

Dossier: Análisis geográfico del COVID-19

Comportamiento espacial de la pandemia COVID-19 en Costa Rica durante los meses de marzo y abril de 2020 mediante un análisis de autocorrelación espacial

Omar Barrantes Sotela^{1*} y Manuel Antonio Solano Mayorga^{1**}

¹ Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Geográficas

* Correspondencia: omar.barrantes.sotela@una.ac.cr

** Correspondencia: manuel.solano.mayorga@una.ac.cr

Recibido: 9/05/2020; Aceptado: 16/05/2020; Publicado: 17/05/2020

Resumen

En Costa Rica el primer caso confirmado por COVID-19 ocurrió el 6 de marzo del 2020. Paulatinamente, se presentaron casos por todo el territorio nacional. Gracias al robusto sistema de salud costarricense y a las acciones tomadas por las autoridades sanitarias se ha podido controlar la afectación de la pandemia. Esta investigación busca entender el proceso de difusión espacial de la enfermedad del COVID-19 en Costa Rica mediante el análisis de la autocorrelación espacial en seis modelos que consideran la asociación entre el incremento de los nuevos casos, así como otras variables de interés tales como la densidad de la población, la densidad de la red vial, indicadores sociales, económicos y ambientales emitidos por fuentes oficiales. Se demuestra, que existe dependencia espacial en tres de los seis modelos propuestos y a su vez pueden relacionarse con algunas de las medidas implementadas por el Gobierno de Costa Rica.

Palabras clave: Pandemia; COVID-19, Costa Rica, Análisis Espacial, Autocorrelación espacial

Spatial behavior of the COVID-19 pandemic in Costa Rica during the months of March and April 2020 through a spatial autocorrelation analysis

Abstract

In Costa Rica, the first case confirmed by COVID-19 occurred on March 6, 2020. Gradually, cases were presented throughout the national territory. Thanks to the robust Costa Rican health system and the actions taken by the health authorities, the impact of the pandemic has been controlled. This research seeks to understand the spatial diffusion process of COVID-19 disease in Costa Rica by analyzing spatial autocorrelation in six models that consider the association between the increase in new cases, as well as other variables of interest such as the population density, the density of the road network, social, economic and environmental indicators issued by official sources. It is shown that there is spatial dependence in three of the six models proposed and, in turn, they can be related to some of the measures implemented by the Government of Costa Rica.

Keywords: Pandemic, COVID-19, Costa Rica, Spatial Analysis, Spatial Autocorrelation

1. Introducción

En la actualidad y con la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) pueden llevarse a cabo diversos modelos espaciales para estudiar el comportamiento espacial de determinado evento. El mapeo siempre ha sido una herramienta esencial en el seguimiento y monitoreo de diferentes enfermedades y su distribución espacial. Hoy día con la aplicación de los SIG, los análisis de carácter espacial adquieren mayor relevancia, ya que la manipulación de los datos geográficos y sus diferentes modelos son muchos más sencillos de realizar y los cuales se pueden llevar a cabo en el menor tiempo posible.

No obstante, el estudio de la Salud pública y el bienestar por medio de los SIG es un tema poco explorado en Costa Rica, aún a pesar de la existencia de un marco teórico constituido en la Geografía de la salud, la salubridad pública y la Epidemiología. De hecho se sigue la tendencia indicada por Rushon (2000), en el que la mayoría de las contribuciones y el desarrollo de aplicaciones de los SIG, se orientan más hacia el manejo de los recursos naturales, el ordenamiento del territorio y los estudios físico-ambientales.

En el campo de la Salud, se destacan los estudios espaciales descriptivos en el que se representa la distribución de las enfermedades, ya sea en su ocurrencia o prevalencia; mediante la elaboración de mapas. Por ejemplo, de las primeras representaciones cartográficas que relacionaban el sitio, las enfermedades y salud, se remontan a 1694 con el mapeo de la peste en Italia. Otro caso, fue el análisis espacial del brote de cólera dado en 1854, Soho, Londres, realizado por John Snow; que por medio de la sobre posición de cartografía levantada a mano pudo identificar el origen de la fuente de contaminación que desató el brote.

El valor de la cartografía como un medio de transmitir conocimientos y cómo se distribuyen espacialmente las enfermedades fue adquiriendo con los años mayor importancia. El estudio y distribución de enfermedades infecciosas, entre ellas, fiebre amarilla, el cólera y la pandemia de la gripe española en 1918, son otros ejemplos del análisis espacial apoyados en la Geografía y la Cartografía. A inicios de la década de los 60, del siglo pasado, aparece el primer SIG, conocido como *Canadian Geographic Information System (CGIS)*, utilizado para fines forestales. A partir de ese momento y hasta la actualidad, las opciones de realizar análisis espacial en el seguimiento y monitoreo de enfermedades se ha incrementado.

En los últimos años se ha dado un salto de la representación cartográfica convencional, para dar lugar a un modelo de visualización cartográfica mediante la Web. Lo que permite disponer de un contenido más dinámico y de fácil interacción, tanto para el analista experto como para el público general. De esta manera, en las distintas instituciones sanitarias de los países, las universidades y las organizaciones privadas, han apostado por el uso y manejo de los datos e información geográfica, con el fin de gestionar la crisis a la Pandemia del COVID-19 (Kang *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2020). Esto

permite la difusión y el acceso de datos de interés público; y que abren toda una gama de posibles análisis espaciales sobre el tema.

Es importante resaltar que, hasta el momento no se conocen estudios sobre la dispersión espacial de la pandemia del COVID-19 en Costa Rica, y que sin duda puede ser un gran insumo para las dependencias sanitarias y tomadores de decisiones. De esa manera, esta investigación busca establecer las dinámicas espaciales de la epidemia, a través de la estimación de la asociación espacial de los datos diarios reportados por el Ministerio de Salud de Costa Rica.

2. Área de estudio

Costa Rica es un país con una superficie que alcanza los 51.100 kilómetros cuadrados en extensión continental. Según las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística y Censo de Costa Rica (INEC), la población en junio el 2020 es de 5.111.221 la cual se desglosa en 2.575.541 hombres y 2.535.680 mujeres, representando un total de 50.39 % de población masculina y 49.61% femenina (Gráfico 1). Los indicadores básicos de salud del año 2018 indican que la esperanza de vida promedio del costarricense es de aproximadamente 80,2 años. En las mujeres ronda los 82,7 años y en los hombres los 77,6 años.

