombia. carlos.fandino@correounivalle.edu.co
JM: MD. M. Sc. Epidemiología. Secretaría de Salud Pública Municipal de Cali. Cali, Colombia. jorgehmena@gmail.com
MT: Bacterióloga. M.Sc. Ciencias Básicas Biomédicas, Secretaría de Salud Pública Municipal de Cali, Cali, Colombia. miyertorres@hotmail.com
LB: MD. Ph.D. Epidemiology. Universidad del Valle. Cali, Colombia. lana.i.barrera@correounivalle.edu.co
FM: MD. Ph.D. Epidemiología. Universidad del Valle. Cali, Colombia. fabian.mendez@correounivalle.edu.co

A inicios de diciembre de 2019, fueron identificados los primeros casos de una neumonía de causa desconocida en la ciudad de Wuhan en China. Transcurridos cuatro meses desde el inicio de la pandemia de COVID-19 se han confirmado 1,5 millones de casos en 184 países con más de 90 000 muertes certificadas y la progresión de la curva epidémica mundial aún no llega a su cima. Desde mediados de

marzo de 2020, la tendencia mundial presenta una progresión al aumento exponencial en el número de casos; aunque existen dinámicas particulares que dependen de la fecha de inicio en la importación de los primeros casos, de las intervenciones por regiones y de las características demográficas, sociales y económicas del contexto.

Los primeros casos de COVID-19 en Colombia fueron diagnosticados en la primera semana de marzo (6 de marzo se diagnostica el primer caso importado en Bogotá) y a la fecha se han confirmado más de 2 200 casos, un poco menos de la mitad en Bogotá. Aunque en lo corrido de la epidemia la mayoría de los departamentos han reportado casos (24 de 32 departamentos), los diagnósticos se han hecho solo en un 10% de los municipios (116 de 1102 municipios).

Es reconocido que la forma de dispersión de la enfermedad es principalmente entre personas que están en contacto cercano (menos de 2 m), por medio de pequeñas gotas producidas por una persona infectada cuando tose, estornuda o habla (1). Es factible, además, que las personas sin síntomas puedan transmitir la enfermedad y es por ello que las medidas de distanciamiento social generalizadas han sido establecidas en muchos países. La propagación puede darse también por contacto con superficies u objetos contaminados y por ello la insistencia en las medidas de higiene de manos.

En la medida que el coronavirus 2 del Síndrome Respiratorio Agudo Grave (SARS-COV-2) se propaga, se van conociendo más características de la dinámica de transmisión de este nuevo virus. Caracterizar la evolución de las infecciones en el tiempo y el espacio ayuda a entender cómo ocurre el contagio, así como la forma en que se propaga en medio de las acciones de control establecidas y, en consecuencia, ayuda a redefinir las estrategias de intervención para disminuir el impacto en la salud de las poblaciones. En este sentido, este trabajo busca describir la distribución espacio-temporal del coronavirus en la ciudad de Cali durante el primer mes de epidemia.

MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio es el perímetro urbano de Santiago de Cali localizado en el sur occidente de Colombia en un valle interandino entre la cordillera occidental y la cordillera central. El área urbana de la ciudad se divide administrativamente en 22 comunas y una zona de expansión de 11 924 ha. Cuenta con una población de 1 822 869 habitantes en la cabecera municipal, 46,8%, hombres y 53,2%, mujeres (2). Los adultos jóvenes entre los 15 y 39 años son el grupo etario predominante con el 39,8%, seguida

por la población adulta entre 40 y 59 años que corresponde al 25,8%; la población infantil, con un 17,7%; y con menor frecuencia, los adultos mayores de 60 años que representan el 16,5%.

Análisis exploratorio de datos espaciales

El análisis exploratorio de datos espaciales comprende la localización, distribución espacial, asociación espacial, interacción y evolución espacial (3). Para el caso de la descripción de la distribución espacial de las infecciones por el coronavirus, se desarrollan en este trabajo las dos principales funciones de la investigación geográfica en los estudios de epidemias: como una herramienta de análisis para conocer la distribución y como una herramienta de comunicación para la toma de decisiones (4).

