

## COMUNICACIÓN BREVE

# Evaluación de la accesibilidad espacial a los puestos de la campaña de vacunación antirrábica en Bogotá, Colombia

Stefany Monsalve<sup>1,2</sup>, Daniel Santiago Rucinke<sup>1,2</sup>, Luis Polo<sup>1</sup>, Gina Polo<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia

<sup>2</sup> Instituto Técnico de Educação e Controle Animal, Curitiba, Brasil

<sup>3</sup> Laboratorio de Epidemiología e Bioestadística, Departamento de Medicina Veterinária y Preventiva e Saúde Animal, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

<sup>4</sup> Grupo de Investigación en Epidemiología y Salud Pública, Universidad de La Salle, Bogotá, D.C., Colombia

**Introducción.** En Bogotá se desconoce el acceso que los habitantes tienen a los diferentes servicios de salud, lo que dificulta la planeación de las estrategias de prevención.

**Objetivo.** Estimar la accesibilidad espacial a los puestos de vacunación de la campaña antirrábica realizada en 2011 en Bogotá, y comparar la eficiencia de dos metodologías de estimación de la cobertura espacial.

**Materiales y métodos.** La accesibilidad espacial se determinó mediante el uso del modelo de área de influencia fluctuante de dos pasos (2SFCA). La cobertura espacial se calculó mediante la creación de zonas circulares de influencia utilizando distancias euclidianas y zonas irregulares aplicando el algoritmo de Dijkstra en las vías de la ciudad.

**Resultados.** La cobertura espacial del programa fue de 78,4 % al usar las zonas circulares de influencia y de 60,2 % con el algoritmo de Dijkstra. El análisis de accesibilidad espacial reveló que la zona norte de la ciudad y algunas zonas de la periferia presentaban menor accesibilidad al programa. Esta área periférica es una zona crítica por tratarse de una interfaz entre la zona rural y la urbana, lo cual representa un riesgo para la reaparición de la rabia en la ciudad.

**Conclusiones.** El modelo de accesibilidad espacial 2SFCA es una herramienta eficaz para identificar áreas aisladas, evaluar de forma más precisa el uso de los servicios de salud y proporcionar bases para su localización estratégica. Los resultados del análisis resaltan la necesidad de la vigilancia y la intervención en las áreas con bajo acceso a los servicios.

**Palabras clave:** rabia, vacunación, accesibilidad a los servicios de salud, perros, gatos.

doi: <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v36i3.3074>

## Assessment of the spatial accessibility to the rabies vaccination campaign in Bogotá, Colombia

**Introduction:** The access of Bogota's population to health services is unknown, and this hinders the planning of health prevention strategies.

**Objective:** To estimate the spatial accessibility to the vaccination sites of the 2011 campaign against rabies in Bogotá, Colombia, and to compare its efficiency with two other spatial coverage methodologies.

**Materials and methods:** Spatial accessibility was determined using the two-step floating catchment area model (2SFCA). We calculated spatial coverage by establishing circular buffer zones using Euclidean distances, and irregular zones around the vaccination sites using Dijkstra's algorithm on the city's street network.

**Results:** The spatial coverage of the program was 78.4% using the circular buffer zones, and 60.2% using Dijkstra's algorithm. The spatial accessibility analysis revealed that the periphery of the city had the lowest accessibility to the program. This peripheral area is a very critical zone because it is an urban-rural interface, which represents a risk for the re-introduction of rabies in the city.

**Conclusions:** The 2SFCA spatial accessibility model is an effective tool to identify isolated areas, evaluate health services use more precisely, and provide basis for their strategic location. We concluded that this approach had the potential to improve resource efficiency when planning rabies control programs in urban environments such as Bogotá. The findings emphasize the need for surveillance and intervention in isolated areas with low access to services.

**Key words:** rabies, vaccination, health services accessibility, dogs, cats.

doi: <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v36i3.3074>

### Contribución de los autores:

Gina Polo: diseño del experimento

Stefany Monsalve, Daniel Santiago Rucinke, Gina Polo: realización del experimento y análisis de los datos

Todos los autores participaron en la escritura del manuscrito.

Colombia cuenta con un “Plan estratégico para la eliminación de la rabia humana transmitida por el perro y el control de la rabia humana transmitida por murciélagos” desde el 2006 (1). Sin embargo, se continúan presentando casos de rabia en animales y humanos en todas las regiones del país. El último brote de rabia transmitida por perros fue ocasionado por la variante Ag1 del virus en Santa Marta entre el 2006 y el 2008, periodo en el que se presentaron cuatro casos en humanos y 28 casos en perros (2).

En Bogotá, la capital del país, las campañas de vacunación para perros y gatos han logrado controlar la incidencia de casos de rabia, a pesar de coberturas nacionales de vacunación antirrábica que oscilan entre 45 y 63 % (3). En el 2007, el porcentaje de perros con evidencia serológica de vacunación contra el virus de la rabia en Bogotá fue de 24,5 %, por lo cual se concluyó que, en caso de un brote de la enfermedad causado por la inmigración de perros infectados en cualquier otra región del país, el virus podría transmitirse fácilmente entre la población canina y convertirse en un grave problema de salud pública (4).

A pesar de esto, desde 1982 no se han reportado casos de rabia humana en la capital y, desde el 2001, tampoco en animales (5). Debe anotarse, sin embargo, que en el 2012 se notificó un caso en una persona procedente de la región oeste del país en quien se confirmó la infección con la variante AgV4 del virus (6). En este contexto, el promover y garantizar el acceso a las campañas de vacunación en todos los grupos poblacionales debe ser una prioridad para los servicios de salud en todas las ciudades del país.