Administrativamente el país se divide en siete provincias, ochenta y dos cantones y cuatrocientos ochenta y seis distritos. Las principales estadísticas del país se presentan utilizando esta división política-administrativa. Los servicios personales de salud se prestan en el público, el sector privado y un sector mixto difuso. La Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS) es el principal asegurador y proveedor de los servicios médicos en el país. A su vez, el Ministerio de Salud (MINSAL) es la entidad rectora del sistema de salud, y cuenta con una serie de instituciones adscritas como los Centros de Educación y Nutrición (CEN), los Centros Infantiles de Nutrición y Alimentación (CINAI) y el Instituto de Alcoholismo y Fármaco dependencia (IAFA) (Sáenz *et al.*, 2011). El Instituto Nacional de Seguros (INS) se encarga de las coberturas asociadas a los riesgos laborales y vinculados a los accidentes vehiculares, en la que brinda atención médica y rehabilitación por medio de la adquisición de seguros de riesgos. Este mantiene un modelo de operación de carácter mixto.

Según el Decreto Ejecutivo 41999-S, el Sistema de salud público está organizado en 9 direcciones regionales rectoras de salud, que se componen de 106 Áreas de rectoras de salud (CCSS, 2020). Existen 29 hospitales, y 1048 Equipos Básicos de Atención Integral en Salud (EBAIS). El Ministerio de Salud, tiene oficinas al nivel regional y local a cargo del monitoreo epidemiológico y de control de brotes. El Sistema de salud de Costa Rica es ampliamente reconocido por los organismos internacionales como un sistema exitoso (OECD, 2017)

Figura 1. Regionalización del Sistema de Salud Costarricense

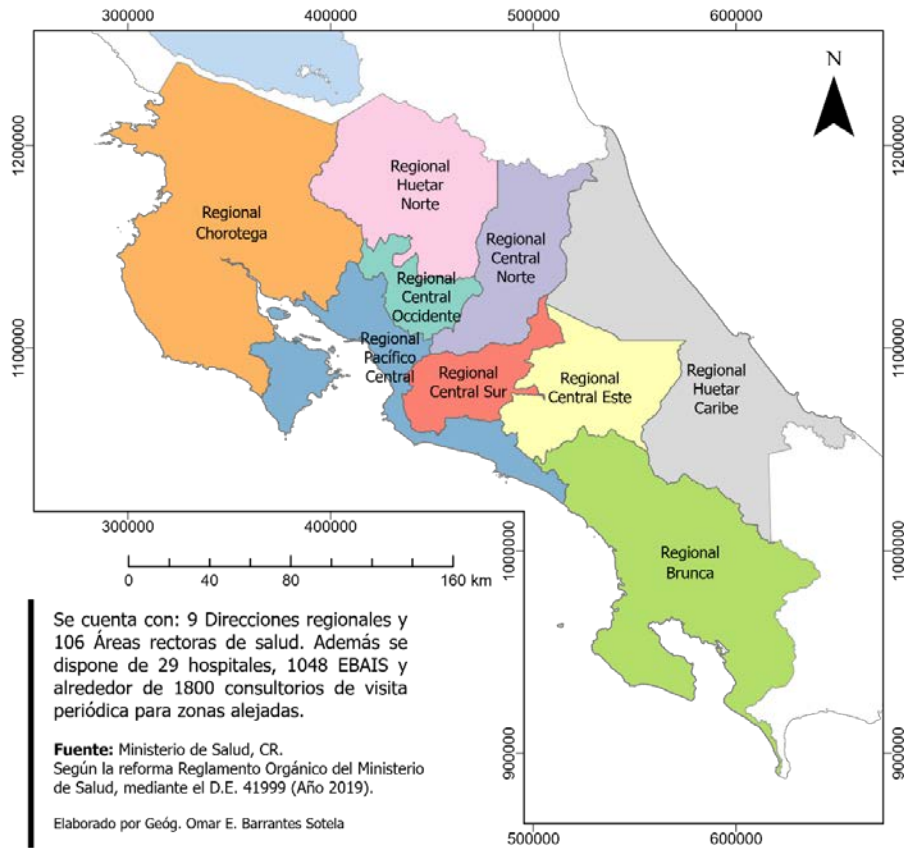
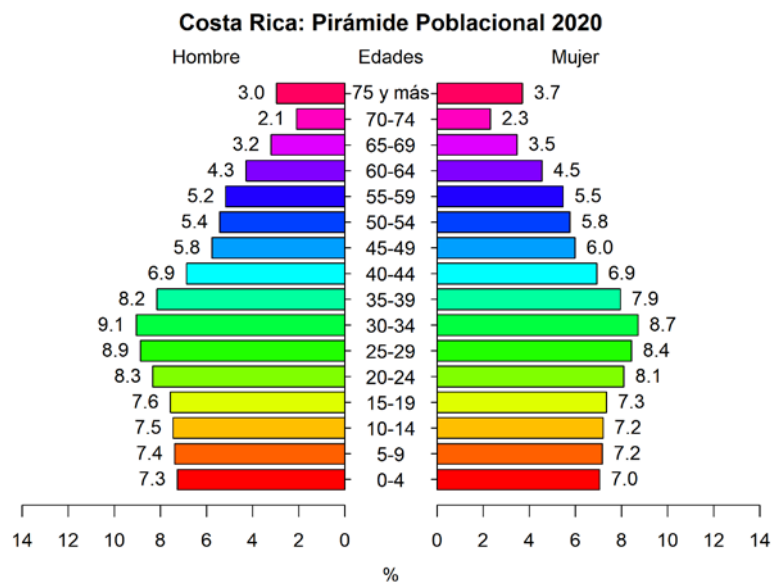


Gráfico 1. Composición de la población de Costa Rica, por sexo y grupo de edad.



Fuente: INEC. (2020). Proyección de la población costarricense.

3. El COVID-19 en Costa Rica

En diciembre 2019 se reportó en la ciudad de Wuhan, China; un nuevo virus y el cual recibió el nombre SARS-CoV-2, el cual provoca la enfermedad del COVID-19. El primer caso en Costa Rica se reporta en la fecha del 6 marzo 2020. Es un caso importado y se ubica en la Ciudad de San José, capital del país. El paciente es una mujer estadounidense de 49 años, y junto con su esposo ingresó al país el 01 de marzo. Durante los primeros días visitó las provincias de Alajuela y Puntarenas. Ante la aparición del primer caso en Costa Rica las autoridades sanitarias realizan un llamado a la calma, ya que se estima que la confirmación del caso no significa que haya transmisión activa en el país. Este primer caso se presenta en la centralidad del país, en la provincia de San José tiene una población cercana a los 1.661.547. Mientras que el cantón de San José, donde se presenta este primer caso tiene una población estimada de 347.398 habitantes. Desde el punto de vista de la propagación de la enfermedad, el segundo caso registrado es más significativo, ya que algunos medios lo consideran como un caso de superdiseminación (Rodríguez, 2020). Este correspondió a un hombre costarricense de 54 años vecino del cantón de Alajuela, que visitó Panamá y regresó a Costa Rica el 22 de febrero (Minsa, 2020b).