En este análisis se empleó la localización de cada caso por medio de puntos, empleando métodos de suavización espacial de Kernel que brindan información de la distribución y de la densidad de los casos.

Geocodificación

Los datos de los casos fueron proporcionados por la Secretaría de Salud Pública Municipal de Cali a partir de las fichas de notificación individual de casos de infección respiratoria aguda de virus nuevo (código 346 del Instituto Nacional de Salud) que hacen parte del Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA). La información suministrada incluye la dirección de residencia de los casos que fue necesario estandarizar inicialmente para luego transformar la ubicación en un sistema de latitud-longitud bajo un sistema de coordenadas geográficas (5-9). Posteriormente, se realizó un proceso de geocodificación automatizada con la plataforma QGIS, para lo que se utilizó el complemento MMQGIS y la interface API de Google Maps, seguido de la verificación de las localizaciones obtenidas al hacer búsqueda directa en Google Maps. En los casos en que se encontró una inconsistencia que pudiera ser ajustada se realizaba de manera manual y en aquellos en que se identificó una dirección inexistente se eliminó el registro.

Análisis de patrones de puntos

El análisis de densidad es uno de los principales métodos para reconocer patrones de distribución (10). En el análisis de distribución de eventos como el coronavirus permite identificar rápidamente la concentración (“puntos calientes”) de casos confirmados o probables y adelantar intervenciones (11). En el análisis de densidad se genera una superficie curvada suave sobre cada punto en estudio, usando cálculos de vecindad local definida por bloques de celdas o píxeles, y una función simétrica radial; de manera

que, el valor de densidad más alto se da sobre el punto y tiende a disminuir progresivamente a medida que se aleja del mismo, hasta el radio máximo de búsqueda donde el valor de densidad llega a 0 (12).

La densidad de Kernel emplea una función de densidad bivariada, por medio de la siguiente ecuación:

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

Donde K representa la función de densidad bivariada, $r > 0$ es el ancho del radio y s es el centroide de una circunferencia de radio r (5).

La comprobación de los patrones observados a partir del análisis de densidad, se confirmaron por medio de la función K de Ripley, que resume la dependencia espacial como una función. Cuando el valor K de las observaciones se encuentra por encima de K esperado, significa que la distribución observada es agregada en comparación con la distribución aleatoria. La función K se define como:

$$\hat{K}(r) = \frac{a}{n(n-1)} \sum_i \sum_j I(d_{ij} \leq r) e_{ij}$$

donde a es el área de la ventana, n es el número de puntos y la suma es tomada de todos los pares ordenados de puntos i, j . d_{ij} es la distancia entre dos puntos, $I(d_{ij} \leq r)$ es el indicador que iguala a 1 si la distancia es menor o igual a r . El término e_{ij} es un límite de corrección de la ponderación (13).

RESULTADOS

De los 241 casos confirmados entre el 7 de marzo y el 8 de abril de 2020 en la ciudad de Cali, fue posible geocodificar

el 94% de ellos ($n=227$), tras una pérdida de datos espaciales en 14 casos. De estos 227 casos, 6 (2,5% de todos los confirmados) tenían información perdida respecto a la fecha de inicio de síntomas. En consecuencia, el análisis descriptivo de la distribución espacio-temporal de los casos positivos para SARS-COV-2 durante el primer mes en la ciudad de Cali se realizó con 221 casos. En el total de la ocurrencia de este primer mes (Figura 1 mapa de densidad de puntos) es posible identificar que la mayor agregación de casos está en el sur de la ciudad, aunque se identifican otros puntos calientes menores hacia el occidente y el oriente, y algunos de menor relevancia en el norte de la ciudad.