Para reubicar estratégicamente los puestos de vacunación contra la rabia ya existentes, o definir la localización de otros nuevos, es indispensable que previamente se determinen los grupos sociales y las áreas con poco acceso al servicio (7). La accesibilidad a los servicios se define como la facilidad relativa para llegar al lugar de prestación de un determinado servicio desde una determinada ubicación (8,9), lo cual depende de factores como la disponibilidad de recursos, el tamaño de la

población, la distancia entre el lugar de prestación del servicio y la población, las barreras geográficas y el conocimiento que las personas tienen del servicio, entre otros (8-10).

Se han propuesto diversos métodos para estimar el acceso espacial a los servicios, entre los cuales pueden mencionarse el modelo de disponibilidad regional (11), el método de estimación de la densidad de Kernel (12), los modelos gravitacionales (13) y los modelos de área de influencia fluctuante (10). Estos últimos han sido los más empleados para evaluar el acceso a los servicios de salud humana (8,14-17) y animal (8,18).

En este estudio de evaluación de la accesibilidad espacial a los puestos de vacunación en la ciudad de Bogotá, se utilizó el método de área de influencia fluctuante de dos pasos (*Two-Step Floating Catchment Area*, 2SFCA). Las distancias se calcularon utilizando la red de transporte de la ciudad mediante el método del camino más corto y conforme al algoritmo de Dijkstra. Este método se comparó con el método clásico de análisis de cobertura espacial que se ha venido utilizando para evaluar el uso de diferentes servicios públicos.

Se espera que el estudio traiga beneficios directos a la comunidad al determinar áreas aisladas del programa de vacunación antirrábica para perros y gatos, y proporcionar bases para la reubicación estratégica de puestos de vacunación, lo que extrapolado podría contribuir, además, a la optimización de otros programas de salud en América Latina.

## Materiales y métodos

### Área de estudio y bancos de datos

El área de estudio fue la zona urbana de Bogotá que en el momento del estudio contaba con 7'347.795 habitantes (19), 1'725.792 domicilios (20), 684.858 perros y 144.525 gatos (21). Las direcciones de los 236 puestos de vacunación antirrábica en la campaña de octubre del 2011 se obtuvieron en el sitio en internet de la Secretaría Distrital de Salud (22). La georreferenciación de los puestos se hizo mediante el programa Batch Geocode® (23,24). Se georreferenciaron 218 (90,8 %) de los puestos de vacunación, ya que no se obtuvo la dirección de los 22 restantes (cuadro suplementario, disponible en: doi: <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v36i3.3074>).

La distribución espacial de la población total de perros y gatos se estableció mediante la creación de puntos aleatorios seleccionados a partir del

#### Correspondencia:

Gina Polo, Avenida Prof. Dr. Orlando Marques de Paiva, 87 CEP 05508 270, Cidade Universitária, São Paulo, Brasil  
Teléfono: (11) 3091 9937 y 3091 1393  
gina@vps.fmvz.usp.br e imaginapolo@gmail.com

Recibido: 05/10/15; aceptado: 13/04/16

mapa de georreferenciación de los domicilios de la ciudad elaborado con el programa ArcGis 10.1®. El número de perros y gatos se obtuvo a partir de estimaciones previas de su población por localidades (21); la aleatoriedad fue una consecuencia de la falta de conocimiento de la ubicación real de la población animal.

**Cálculo de la cobertura espacial del programa de vacunación antirrábica**

Para calcular la cobertura espacial de los puestos de vacunación antirrábica en la ciudad, se usaron dos metodologías. La primera consistió en la creación de zonas circulares de influencia alrededor de los puestos de vacunación utilizando distancias euclidianas, y la segunda, en el establecimiento de zonas irregulares alrededor de los puestos de vacunación mediante el uso de la red de transporte de la ciudad utilizando el algoritmo de Dijkstra, el cual se basa en el método del camino más corto. En ambos casos se determinó un radio de 800 m, distancia de desplazamiento considerada razonable para el traslado a pie de una persona en busca de un servicio de salud (8,23).

La proporción de la población cubierta por cada una de estas dos áreas de servicio se comparó mediante la prueba de ji al cuadrado. Los valores de las distancias de desplazamiento calculadas con el modelo de zonas de influencia circulares y con zonas irregulares hasta el puesto de vacunación más cercano se determinaron a lo largo de la red de transporte y se compararon usando el test de Wilcoxon. Los análisis se hicieron con el programa R, versión 2.14.0, y un nivel de significación de 5 %.

**Cálculo de la accesibilidad espacial al programa de vacunación antirrábica**

Para determinar la accesibilidad espacial, se utilizó el modelo de área de influencia fluctuante de dos pasos (2SFCA) basado en una función gaussiana con coeficiente de fricción (8,9,18,25). El primer paso del modelo 2SFCA consistió en generar para cada puesto de vacunación,  $j$ , un área de servicio delimitada por una distancia límite,  $d_0$ . Posteriormente, se ubicó toda la población  $k$  dentro de la distancia  $d_0$  y se asignó a cada  $k$  un peso de Gauss,  $G$ , para computar, así, la razón entre servicio y población,  $R_j$ , de cada puesto de vacunación:

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in (d_{kj} \leq d_0)} P_k G(d_{kj}, d_0)}, \quad (1)$$

donde  $S_j$  es la capacidad, representada por las dosis de vacunación de cada puesto de vacunación  $j$ ,  $P_k$  es la población  $k$  dentro del área de servicio  $d_0$ ,  $d_{kj}$  es la distancia entre la población  $k$  y los puestos de vacunación  $j$ , y  $G$  corresponde al peso de Gauss determinado por:

$$G(d_{kj}, d_0) = \begin{cases} \frac{e^{-\beta(d_{kj}/d_0)^2} - e^{-\beta}}{1 - e^{-\beta}}, & \text{si } d_{kj} \leq 0, \\ 0, & \text{si } d_{kj} > 0, \end{cases} \quad (2)$$

donde  $\beta$  es el coeficiente de fricción que representa la facilidad de desplazamiento a pie en condiciones de carretera (8,18). En este estudio se usó un valor de 0,5 por haberse determinado en estudios dinámicos previos como el valor adecuado para representar la facilidad de desplazamiento a pie en áreas urbanas (26).