A dos meses del registro del primer caso confirmado por COVID-19, el Ministerio de Salud informa que se han identificado un total de 761 casos en 63 cantones. Los casos van desde un intervalo de edad de 1 a los 87 años. Se trata de 356 mujeres y 405 hombres, de los cuales 670 son costarricenses y 91 extranjeros. La distribución por edad es de 682 adultos, 38 adultos mayores y 41 menores de edad. Esta distribución que se realiza por edad corresponde a la que ha utilizado el Ministerio de Salud de Costa Rica desde que se dio la primera conferencia de prensa, 12 marzo 2020, sobre la presencia y evolución del Covid 19 en el país. Además, se registran seis fallecimientos, todos hombres con un rango de edad de 45 a 87 años. Se han descartado 9.412 personas y procesado un total de 14.448 muestras (Minsa, 2020a).

De acuerdo a declaraciones de las autoridades sanitarias, en Costa Rica no se ha detectado transmisión comunitaria activa del virus. Algunos explican, que es un logro debido a la implementación de medidas sanitarias y acciones concretas por parte de las autoridades que gestionan la emergencia nacional sanitaria, y al acatamiento de las medias interpuestas por parte de la población para evitar un incremento en la tasa de transmisión.

4. Aspectos teóricos

La autocorrelación espacial es un concepto importante en las estadísticas espaciales. Su fundamento teórico es lo que permite la interpolación espacial. En muchas ocasiones su cálculo y propiedades son malentendidas. La autocorrelación (ya sea espacial o no) es una medida de similitud (correlación) entre observaciones cercanas. Para comprender la autocorrelación espacial, primero es útil considerar la autocorrelación temporal. Si se mide una característica sobre el mismo objeto a lo largo del tiempo, es posible establecer el grado de asociación en el período predeterminado, y por lo tanto se puede estimar la correlación de cada observación con la siguiente observación.

El concepto de *autocorrelación espacial* es una extensión de la autocorrelación temporal, aunque con un mayor grado de complejidad. El tiempo es unidimensional, y solo va en una dirección, siempre adelante. Los objetos espaciales tienen (al menos) dos dimensiones y formas complejas, y puede no ser obvio cómo determinar qué está “cerca” o “vecino”. Las medidas de autocorrelación espacial describen el grado en que las observaciones (valores) en ubicaciones espaciales (ya sean puntos, áreas o celdas) son similares entre sí. Por lo que se necesita de: *observaciones y ubicaciones* (Cliff & Ord, 1973). La autocorrelación espacial en una variable puede ser exógena (es causada por otra variable espacialmente autocorrelacionada, por ejemplo, lluvia) o endógena (es causada por el proceso en juego, por ejemplo, la diseminación de una enfermedad).

Una estadística comúnmente utilizada que describe la autocorrelación espacial es el Índice de Moran. Este índice es una estadística de producto cruzado entre una variable y su retraso espacial (vecino) (Moran, 1948; Tiefelsdorf, 2002; Truong & Stein, 2019). Existen otros índices, que incluyen la *C de Geary* y, para datos binarios, el *índice de recuento de uniones*. También, se puede estimar la autocorrelación espacial en un conjunto de datos, al establecer un proceso normal espacial o proceso de Kriging mediante la construcción un *semivariograma*.

Según Moran (1948), el Índice *I* se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} z_i * z_j / S_o}{\sum z_i^2 / n}$$

Donde: $z_i = x_i - \bar{x}$, corresponde a la variable estandarizada. w_{ij} , son los elementos de la matriz de pesos espaciales. $S_o = \sum_i \sum_j w_{ij}$; es la suma de todos los pesos, y n es el número de observaciones. El índice presenta valores en un intervalo de (-1 a 1), con una interpretación similar al coeficiente de correlación. Donde, el valor de -1 significa una dispersión perfecta y el valor de 1 indica una agrupación perfecta, es decir existe una alta autocorrelación espacial positiva. Mientras que el valor de 0 significa que no existe autocorrelación espacial.

Para su representación en el diagrama de dispersión de Moran, se utiliza la siguiente expresión simplificada (Luc Anselin, 1995; Luc Anselin et al., 2011):

$$I = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} z_i z_j}{\sum_i z_i^2} = \frac{\sum_i (z_i \times \sum_j w_{ij} z_j)}{\sum_i z_i^2}$$

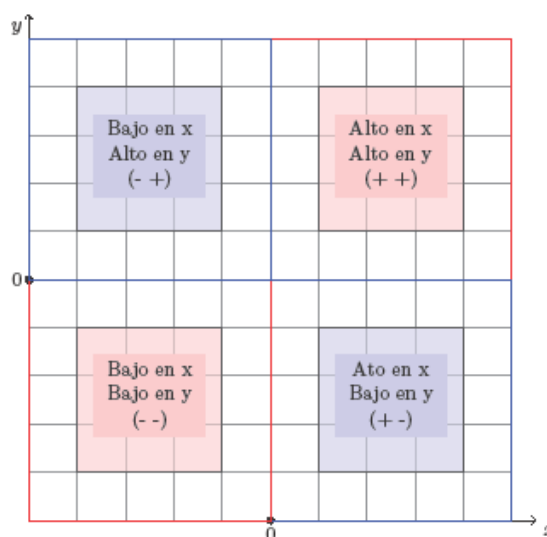
La cual consiste en una gráfica, que representa la variable espacialmente rezagada en el eje y y la variable original en el eje x . La pendiente del ajuste lineal al diagrama de dispersión es igual al Índice de Moran. A su vez, el diagrama de dispersión se descompone fácilmente en cuatro cuadrantes. El cuadrante superior derecho y el cuadrante inferior izquierdo corresponden a una autocorrelación espacial positiva (valores similares en ubicaciones vecinas). Por lo que se suele referir a unidades espaciales con autocorrelación espacial respectivamente alta-alta (puntos calientes) y baja-baja (puntos fríos). En contraste, el cuadrante inferior derecho y superior izquierdo corresponden a

autocorrelación espacial negativa (valores diferentes en ubicaciones vecinas). Se refiere a unidades espaciales con una autocorrelación espacial respectivamente alta-baja y baja-alta (L. Anselin, 1995).

La clasificación de la autocorrelación espacial en cuatro tipos establece la relación entre la autocorrelación espacial global y local. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la clasificación como tal no implica importancia. Para entender la autocorrelación espacial local, se usan los indicadores locales de asociación espacial (LISA), como el I' Moran Local Bivariado. Este indicador establece la relación en los valores de una variable en una ubicación determinada y la media de los valores vecinos para otras variables en esa ubicación, y se calcula mediante:

$$I_{B,i} = c x_i \sum_j w_{ij} y_j.$$

Figura 2. Diagrama de dispersión del I' Moran.



5. Metodología

Se usan los datos de los registros de casos confirmados por COVID-19 según cantón, reportados de forma diaria por el Ministerio de Salud de Costa Rica. Estos pueden ser descargados del repositorio oficial¹ del Observatorio Geográfico en Salud de la Universidad Estatal a Distancia (UNED). La serie de datos comprende un período de registro que va del 15 de marzo al 6 de mayo. Antes del 15 de marzo el Ministerio de Salud no reportaba los datos confirmados por cantón.