La distribución de los casos por semanas epidemiológicas (ventanas de tiempo de observación, ver 6 mapas de puntos de la Figura 1), de acuerdo con el origen de la infección, muestra que los casos importados predominan durante las primeras semanas en particular entre el 8 y el 21 de marzo (semanas 11 y 12), tanto en zonas del sur como en el norte de la ciudad. Los casos relacionados como es de esperar presentan un patrón relacionado con los casos importados.

Teniendo en cuenta, la fecha de inicio de síntomas se identificaron variaciones temporales en la densidad de casos a lo largo del periodo analizado. En la figura 2 se muestra la distribución acumulada hasta la semana señalada (secuencia de mapas superiores de la figura 2) y la distribución para cada una de las 6 semanas epidemiológicas correspondientes entre el 8 de marzo y el 8 de abril de 2020 (secuencia de mapas inferiores de la figura 2). En particular, puede observarse como dos de los casos confirmados iniciaron síntomas a finales de la semana epidemiológica 10 (primera ventana de tiempo, una se-

Figura 1. Distribución de los casos de COVID-19 según fecha de inicio de síntomas y el origen del caso

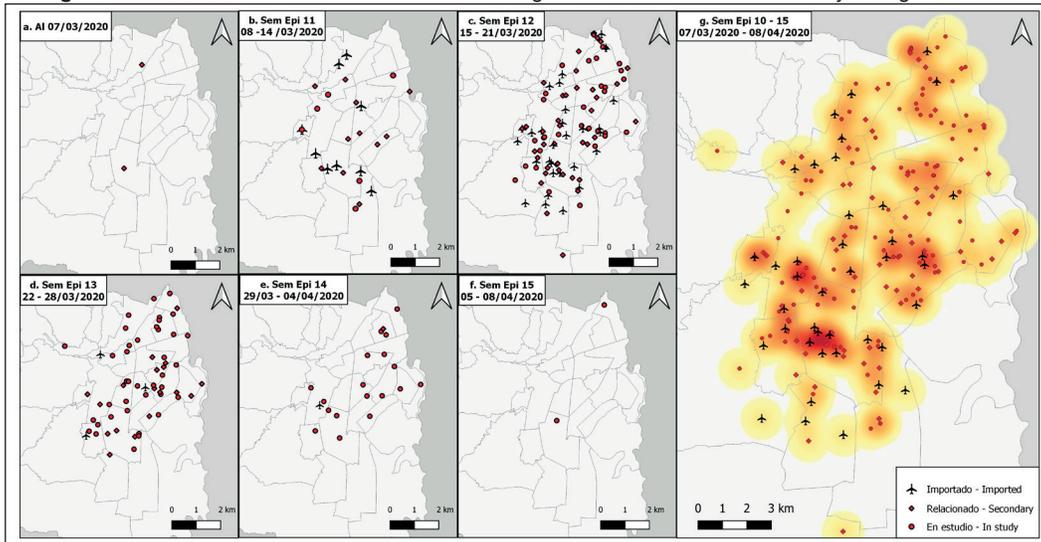
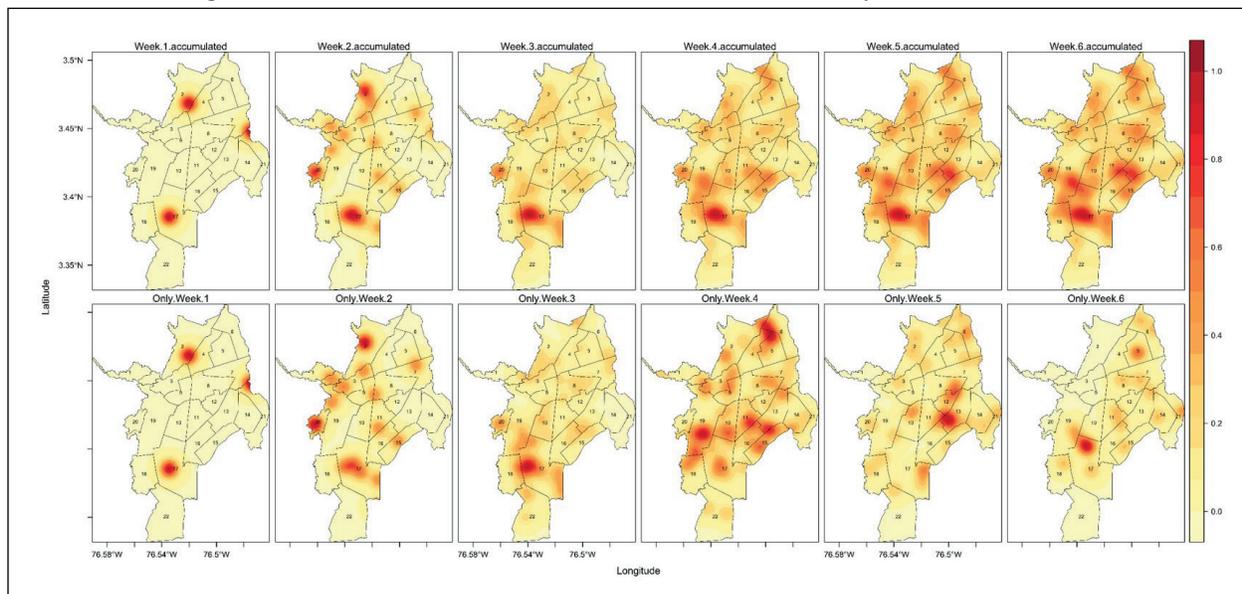