El segundo paso consistió en generar un área de servicio para cada domicilio,  $i$ , y buscar todos los puestos de vacunación,  $l$ , dentro del área determinada por  $d_0$ , asignando un peso de Gauss diferente a cada puesto. Después se computaron estos pesos con las razones entre servicio y población para obtener la accesibilidad espacial,  $A_i$ , de cada domicilio de la población,  $i$ :

$$A_i = \sum_{k \in (d_{ki} \leq d_0)} R_j G(d_{ki}, d_0), \quad (3)$$

donde  $l$  se refiere a todos los puestos de vacunación dentro del área de servicio de la población  $i$ ; todas las demás anotaciones son las mismas que en la ecuación 1. La figura 1 muestra un diagrama de flujo de la metodología descrita.

**Resultados**

En la campaña de vacunación antirrábica de octubre de 2011 en Bogotá, se distribuyeron 240 puestos en los que se aplicaron 388.157 vacunas, con 1.617 dosis aplicadas por puesto (27). La distribución espacial de los puestos de vacunación antirrábica con respecto a la densidad de la población de perros y gatos se muestra en la figura 2, en la cual puede observarse que la mayor parte de los puestos de vacunación se encontraba en la zona suroeste de la ciudad, donde había una mayor densidad de gatos y perros. Asimismo, se observó una menor cantidad de puestos de vacunación en la zona norte de la ciudad, que, aunque no tenía la mayor cantidad de gatos y perros, sí contaba con algunas zonas en las que la densidad de la población de estos animales era alta o media.

Se calculó que la cobertura espacial del programa fue de 78,4 % al usar las zonas circulares de influencia y de 60,2 % con las distancias a lo largo