Para determinar la autocorrelación espacial se utiliza el I' Moran y el I' Moran Local Bivariado. Estos son implementados mediante un algoritmo en el Programa R con las librerías *dplyr*, *rgdal*, *sp*, *spdep* y *ggplot2* (R Core Team, 2020; Wickham, 2009; Wickham *et al.*, 2018). El nivel de significancia estadística para las pruebas del I' Moran Local Bivariado corresponde a un ($\alpha = 0,05$), con 1.000 permutaciones para la simulación de la distribución aleatoria. Además, se construye una estructura

¹ <http://geovision.uned.ac.cr/oges/index.html>.

de datos ordenados según la propuesta de Wickham (2014), con el fin de optimizar el proceso de cálculo.

Para establecer las relaciones de los vecinos próximos en la matriz espacial de pesos, se considera una lógica de reina. Es decir, se define como vecino de una unidad especial (U_i), a todas aquellas otras unidades (U_j) que compartan un vértice o un segmento. Tal y como propone Kang *et al.* (2020), en muchos casos el número total de casos confirmados está sesgado, por lo que la dependencia espacial puede que no sea observada de manera apropiada. Ante esta situación, se utiliza una transformación logarítmica de los nuevos casos confirmados por cantón en lugar de la cantidad de casos. Para aquellos valores iguales o menores a cero, se ajustan a un valor 0,01 para proceder con la transformación.

Se evalúan seis modelos. En el primer modelo, se considera que la cantidad y la densidad de población son factores claves en el análisis. Lo anterior dado que el COVID-19 se disemina de persona a persona. Mientras que en los modelos 2, 3 y 4, consideran indicadores socio económicos y ambientales, que establecen condiciones intrínsecas de las poblaciones; y que podrían establecer alguna relación con el grado de vulnerabilidad de contagio al virus. El quinto modelo, busca establecer algún patrón con la tasa de vacunación. De acuerdo con la hipótesis de que las personas a las que se les ha aplicado ciertas vacunas pueden ser menos propensas a presentar síntomas severos o son asintomáticos. Por último, el sexto modelo, trata de asociar la densidad de la red de transporte con la cantidad de nuevos contagios. Lo anterior basado en que en las ciudades con una alta densidad y flujo de transporte supone un aumento a la exposición y por consiguiente al contagio.

Los datos para generar los diferentes modelos son de fuentes oficiales. En el caso de los datos demográficos se usan las cifras oficiales proyectadas al año 2020 por el INEC. Los indicadores socioeconómicos utilizados son: el Índice de Desarrollo Social Cantonal (IDS), que se obtiene del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. El Índice de Progreso Social Cantonal (IPS) del 2019, desarrollado por el Centro Latinoamericano para la Competitividad y Desarrollo Sostenible (CLACDS) de INCAE Business School y la organización Social Progress Imperative. Este mide el desempeño social y ambiental de 81 cantones de Costa Rica, y se basa en 53 indicadores sociales y ambientales también de fuentes públicas (Esquivel, 2019).

Con respecto, a los datos de la tasa de vacunación se utilizan las estadísticas actuariales emitidas por la CCSS en el año 2018. Además, la información espacial oficial asociada a la delimitación política administrativa de Costa Rica se obtuvo del geoportal del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT). Mientras que para el análisis la variable de densidad vial por cantón se estima a partir de los datos disponibles de la red vial nacional, también disponible en el SNIT.

6. Resultados

En la gráfica 2 se muestra la serie de tiempo de los casos confirmados totales, los casos recuperados, las defunciones y los casos activos. En Costa Rica, durante los primeros dos meses de la pandemia el

mayor número de casos activos ocurrió el día 16 de abril del 2020. De forma paulatina los casos activos empezaron a disminuir hasta el 2 de mayo, en el que por primera vez la cantidad de personas recuperadas superó la cifra de las personas enfermas. De igual manera en la figura 3, se observa que la mayor concentración de casos confirmados se ubica en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica.

Figura 3. Costa Rica: Casos confirmados acumulados de COVID-19 al 6 de mayo del 2020.