Figura 2. Densidad de casos SARS -CoV-2 en Cali entre el 7 de marzo y el 8 de abril del 2020



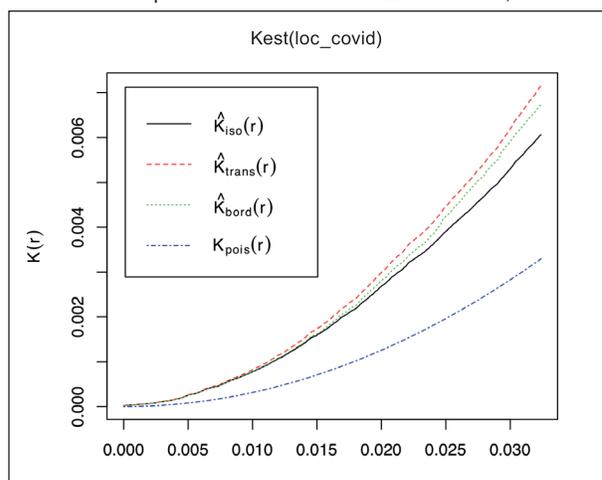
mana antes del primer caso diagnosticado). Durante la semana epidemiológica 11 (8-14/03/2020) iniciaron síntomas 27 casos con una especial tendencia a concentrarse en el sur de la ciudad en una suerte de corredor alrededor una vía arterial (carrera 80), involucrando varios barrios de la ciudad; de igual forma se configura un punto caliente en la comuna 20 y otro más en el norte.

En la semana epidemiológica 12 (15-21/03/2020), 109 casos reportaron haber iniciado síntomas, entre los cuales se encuentran tres de los fallecidos durante ese mes en la ciudad. La concentración de casos se mantiene predominantemente en el sur y norte de la ciudad, aunque se presentan casos distribuidos a lo largo de la ciudad. Para la semana epidemiológica 13 (22-28/03/2020) iniciaron síntomas 60 casos, incluyendo dos de los fallecidos, en este periodo se configuran focos de casos hacia el occidente, el oriente y el norte de la ciudad. Para la semana epidemiológica 14 (29/03-04/04/2020) iniciaron síntomas 19 casos que se concentraron especialmente en el oriente de la ciudad. Durante lo corrido de la semana epidemiológica 15 (05-08/04/2020, datos a la fecha de análisis) 2 casos se habían identificado con síntomas, uno nuevamente al sur, en una ubicación distinta de la de los focos iniciales, y otro adicional al norte.