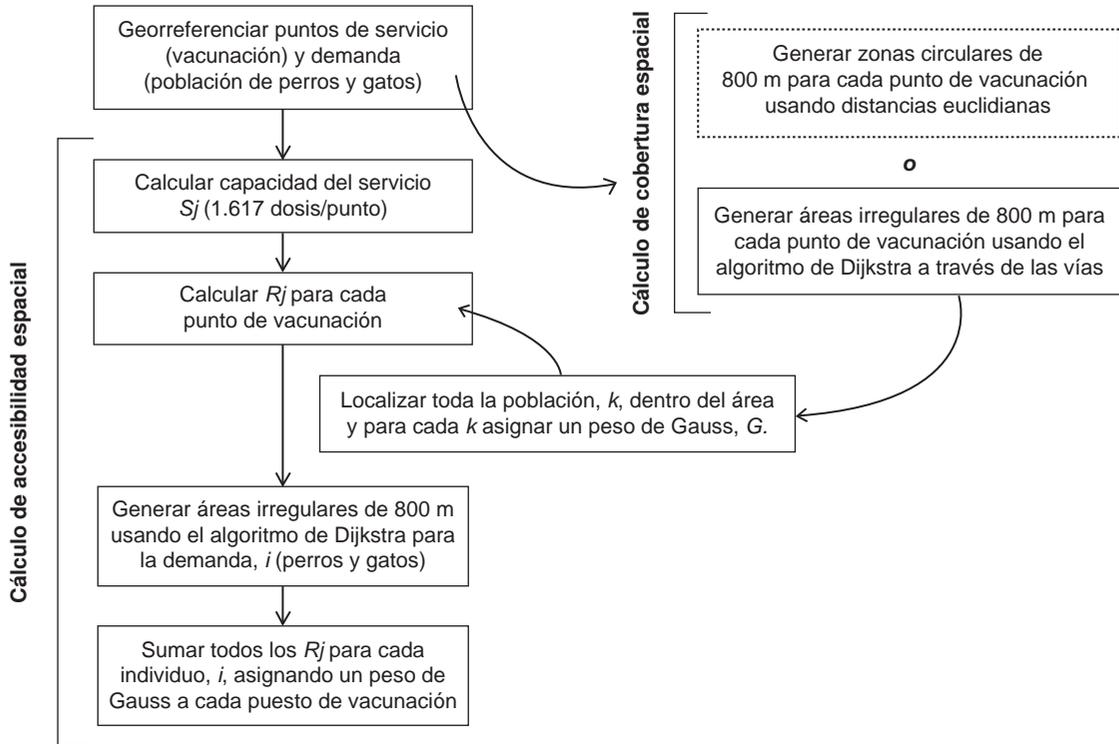


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología descrita

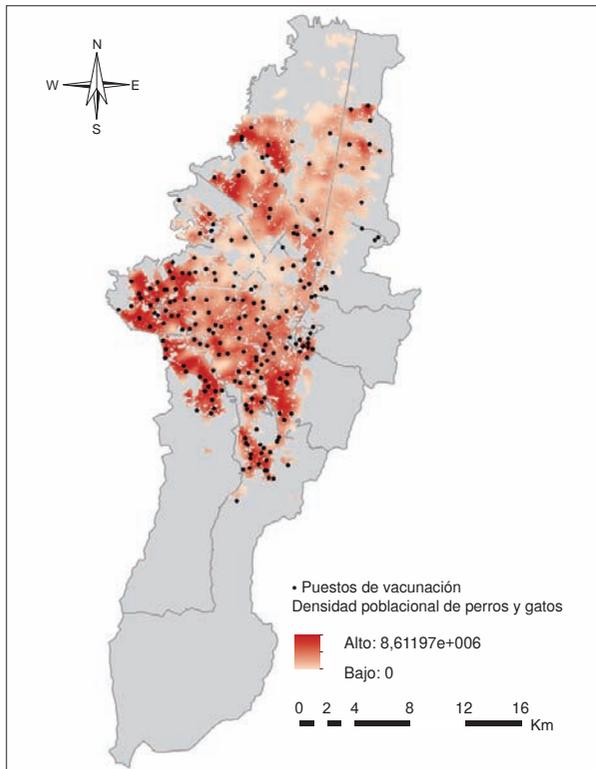
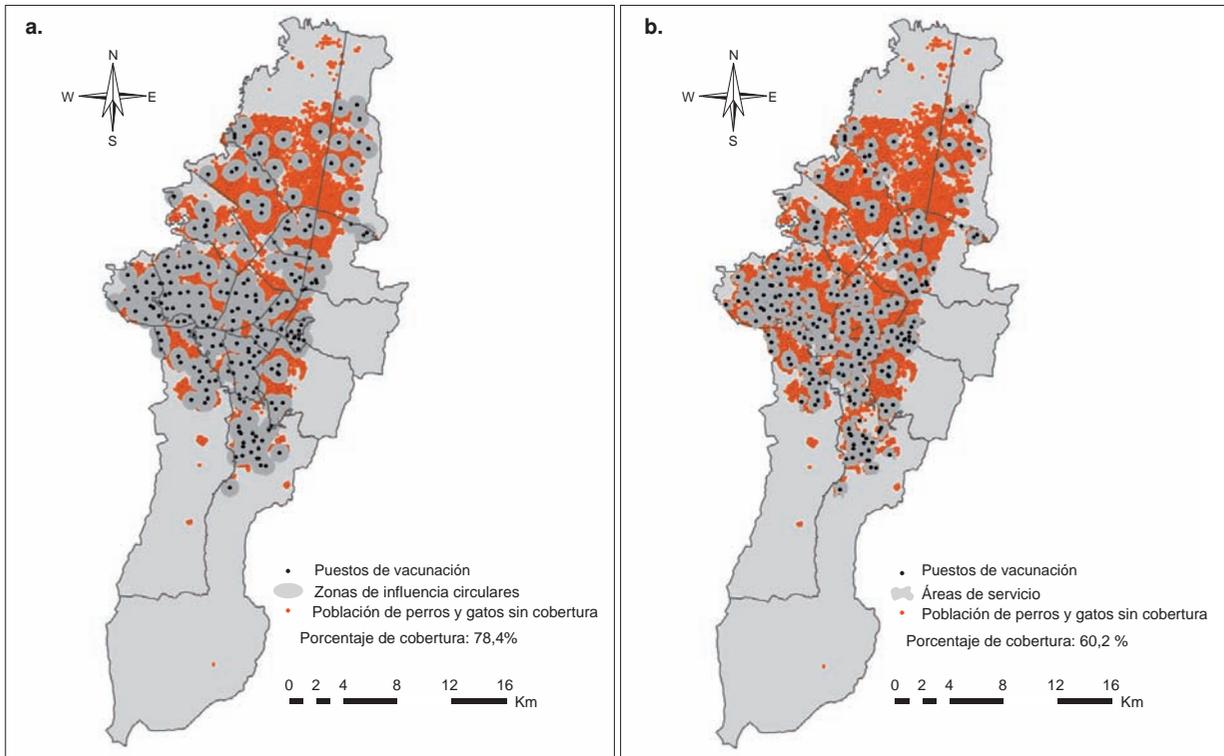


Figura 2. Distribución espacial de los puestos de vacunación antirrábica en relación con la densidad poblacional de perros y gatos en Bogotá

de la red de transporte de la ciudad (figura 3); en ambas situaciones hubo una mayor cobertura en la zona sur de la ciudad.

Así, el número de animales bajo cobertura del programa de vacunación fue significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) en las áreas de servicio calculadas mediante las distancias euclidianas (lineales) que en aquellas creadas mediante el algoritmo de Dijkstra a lo largo de la red de transporte. La distancia media derivada del camino más corto a través de la red de transporte para propietarios de perros fue de 562,53 m en las áreas circulares y de 469,83 m en las áreas irregulares derivadas del algoritmo de Dijkstra. Para los propietarios de gatos la distancia media fue de 560,71 m en las áreas circulares y de 468,83 m en las áreas derivadas del algoritmo de Dijkstra.

Se encontró que el desplazamiento de las personas con perros y gatos fue mayor en las áreas circulares ( $p < 0,05$ ). En la figura 4 se muestra la accesibilidad espacial para los propietarios de perros y gatos de los puestos de vacunación establecidos durante la campaña de vacunación antirrábica en Bogotá durante el 2011, determinada mediante el método 2SFCA con un coeficiente de fricción de transporte basado en una función gaussiana.