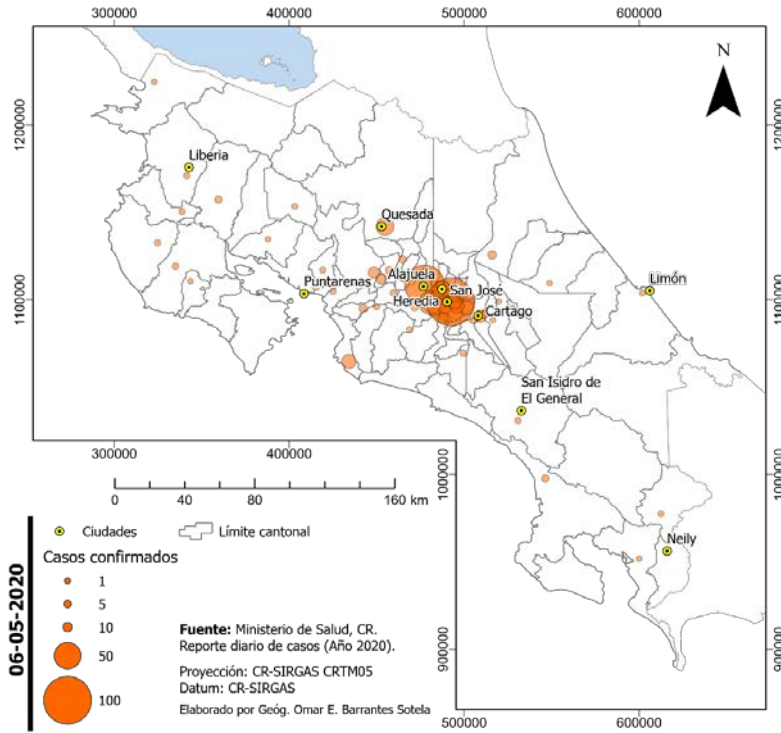
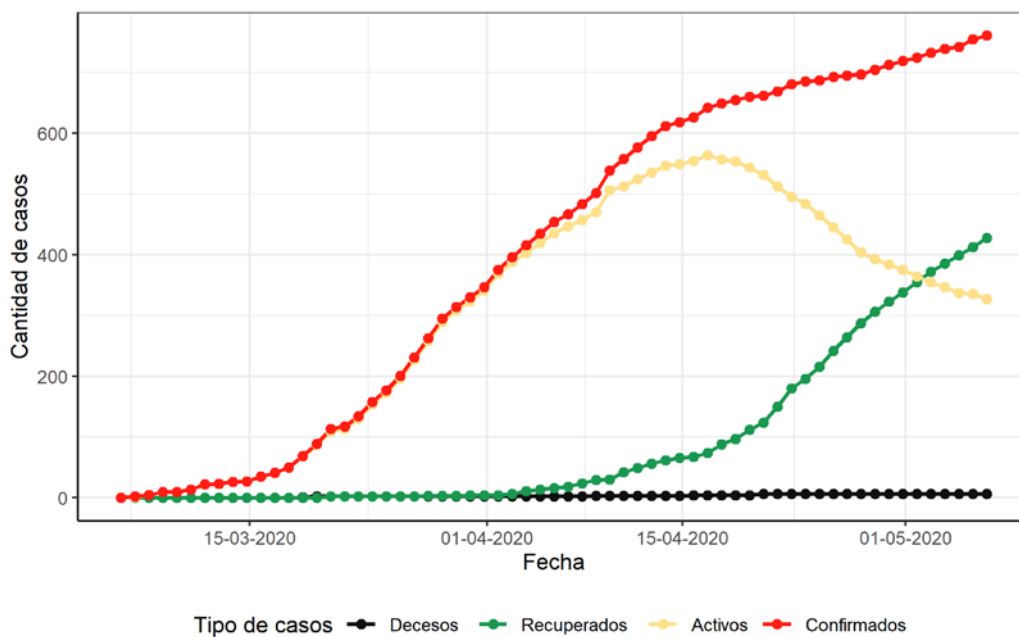
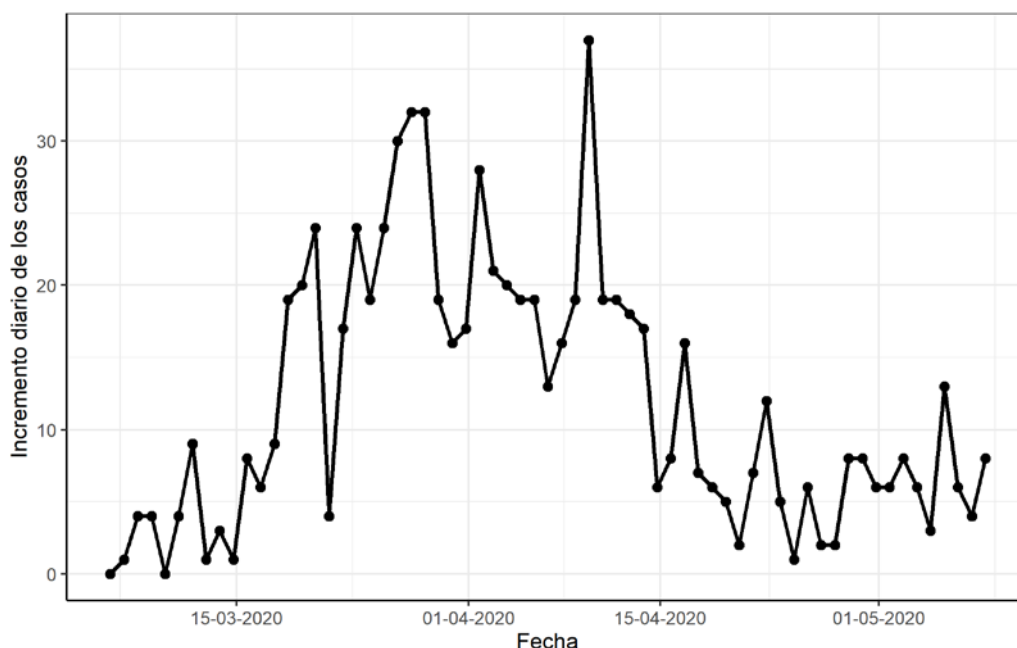


Gráfico 2. Costa Rica: Evolución de la enfermedad COVID-19



Fuente: (OGES, 2020). Datos reportados de la situación nacional del COVID-19.

Gráfico 3. Costa Rica: Incremento diario de los casos de la enfermedad COVID-19

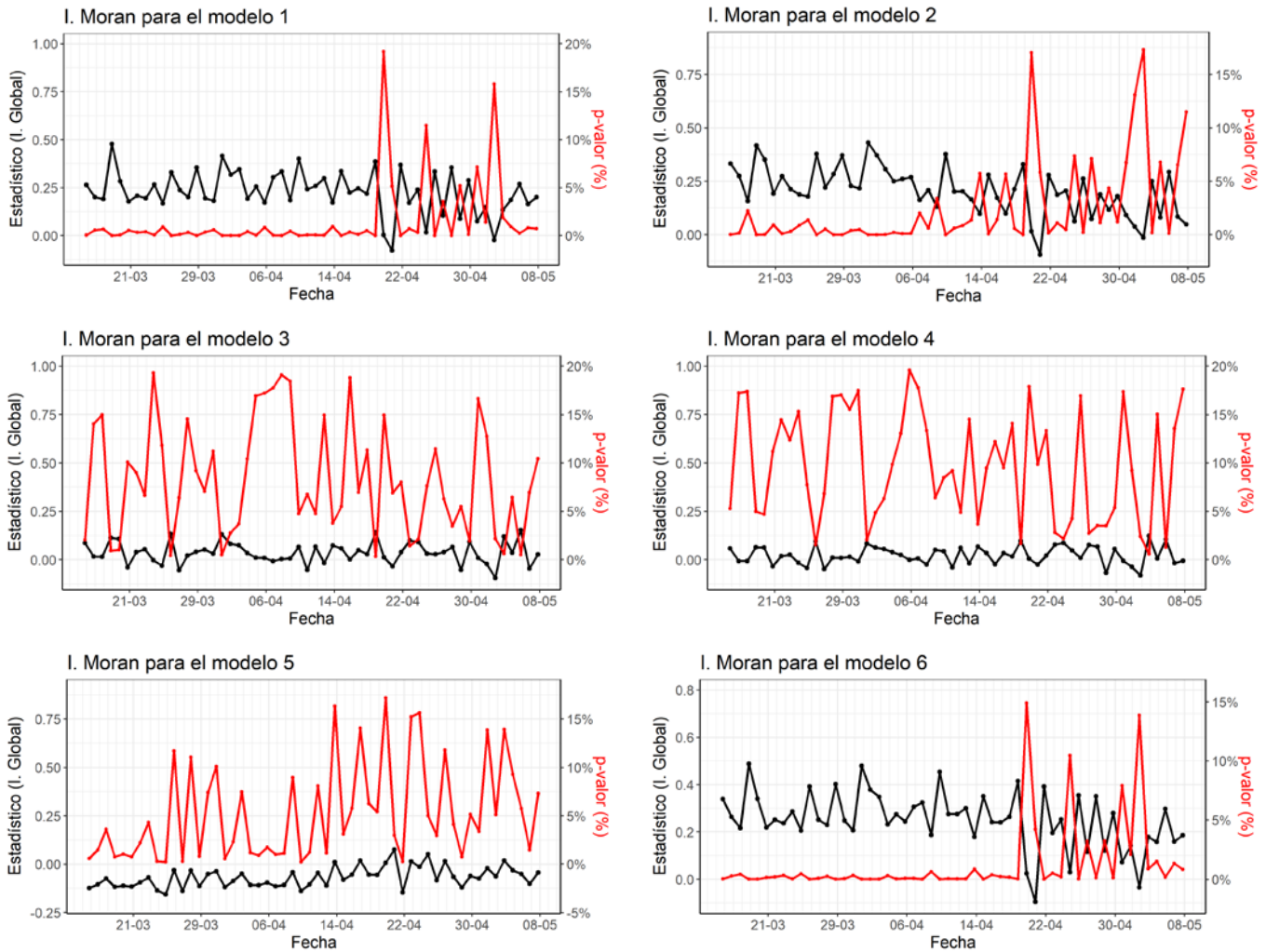


Fuente: (OGES, 2020). Datos reportados de la situación nacional del COVID-19.