El comportamiento espacial de los casos positivos de SARS-COV-2 en la ciudad de Cali se examinó con la función K (Figura 3), con lo que se confirma estadísticamente la tendencia espacial fuertemente agregada de los casos. En la Figura 3, se observa que la curva de patrón aleatorio Poisson se encuentra por debajo de la curva observada. Este resultado muestra que, a pesar de encontrar

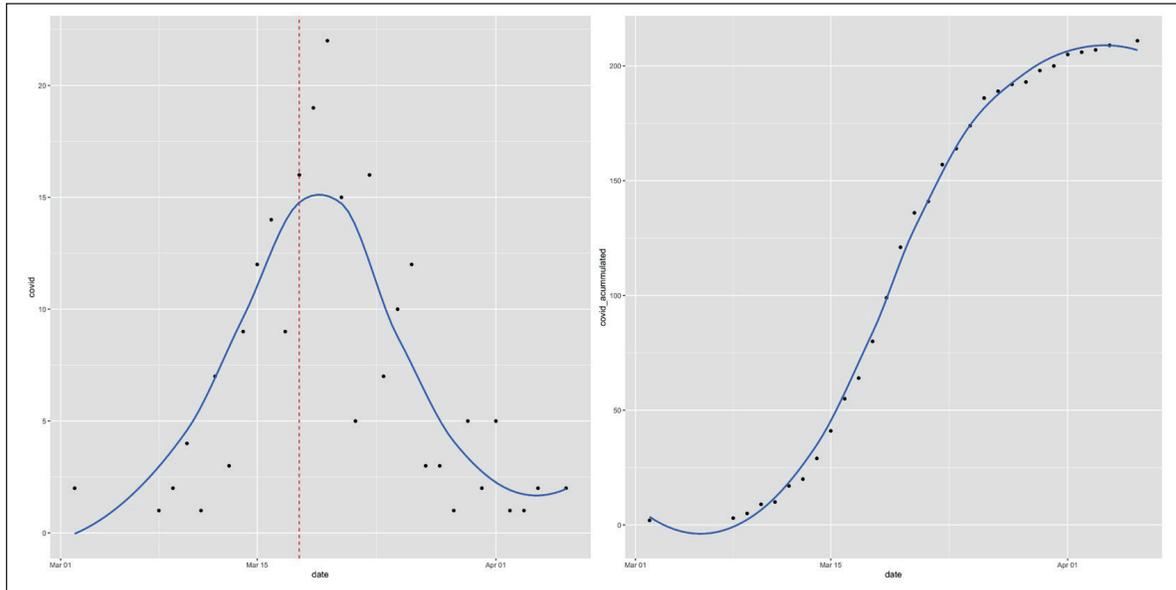
casos en diversas zonas de la ciudad, estos se encuentran aglomerados en nichos.

Figura 3. Función K para identificar el tipo de patrón de distribución espacial de casos de COVID-19 en Cali, Colombia



Por otro lado, un análisis de la tendencia temporal en la ocurrencia de casos positivos de SARS-COV-2 durante el periodo de análisis se representa para el número diario de casos y el total acumulado en la figura 4. La figura 4A muestra durante la primera mitad del periodo una tendencia creciente, que cambia después de la implementación de la intervención de la cuarentena el 18 de marzo (línea punteada roja) cuando se evidencia una tendencia decreciente en la cantidad de casos positivos que reportaron inicio de síntomas en esas fechas. Dicha tendencia se observa también en el aplanamiento de la curva de casos acumulados (Figura 4B).