**Figura 3.** Cobertura espacial del programa de vacunación antirrábica representada mediante **a)** zonas de influencia circulares calculadas con distancias euclidianas, y **b)** zonas irregulares calculadas con el algoritmo de Dijkstra

Puede observarse una gran área de poca accesibilidad ( $0,0001 > 0,1$ ) y de accesibilidad espacial nula ( $0,0$ ) en la zona norte de la ciudad, en donde se observan focos de gran accesibilidad ( $> 0,2$ ) coincidentes con áreas de baja densidad poblacional. La parte central de la ciudad, de baja densidad poblacional, presentó zonas de gran accesibilidad espacial ( $> 0,2$ ). En la zona suroeste de la ciudad, que correspondía a la más densamente poblada, se encontró la mayor cantidad de puestos, por lo que allí se presentó una accesibilidad espacial media ( $0,1 > 0,2$ ). La periferia de la ciudad presentó poca ( $0,0001 > 0,1$ ) y nula ( $0,0$ ) accesibilidad en algunas áreas; esta podría considerarse como una zona de riesgo de rabia, pues se trata de un área en que limitan la zona rural y la urbana, y a la cual ingresan en mayor medida personas y animales desde zonas rurales.

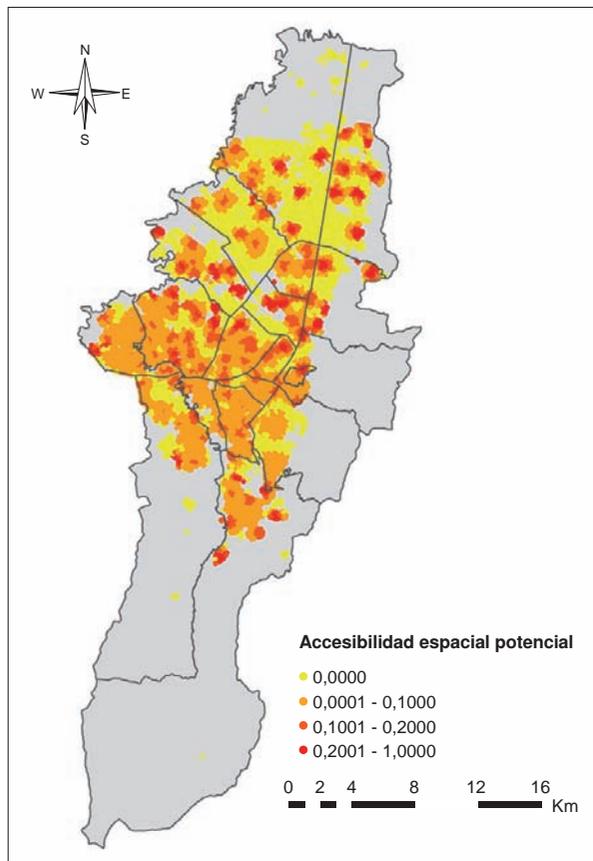
Igualmente, se evidenció que la metodología clásica de análisis de cobertura se ha sobrestimado frente a la metodología de accesibilidad espacial, pues la primera no revela plenamente la situación del programa al omitir variables como el tamaño poblacional, la distancia, la disponibilidad de varios puntos o el diseño de la red de transporte.

## Discusión

Dado el riesgo de presentación de casos de rabia en Bogotá, el objeto del presente estudio fue contribuir a la planeación espacial del programa de vacunación antirrábica para garantizar un mejor acceso de la población a sus servicios.

Para ello, se evaluó la accesibilidad de los propietarios de perros y gatos a la campaña de vacunación antirrábica de octubre de 2011 en la ciudad, utilizando el método de área fluctuante de dos pasos (2SFCA) basado en una función gaussiana (9) y con un coeficiente de fricción de transporte que representó la facilidad de traslado a pie de un usuario promedio en condiciones de carretera (8). Se utilizó una distancia de 800 m, considerada como razonable para recorrerla a pie en busca de un servicio de salud (23), a la cual se recurrió debido a la falta de información sobre la distancia promedio que una persona estaría dispuesta a caminar para llevar su animal de compañía hasta un puesto de vacunación.

El método consistente en calcular zonas de influencia circulares alrededor de los lugares de prestación de servicios se ha utilizado ampliamente



**Figura 4.** Accesibilidad espacial potencial de los propietarios de perros y gatos a los puestos de vacunación establecidos durante la campaña de vacunación antirrábica realizada en Bogotá durante el 2011 y calculada con el método 2SFCA

en estudios de accesibilidad debido a la facilidad de su cálculo (28), asumiendo que la distancia recorrida por una persona que se transporta hasta un determinado servicio es la misma obtenida en el cálculo de la distancia euclidiana. No obstante, la distancia de desplazamiento a través de la red de transporte es mayor, como se evidenció en este trabajo, debido a que el desplazamiento por las calles sigue su diseño en vez del avance en línea recta.

De esta forma, el análisis de cobertura que contempla zonas circulares (distancia en línea recta) tiende a sobreestimar el área de cobertura comparado con aquel que contempla zonas irregulares basadas en el método del camino más corto a lo largo de la red de transporte. Sin embargo, ninguno de estos análisis de cobertura revela el uso de un determinado servicio, ya que omite variables como el tamaño poblacional, la capacidad del servicio o las barreras geográficas.

En consecuencia, a diferencia de los análisis de cobertura, los análisis de accesibilidad revelan el uso de un determinado servicio con mayor precisión. Mediante el análisis de accesibilidad espacial, en este estudio se determinó que había poca accesibilidad al servicio de vacunación antirrábica en Bogotá. Las zonas de mayor accesibilidad correspondieron a aquellas con baja densidad poblacional y alto número de puestos de vacunación.