En el Gráfico 3 se muestra la tendencia del incremento diario de los nuevos casos confirmados. El mayor pico se registra el 9 de abril, con 37 casos nuevos. Posterior a esa fecha se observa una disminución de los nuevos casos, con una media de 12 y una desviación estándar de 9 casos.

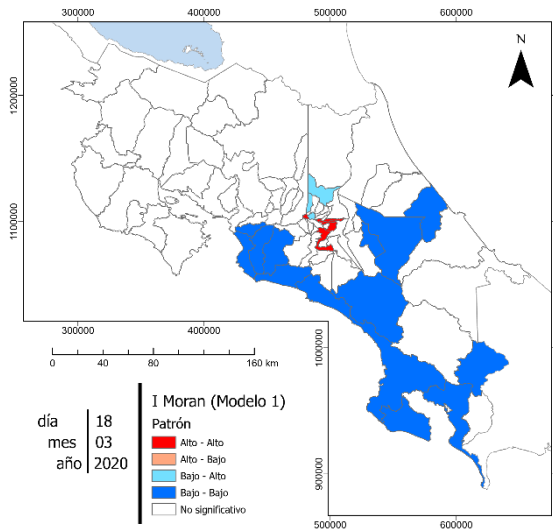
Al examinar el gráfico 3 los resultados diarios del I' Moran Global y los p-valores en los seis modelos, con una matriz espacial de pesos en lógica de reina, se establece que los modelos 1 y 6 mantienen la misma tendencia. Además, del inicio del período hasta el día 18 de abril, el p-valor se mantiene entre valores cercanos 0, lo que es un claro indicio de dependencia espacial. Sin embargo, posterior a esa fecha se observa una fluctuación de p-valor que ocurre cada 2 días. En el caso del modelo 2, este tiene un comportamiento similar, pero la fluctuación empieza a ocurrir en el día 13 de abril, es decir 5 días antes del modelo 1 y 6. Para los modelos 3, 4 y 5, se establece que la aleatoriedad es tal que no existe indicio de dependencia espacial entre las variables analizadas.

Gráfico 4. Estadísticos del Índice de Moran y sus p-valores

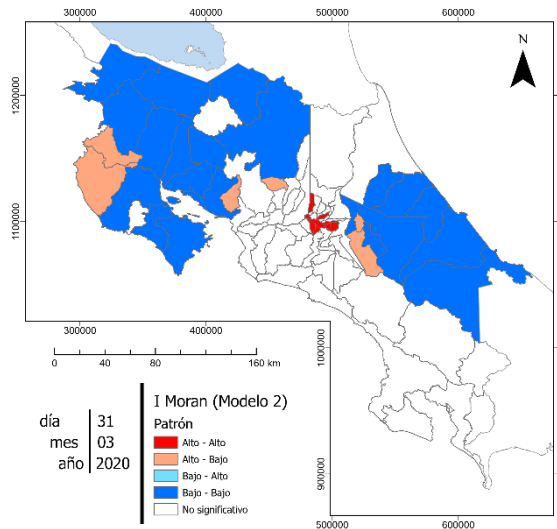


El máximo valor de I' Moran Global en los modelos 1, 2 y 6 es de 0,478, 0,430 y 0,488, con valores inferior de 0,05 en el p-valor. Es importante recordar que mientras más elevado de 0 sea el valor del I' Moran, más fuerte es la dependencia espacial entre las variables del modelo. Dado los valores de I' Moran, se puede afirmar que existe una relación de asociación espacial moderada entre las variables con tendencia de agrupamiento. Mediante los mapas de significancia de los indicadores locales de asociación espacial del I' Moran Bivariado (figura 4), se examina el proceso de difusión del fenómeno en las unidades espaciales según las fechas en las que ocurre los valores más elevados del I' Moran Global.

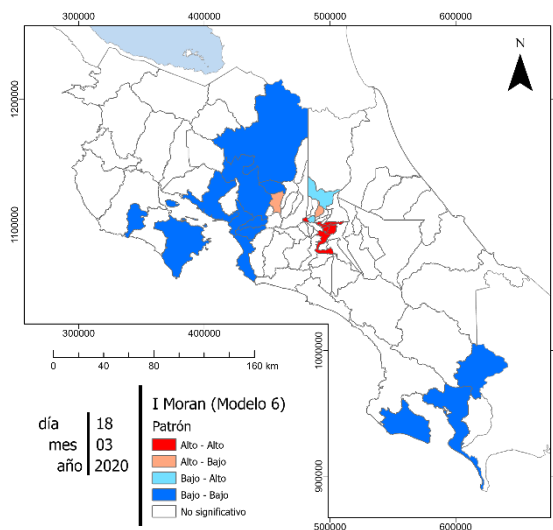
Figura 4. Mapas de Significancia según LISA Bivariado



a) Modelo 1. Densidad Población | Incremento de casos.