Figura 4. (A) Total de Casos diarios de COVID-19 confirmados según fecha de inicio de síntomas (línea roja inicio de cuarentena) y (B) Casos Acumulados de COVID-19, Cali, Colombia



DISCUSIÓN

Durante el primer mes de la introducción de la epidemia del COVID-19 en Cali se ha presentado una transmisión muy efectiva del virus desde la confirmación del primer diagnóstico el 15 de marzo con casos positivos en todas las comunas de la zona urbana. Los primeros focos de la epidemia se localizaron en el sur y en el norte de la ciudad para desplazarse posteriormente hacia el oriente y occidente. A lo largo de este tiempo la presencia de concentraciones y puntos calientes ha sido dinámica en toda el área urbana, reflejando la dinámica propia de las enfermedades infecciosas y los impactos de las acciones implementadas.

Dicha distribución residencial segregada de los casos de COVID-19 en la ciudad de Cali, muestra inicialmente cómo los casos importados se localizan principalmente en las áreas de la ciudad que Vivas denomina el “eje longitudinal de concentración de capital humano en la ciudad” (14); es decir, las zonas con mayor nivel educativo, en zonas con baja densidad poblacional y de nivel socioeconómico medio y alto. Posteriormente, la transmisión se desplaza hacia sectores segregados en el oriente y occidente con alta densidad poblacional, bajo nivel socioeconómico y predominancia del trabajo informal. Lo anterior, supone retos para la gestión de esta epidemia que tiene altos costos para la población ocupada de manera informal, que en Cali es del 46,2% (15).

No obstante, lo descrito respecto a la dispersión de la enfermedad por toda la ciudad, el análisis de inicio de síntomas de los casos en el tiempo muestra un descenso en la curva de casos positivos para SARS-COV-2.

Si bien esta tendencia puede estar en parte influenciada por las distintas medidas de aislamiento tomadas a nivel local (18/03/2020) y nivel nacional (25/03/2020), no se puede descartar el efecto del poco acceso de la población general a las pruebas diagnósticas, los retrasos y represamientos para conocer los resultados de las mismas y aun los posibles sesgos por dificultades en la técnica de toma de la muestra o su conservación; lo cual, no permite tener un panorama completo de la evolución de la epidemia en la ciudad (16). Estos factores, identificados para la distribución de casos en el tiempo, influyen también en la distribución espacial; pues, por ejemplo, un posible foco puede no incorporar todos los datos de contactos y, de esta manera, podría adquirir mayor relevancia otra agregación de casos, pues condiciona la toma de decisiones.

En ese marco complejo, en el cual confluyen una distribución espacial, una distribución temporal, limitaciones en la toma de pruebas, flujos poblacionales constantes, fuertemente relacionados con el tipo de ocupación (formal, informal), con las centralidades de la ciudad y con las necesidades básicas que como sociedad se puedan satisfacer, se marcará la dinámica espacial del COVID-19 al interior de las ciudades de Colombia.

Limitaciones y futuros desarrollos

La principal limitante es la ventana de tiempo que existe entre el análisis de datos y la toma de muestra. En la medida que se desarrollen las capacidades locales para el diagnóstico, se podrá mejorar la resolución de la dinámica espacial y social del COVID-19.

Futuros desarrollos requerirán replicar estos análisis espaciales para la identificación de conglomerados, pronóstico espacial de posibles lugares de concentración de casos, modelación multivariada de las fuerzas de atracción y confluencia de individuos hacia ciertas centralidades en las ciudades y su potencial de contacto y transmisión, entre otros. En todo caso, los insumos primarios serán los procesos de geocodificación y el análisis de densidad inicial (17). Finalmente, los análisis de la dinámica espacial requerirán de un continuo proceso de vigilancia que incorpore una recopilación oportuna de la información, el aseguramiento de datos de calidad y de estrategias de comunicación de la información (18); así como conocer la relación entre los casos y poder interrumpir las dinámicas poblacionales que están favoreciendo la transmisión ♦

Agradecimientos: A la Secretaría de Salud Pública Municipal y a la Alcaldía de Santiago de Cali, por facilitar el acceso a la información.