Por ser una ciudad con un elevado flujo de personas y animales, Bogotá está en riesgo constante de presentar casos de rabia urbana transmitida por perros o gatos infectados provenientes de distintas partes del país. Este trabajo aspira a contribuir a orientar las estrategias de prevención en las zonas aisladas del servicio con alta densidad poblacional.

En este estudio se utilizó un modelo para peatones, pero otros modelos de transporte por medio de automóviles particulares y transporte público pueden dar una visión más completa del acceso a los diferentes servicios. El diseño de un modelo para peatones permite un análisis más preciso, ya que es independiente del tráfico y del sentido de las vías. Aunque los aspectos espaciales sean fundamentales para una adecuada planeación de los servicios, se requieren estudios que evalúen otros factores no espaciales, como el nivel socioeconómico o el conocimiento de las personas del servicio, para complementar los análisis y mejorar la planeación del programa de vacunación.

Es importante destacar que en el presente estudio no se contempló el acceso a los servicios privados, aspecto que podría complementar otros estudios orientados a determinar áreas de riesgo para la presentación de casos de rabia. Además, tampoco se consideró el peso que puede tener la proximidad de una persona a más de un punto de vacunación (18).

Se demostró que la estimación de la accesibilidad espacial es una herramienta eficaz que debería utilizarse en la planeación y evaluación de diferentes programas de salud. Los resultados del análisis sustentan la necesidad de vigilancia e intervención en las áreas aisladas del servicio.

#### Conflicto de intereses

Los autores manifiestan que no tienen conflicto de intereses con respecto al manuscrito.

#### Financiación

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de este trabajo.

## Referencias

- Cediel-Becerra NM.** Asociación entre la epidemiología de la rabia canina, la organización del programa de rabia y las condiciones socio-económicas en Colombia. Estudio ecológico (tesis). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2009.
- Páez A, Rey G, Agudelo C, Dulce A, Parra E, Díaz-Granados H, et al.** Brote de rabia urbana transmitida por perros en el distrito de Santa Marta, Colombia, 2006-2008. *Biomédica*. 2009;29:424-36. <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v29i3.14>
- Cediel N, de la Hoz F, Villamil LC, Romero J, Díaz A.** Epidemiología de la rabia canina en Colombia. *Rev Salud Pública*. 2010;12:368-79. <http://dx.doi.org/10.1590/S0124-00642010000300003>
- Páez A, Meza J, Calvo P, Garzón P.** Niveles de inmunidad humoral conferidos con la primera dosis de la vacuna antirrábica en caninos con dueño de la ciudad de Bogotá, Colombia. *Revista de Investigación*. 2007;7:191-7.
- Secretaría Distrital de Salud.** Jornada de vacunación canina en Bogotá. 2008. Fecha de consulta: 8 de enero de 2013. Disponible en: <http://www.saludcapital.gov.co/Lists/Anuncionprincipales/DispForm.aspx?ID=65>
- Walteros DM, Castro Á.** Rabia humana y rabia animal, situación actual en Colombia hasta el periodo epidemiológico décimo de 2012. Informe de evento. Bogotá: Instituto Nacional de Salud; 2012. p. 1-29. Fecha de consulta: 8 de enero de 2013. Disponible en: [http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Subdireccion-Vigilancia/Informe de Evento Epidemiológico/RABIA 2012.pdf](http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Subdireccion-Vigilancia/Informe%20de%20Evento%20Epidemiologico/RABIA%202012.pdf)
- Wan N, Zou B, Sternberg T.** A three-step floating catchment area method for analyzing spatial access to health services. *Int J Geogr Inf Sci*. 2012;26:1073-89. <http://dx.doi.org/10.1080/13658816.2011.624987>
- Polo G, Acosta CM, Dias RA.** Spatial accessibility to vaccination sites in a campaign against rabies in São Paulo city, Brazil. *Prev Vet Med*. 2013;111:10-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.03.010>
- Dai D.** Racial/ethnic and socioeconomic disparities in urban green space accessibility: Where to intervene? *Landsc Urban Plan*. 2011;102:234-44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.05.002>
- Luo W, Wang F.** Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: Synthesis and a case study in the Chicago region. *Environ Plann B Plann Des*. 2003;30:865-84. <http://dx.doi.org/10.1068/b29120>
- Khan A.** An integrated approach to measuring potential spatial access to health care services. *Socioecon Plann Sci*. 1992;26:275-87. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0121\(92\)90004-O](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0121(92)90004-O)
- Guagliardo MF.** Spatial accessibility of primary care: Concepts, methods and challenges. *Int J Health Geogr*. 2004;3:1-13. <http://dx.doi.org/10.1186/1476-072X-3-3>
- Joseph A, Bantock P.** Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: A method and case study. *Soc Sci Med*. 1982;16:85-90. [http://dx.doi.org/10.1016/0277-9536\(82\)90428-2](http://dx.doi.org/10.1016/0277-9536(82)90428-2)
- Langford M, Higgs G.** Measuring potential access to primary healthcare services: The influence of alternative spatial representations of population. *Prof Geogr*. 2006;58:294-306. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9272.2006.00569.x>
- Wang L.** Immigration, ethnicity, and accessibility to culturally diverse family physicians. *Health Place*. 2007;13:656-71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.healthplace.2006.10.001>
- Wang F, McLafferty S, Escamilla V, Luo L.** Late-stage breast cancer diagnosis and health care access in Illinois. *Prof Geogr*. 2008;60:54-69. <http://dx.doi.org/10.1080/00330120701724087>
- Yang D-H, Goerge R, Mullner R.** Comparing GIS-based methods of measuring spatial accessibility to health services. *J Med Sys*. 2006;30:23-32. <http://dx.doi.org/10.1007/s10916-006-7400-5>
- Polo G, Mera-Acosta C, Ferreira F, Dias RA.** Location-allocation and accessibility models for improving the spatial planning of public health services. *PLoS One*. 2015;16:1-14. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0119190>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística.** Boletín Censo General 2005. Perfil Bogotá. Bogotá: DANE; 2010. Fecha de consulta: 19 de enero de 2013. Disponible en: [http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL\\_PDF\\_CG2005/11001T7T000.PDF](http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/11001T7T000.PDF)
- Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital (IDECA).** Catálogo de Datos Geográficos, Nomenclatura Domiciliaria. Bogotá: IDECA; 2012.
- Vega-Aragón RL, Espinosa-Garzón GH, Castillo-Bejarano L.** Análisis de la población canina en el distrito capital, 2005. *Investig Segur Soc Salud*. 2007;9:205-27.
- Secretaría Distrital de Salud.** Gran jornada de vacunación y adopción de perros y gatos. 2011. Fecha de consulta: 10 de enero de 2013. Disponible en: <http://www.saludcapital.gov.co/Lists/Anuncionprincipales/DispForm.aspx?ID=533>
- Bell S, Wilson K, Shah TI, Gersher S, Elliott T.** Investigating impacts of positional error on potential health care accessibility. *Spat Spatiotemporal Epidemiol*. 2012;3:17-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sste.2012.02.003>
- Zwiefelhofer D.** Batch Geocoding. 2012. Fecha de consulta: 2 de diciembre de 2012. Disponible en: [http://www.findlatitudeandlongitude.com/batch-geocode/#.Vw6k\\_PnhDIU](http://www.findlatitudeandlongitude.com/batch-geocode/#.Vw6k_PnhDIU).
- Dai D.** Black residential segregation, disparities in spatial access to health care facilities, and late-stage breast cancer diagnosis in metropolitan Detroit. *Health Place*. 2010;16:1038-52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.healthplace.2010.06.012>
- Marpert ML.** On threshold values that separate pedestrian walkways that are slip resistant from those that are not. *J Forensic Sci*. 1996;41:747-55. <http://dx.doi.org/10.1520/JFS13992J>
- Secretaría Distrital de Ambiente.** Plan Institucional de Gestión Ambiental – PIGA. Consulta de indicadores ambientales - 2012. Fecha de consulta: 10 de enero de 2013. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/ko/plan-institucional-de-gestion-ambiental-piga1>
- Gutiérrez J, García-Palomares JC.** Distance-measure impacts on the calculation of transport service areas using GIS. *Environ Plann B*. 2008;35:480-503. <http://dx.doi.org/10.1068/b33043>