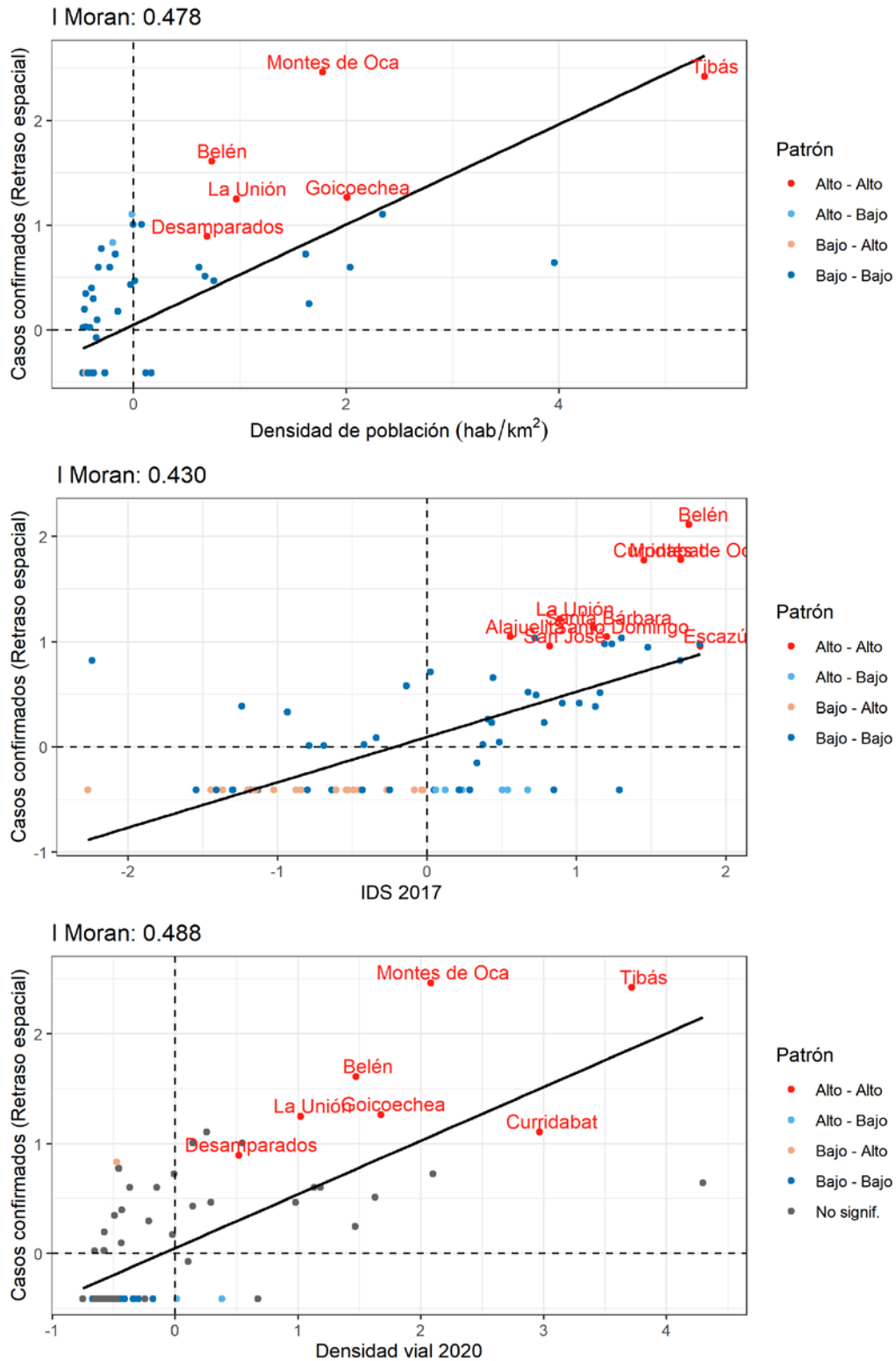
b) Modelo 2. IDSC | Incremento de casos.



c) Modelo 6. Densidad Red Vial | Incremento de Casos.

La figura 4 a) y en el gráfico 5 a) corresponde al modelo 1 y se establece que de la asociación de las variables de densidad de población y del incremento de los casos confirmados, existe una agrupación en los cantones de Desamparados, La Unión, Belén, Goicoechea, Montes de Oca y Tibás. Este último cantón es el que presenta el mayor I' Moran Local, pero en el que sus vecinos también presentan valores elevados, es decir ocurre un foco caliente entre estos cantones.

Gráfico 5. Diagramas de dispersión de los Indicadores Locales de Asociación Espacial del I' Moran



También, se establece un foco frío en los cantones de Puriscal, Turrubares, Pérez Zeledón, Orotina, Jiménez, Turrialba, Osa, Quepos, Golfito, Coto Brus, parrita, Garabito y Matina. Estos presentan

desde ningún caso nuevo la con la una baja densidad poblacional con respecto a sus cantones vecinos.

De la misma forma, los resultados locales para el modelo 2 se pueden observar en la figura 4 b) y en el gráfico 5 b). La agrupación ocurre el 31 de marzo del 2020 y la componen los cantones de Escazú, Belén, Montes de Oca, Curridabat, Santo Domingo, Santa Bárbara, La Unión, San José y Alajuelita. Estos cantones presentan un Índice de Desarrollo Cantonal muy elevado o algo elevado (Por encima de 65 % de un 100% posible) con respecto a sus vecinos, además presentan una tendencia moderada en los nuevos casos detectados por COVID-19. En este caso lo interesante es la agrupación de puntos fríos que se da en los cantones al este y oeste de la GAM. Es así como en estos cantones no presentaban nuevos casos de COVID, pero además el IDS se mantiene por debajo del 60% de 100 % posible.

Para el modelo 6 (figura 4 c) y en el gráfico 5 c), la agrupación analizada se conforma en la misma fecha y corresponden a los mismos cantones establecidos en el modelo 1, aunque en orden distinto. La principal diferencia corresponde a los cantones en agrupados en el cuadrante III (puntos fríos).

7. Discusión

Los diferentes modelos de autocorrelación espacial indican que existe una asociación positiva entre la cantidad de nuevos casos confirmados por COVID-19 de los cantones que presentan una alta densidad de la población y de la densidad de la red vial, así como el índice de desarrollo social. Las agrupaciones de puntos calientes ocurren principalmente en la Gran Área Metropolitana, esto puede implicar que la movilización de las personas en áreas densamente pobladas aumenta posibilidad de la presencia de nuevos casos, incluso en una etapa temprana de la pandemia (etapa 3 para Costa Rica).

En Costa Rica se tomaron acciones concretas para el manejo de la pandemia desde la declaración de emergencia nacional sanitaria el 16 de marzo del 2020. Algunas de las medidas fueron una rigurosa restricción vehicular, cierre de fronteras, suspensión de eventos masivos, suspensión de las lecciones en los centros educativos y privados, disminución del aforo a locales o el cierre total de ciertas actividades económicas, también se acordó el cierre de los espacios públicos y recreativos. De igual manera el Minsa trabajó en una serie de protocolos, como la definición más amplia de un caso sospechoso, que incluye criterios más laxos para determinar la necesidad de aplicar las pruebas de COVID-19, y es más amplia a la que se aplica en otros países. Todas estas medidas fueron incrementándose, hasta alcanzar las máximas restricciones durante la Semana Santa (del 5 al 12 de abril).

Se conoce que la persona contagiada por COVID-19 en caso de presentar síntomas lo hace a los 5 días posterior a la infección, y el resultado de la prueba puede tardar entre 24 horas después de realizada la misma, con un margen máximo de 48 horas para la notificación a la persona, es posible asumir un período de 7 días para la detección de un caso positivo. Al tener en cuenta lo anterior y al

observar la fecha en que tanto el modelo 1, 2 y 6 empieza a fluctuar en su valor de I' Moran y el p-valor (13 y 18 de abril), al restar los 7 días considerados prácticamente coincide con el inicio y final de las máximas restricciones aplicadas en el transcurso de la Semana Santa. Todo apunta a que las medidas restrictivas aplicadas pueden explicar, el que no exista una dependencia espacial constante en el proceso de difusión de la enfermedad.