REFERENCIAS

- Centros para el control y la prevención de enfermedades CDC. Enfermedad del coronavirus 2019 (COVID-19) [Internet]. 2020 [Updated 2020; cited 2020 Abril 14]. Available from: <https://bit.ly/35EfYqW>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística . Censo nacional de población y vivienda 2018-Colombia [Internet]. 2019 [Updated 2019; cited 2020 Abril 14]. Available from: <https://bit.ly/3cdljqN>.
- Fuenzalida M, Buzai GD, Moreno A, García A. Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones. Santiago de Chile: Editorial Triángulo; 2015.
- Brown T, McLafferty S, Moon G. A companion to health and medical geography. Oxford: John Wiley & Sons; 2009.
- Pfeiffer D, Robinson TP, Stevenson M, Stevens KB, Rogers DJ, Clements AC. Spatial analysis in epidemiology. United Kingdom: Oxford University Press; 2008.
- B Vargas J, Horfan D. Proceso de geocodificación de direcciones en la ciudad de Medellín, una técnica determinística de georreferenciación de direcciones. Ing USBMed. 2013 [Cited 2020 Abril 14];4(1):6-21. Available from: <https://bit.ly/3b8Jp5G>. DOI:10.21500/20275846.278.
- Pachón F, Téllez S. Propuesta de estándar de las direcciones urbanas para los equipamientos del ministerio de educación [Internet]. Bogotá: SIG MEN; 2009 [Cited 2020 Abril 14]. Available from <https://bit.ly/2LbzNg8>.
- Departamento Administrativo de Planeación Municipal. Guía para la estandarización de la nomenclatura urbana. Santiago de Cali: Alcaldía de Santiago de Cali; 2019.
- ESRI ArcGIS Desktop. Introducción a la geodecodificación [Internet]. 2016 [Cited 2020 Abril 14]. Available from: <https://bit.ly/2SMPs9D>.
- Kanaroglou P, Delmelle E, Paez A. Spatial analysis in health geography. London: Routledge; 2016.
- Resendes A, Barcellos C, Skaba D, Gouveia E, De Miranda G, Iñiguez L, et al. Abordagens espaciais na Saúde Pública. Brasil: Ministério da Saúde; 2006.
- De Smith M, Goodchild M, Longley P. Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools. 6th ed. London: Troubador publishing ltd; 2018.
- Baddeley A, Turner R, Rubak E. Spatstat: spatial point pattern analysis, model-fitting, simulation, tests. Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2013.
- Vivas H. Persistencia de la segregación residencial y composición del capital humano por barrios en la ciudad de Cali. Revista ensayos sobre política económica. 2013 [Cited 2020 Abril 14]; 31(70): 121-155. Available from: <https://bit.ly/3bitCkF>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Boletín técnico: gran encuesta integrada de hogares (GEIH) noviembre 2019 – enero 2020 [Internet]. 2020 [Cited 2020 Abril 14] Available from: <https://bit.ly/2zmb6dW>.
- Kamps B, Hoffmann C. COVID reference. 3rd ed. Germany: Steinhäuser Verlag; 2020.
- Andrade AL, Monteiro AMV, Barcellos C, Lisboa E, Acosta LMW, Almeida MCDM, et al. Introdução à estatística espacial para a saúde pública. Brasil: Ministério da Saúde; 2007.
- Chan T, King C. Surveillance and epidemiology of infectious diseases using spatial and temporal clustering methods. In: Zeng D, Chen H, Castillo-Chavez C, Lober WB, Thurmond M (eds.). Infectious disease informatics and biosurveillance. Nature public health emergency collection. 2011 [Cited 2020 Abril 14];27:207-234. Available from: <https://bit.ly/3fo54tU>. DOI:10.1007/978-1-4419-6892-0_10.