Otro aspecto relevante de mencionar es que los cantones con nuevos casos registrados ocurrieron primero en aquellos con valores relativamente altos en los indicadores de desarrollo social. Esto podría ser un indicio de que las primeras personas que contrajeron el virus tendrían los medios para viajar al extranjero o que por su círculo social (familiar o laboral) podrían relacionarse con personas que viajaron al extranjero, y aumentar los casos de nuevos contagios en esos cantones.

8. Hallazgos

A pesar de que Costa Rica se encuentra en una etapa temprana de la pandemia, se logra demostrar que existe dependencia espacial en 3 de los 6 modelos propuestos. Tanto, las variables de densidad poblacional y densidad de la red vial muestran un comportamiento similar de dependencia espacial con respecto a la cantidad de nuevos casos reportados por cantón.

Además, al examinar la línea de tiempo y establecer una relación de las medidas sanitarias implementadas por el país y la ausencia de dependencia espacial, llama la atención que está ocurre posterior en las fechas en las que ocurrieron las medidas más estrictas y restrictivas.

Si bien se consideran 6 variables principales en los modelos, todas se examinan bajo la misma matriz espacial de pesos (lógica reina), por lo que es posible, para futuras investigaciones, aplicar un criterio de distancia euclidiana en el análisis o diferentes definiciones de lo que se puede considerar vecino de una unidad espacial como el cantón.

Con respecto a los modelos 3, 4 y 5 si bien no establecen una asociación espacial evidente, las variables que los conforman pueden ser considerados para en otra etapa de la pandemia o para otro tipo de asociación. Además, se espera continuar con el monitoreo y la inclusión de nuevas variables que puedan determinar una relación o asociación espacial en los procesos de dispersión de la enfermedad.

Agradecimientos

Los autores desean expresar el más sincero agradecimiento y admiración para todos aquellos profesionales, que con su ardua labor protegen la salud de la población costarricense.

9. Referencias bibliográficas

- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association – LISA. *Geographical Analysis*, 27, 93–115.
- Anselin, Luc. (1995). Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, 27, 2, 93–115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>

- Anselin, Luc, Assunção, R., Berke, O., Blanchet, G., Blankmeyer, E., Carvalho, M., Christensen, B., Dormann, C., Halbersma, R., Krainski, E., Legendre, P., Li, H., Ma, J., Millo, G., Ono, H., Peres-neto, P., Piras, G., Tiefelsdorf, M., Yu, D., & Rogerbivandnhhno, M. R. B. (2011). *Package 'spdep'*.
- CCSS. (2020). *Estadísticas actuariales por áreas de salud y cantón*. Recuperado de https://www.ccss.sa.cr/est_areas_cantones
- Cliff, A., & Ord, J. K. (1973). *Spatial Autocorrelation*, London, Pion
- Esquivel, M. (2019). *Nuevo Índice de Progreso Social Cantonal*. Recuperado de <https://www.incae.edu/es/blog/2019/10/01/nuevo-indice-de-progreso-social-cantonal.html>
- Kang, D., Choi, H., Kim, J. H., & Choi, J. (2020). Spatial epidemic dynamics of the COVID-19 outbreak in China. *International Journal of Infectious Diseases: IJID: Official Publication of the International Society for Infectious Diseases*, 94(January), 96–102. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.03.076>
- Minsa. (2020a). *Dos meses desde el primer caso de COVID-19 en Costa Rica: 60 días de un abordaje científico de la emergencia*. Recuperado de <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/centro-de-prensa/noticias/741-noticias-2020/1650-dos-meses-desde-el-primer-caso-de-covid-19-en-costa-rica-60-dias-de-un-abordaje-cientifico-de-la-emergencia>
- Minsa. (2020b). *Segundo caso sospechoso de COVID-19*. Reccuperado de <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/centro-de-prensa/noticias/741-noticias-2020/1556-segundo-caso-sospechoso-de-covid-19>
- Moran, P. A. P. (1948). The Interpretation of Statistical Maps. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 10(2), 243–251. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1948.tb00012.x>
- OECD. (2017). *Estudios de la OCDE sobre los Sistemas de Salud: COSTA RICA*. http://www.oecd.org/els/health-systems/Estudios-OCDE-sobre-los-Sistemas-de-Salud_Costa-Rica_Evaluación-y-Recomendaciones.pdf
- OGES. (2020). *Situación Nacional COVID-19*. <http://geovision.uned.ac.cr/oges/index.html>
- R Core Team. (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Recuperado de <https://www.r-project.org/>
- Rodríguez, I. (2020). Superdiseminación del nuevo coronavirus: ¿Qué hace que un paciente con covid-19 pueda contagiar a decenas? *La Nación*. Recuperado de <https://www.nacion.com/ciencia/salud/la-superdiseminacion-que-hace-que-un-paciente/SBAWYOLBFZFI7CE3YLMRJR5V5QQ/story/>
- Rushon, G. (2000). GIS to Improve Public Health. *Transactions in GIS*, 4(1), 1.
- Sáenz, M. del R., Acosta, M., Muiser, J., & Bermúdez, J. L. (2011). Sistema de salud de Costa Rica.

Salud Publica de Mexico, 53(SUPPL. 2).

- Tiefelsdorf, M. (2002). The Saddlepoint Approximation of Moran's I's and Local Moran's Ii's Reference Distributions and Their Numerical Evaluation. *Geographical Analysis*, 34(3), 187–206. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2002.tb01084.x>
- Truong, P. N., & Stein, A. (2019). Model-based small area estimation at two scales using Moran's spatial filtering. *Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology*, 31, 100303. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2019.100303>
- Wickham, H. (2009). Ggplot2. In *Elegant Graphics for Data Analysis*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-98141-3>
- Wickham, H. (2014). Tidy Data. *Journal of Statistical Software*, 59(10). <https://doi.org/10.18637/jss.v059.i10>
- Wickham, H., François, R., Henry, L., & Müller, K. (2018). *dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. Recuperado de <https://cran.r-project.org/package=dplyr>
- Zhou, F., Yu, T., Du, R., Fan, G., Liu, Y., Liu, Z., Xiang, J., Wang, Y., Song, B., Gu, X., Guan, L., Wei, Y., Li, H., Wu, X., Xu, J., Tu, S., Zhang, Y., Chen, H., & Cao, B. (2020). Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *The Lancet*, 6736(20), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30566-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30566-3)



Esta obra se encuentra bajo Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0. Internacional. Reconocimiento - Permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas siempre y cuando reconozca y cite al autor original. No Comercial – Esta obra no puede ser utilizada con fines comerciales, a menos que se obtenga el permiso.