**Cuadro suplementario.** Latitud y longitud de los puntos de vacunación de la campaña de vacunación antirrábica para perros y gatos en Bogotá, 2012

ID	Latitud	Longitud	ID	Latitud	Longitud	ID	Latitud	Longitud
1	4,6724668000	-74,1525397000	75	4,5189016000	-74,0931380000	147	4,5599265000	-74,1224301000
2	4,6871367000	-74,1456129000	76	4,6025406000	-74,1036871000	148	4,5452884000	-74,1063889000
3	4,6672416000	-74,1433528000	77	4,5662231000	-74,0869186000	149	4,5672916000	-74,1160743000
4	4,6791217000	-74,1427383000	78	4,6245236000	-74,0687646000	150	4,6530582000	-74,0736973000
5	4,6747362000	-74,1437547000	79	4,5484670000	-74,1041149000	151	4,6238311000	-74,1970709000
6	4,6675031000	-74,1290404000	80	4,6368508000	-74,0770542000	152	4,6000987000	-74,1656889000
7	4,6742613000	-74,1443323000	81	4,5819214000	-74,1317919000	153	4,6083171000	-74,1984086000
8	4,6691662000	-74,1187784000	82	4,5791449000	-74,1103301000	154	4,6270703000	-74,1987243000
9	4,6555855000	-74,1132725000	83	4,5613362000	-74,1262421000	155	4,6177857000	-74,2042117000
10	4,6974384000	-74,1683861000	84	4,5809588000	-74,1384215000	156	4,6363837000	-74,2042976000
11	4,6222634000	-74,1478379000	85	4,6140350000	-74,0876016000	157	4,6308107000	-74,1899259000
12	4,6223392000	-74,1636567000	86	4,5901153000	-74,1375668000	158	4,6148009000	-74,2139138000
13	4,6126492000	-74,1461219000	87	4,5879377000	-74,1473021000	159	4,6020937000	-74,1903048000
14	4,6234627000	-74,1575012000	88	4,5892694000	-74,1527761000	160	4,6123394000	-74,1868242000
15	4,6122354000	-74,1570401000	89	4,5165202000	-74,0945161000	161	4,6298860000	-74,1792314000
16	4,6019577000	-74,1365768000	90	4,4979549000	-74,0863657000	162	4,6006754000	-74,1603283000
17	4,6041217000	-74,1561227000	91	4,5246465000	-74,1097719000	163	4,6222936000	-74,1844927000
18	4,5974351000	-74,1427813000	92	4,5247570000	-74,1099986000	164	4,6107679000	-74,1842926000
19	4,6036331000	-74,1410330000	93	4,5131729000	-74,1165583000	165	4,6358763000	-74,1846072000
20	4,5997123000	-74,1458254000	94	4,5402450000	-74,1173103000	166	4,6046484000	-74,1800361000
21	4,6372363000	-74,1410270000	95	4,5377614000	-74,1140342000	167	4,5973197000	-74,0695034000
22	4,6427154000	-74,1418906000	96	4,5182748000	-74,1182502000	168	4,5924254000	-74,0774659000
23	4,6458096000	-74,1479657000	97	4,4947861000	-74,1200755000	169	4,6018465000	-74,0675973000
24	4,6232877000	-74,1321934000	98	4,4957344000	-74,1152509000	170	4,7233993000	-74,0463274000
25	4,6325090000	-74,1272738000	99	4,4986968000	-74,1084919000	171	4,5970644000	-74,1011821000
26	4,6222799000	-74,1269530000	100	4,5060594000	-74,1143784000	172	4,6090966000	-74,0932165000
27	4,6425906000	-74,1261563000	101	4,5030201000	-74,1146095000	173	4,6161253000	-74,0807954000
28	4,6540528000	-74,1570430000	102	4,4710460000	-74,1250799000	174	4,6256284000	-74,0659470000
29	4,6433329000	-74,1560916000	103	4,5071398000	-74,1063510000	175	4,5898344000	-74,0713869000
30	4,6424875000	-74,1607093000	104	4,5142288000	-74,1176762000	176	4,5853557000	-74,0677659000
31	4,6505940000	-74,1732623000	105	4,5132616000	-74,1072679000	177	4,5789023000	-74,0720307000
32	4,6425765000	-74,1658072000	106	4,5107820000	-74,1047947000	178	4,5866916000	-74,0713960000
33	4,6304452000	-74,1709549000	107	4,5075717000	-74,0998009000	179	4,5879438000	-74,0745537000
34	4,6298037000	-74,1777181000	108	4,4883575000	-74,1010438000	180	4,5833486000	-74,0775195000
35	4,6390501000	-74,1728207000	109	4,4878664000	-74,0971491000	181	4,5870884000	-74,0753925000
36	4,6438477000	-74,1755776000	110	4,4937947000	-74,1038981000	182	4,5891983000	-74,0803630000
37	4,6143066000	-74,1783773000	111	4,5015110000	-74,1026858000	183	4,5942050000	-74,0849794000
38	4,6218964000	-74,1717304000	112	4,4938967000	-74,1024592000	184	4,6317994000	-74,0741782000
39	4,6207725000	-74,1751516000	113	4,7575069000	-74,0243189000	185	4,6461045000	-74,0906715000
40	4,6105232000	-74,1692944000	114	4,7688981000	-74,0260920000	186	4,6480861000	-74,0820051000
41	4,6103778000	-74,1739946000	115	4,7344613000	-74,0172735000	187	4,6481132000	-74,0823195000
42	4,6161922000	-74,1048878000	116	4,7659939000	-74,0391184000	188	4,6618904000	-74,0904448000
43	4,6221431000	-74,1204798000	117	4,7394911000	-74,0400904000	189	4,6718812000	-74,0792756000
44	4,6199071000	-74,1120089000	118	4,7215575000	-74,0302332000	190	4,6826965000	-74,0643857000
45	4,6103336000	-74,1186693000	119	4,7215575000	-74,0302332000	191	4,6748249000	-74,0628155000
46	4,6076493000	-74,1098598000	120	4,7397642000	-74,0249220000	192	4,6711106000	-74,0666098000
47	4,6025205000	74,1079128000	121	4,6956637000	-74,0310243000	193	4,6307023000	-74,0576048000
48	4,6208136000	-74,1051798000	122	4,6184112000	-74,1899698000	194	4,6428937000	-74,0526230000
49	4,6300125000	-74,1142116000	123	4,7145832000	-74,1419160000	195	4,6304030000	-74,0612637000
50	4,6084299000	-74,1232579000	124	4,7188319000	-74,1054839000	196	4,6324726000	-74,0583265000
51	4,6009442000	-74,1224670000	125	4,6937781000	-74,1109452000	197	4,6760226000	-74,0307297000
52	4,6324492000	-74,1109822000	126	4,6725604000	-74,0821990000	198	4,6693475000	-74,0184664000
53	4,7417665000	-74,0833268000	127	4,6845935000	-74,1006076000	199	4,6730409000	-74,0537864000
54	4,7479078000	-74,0548182000	128	4,7191320000	-74,1200017000	200	4,6496618000	-74,0634654000
55	4,7248253000	-74,0703953000	129	4,7164463000	-74,1235720000	201	4,6342967000	-74,0705339000
56	4,6970468000	-74,0758580000	130	4,6778714000	-74,0801846000	202	4,5370380000	-74,1444008000
57	4,7307754000	-74,1020913000	131	4,6909575000	-74,0999589000	203	4,5535677000	-74,1410323000
58	4,7198789000	-74,0902684000	132	4,5883975000	-74,1034968000	204	4,5569036000	-74,1464697000
59	4,7298367000	-74,1057656000	133	4,5938098000	-74,1002008000	205	4,5390569000	-74,1548784000
60	4,7092893000	-74,0954168000	134	4,5823620000	-74,0973640000	206	4,5615755000	-74,1485479000
61	4,7389183000	-74,1011635000	135	4,5863442000	-74,0877868000	207	4,5645257000	-74,1527550000
62	4,7455031000	-74,1213415000	136	4,5934914000	-74,1232844000	208	4,5470054000	-74,1434217000
63	4,7522339000	-74,1139947000	137	4,5766085000	-74,1021530000	209	4,5534087000	-74,1487930000
64	4,7431653000	-74,1212037000	138	4,5765701000	-74,1103712000	210	4,5691966000	-74,1426984000
65	4,5931847000	-74,0713958000	139	4,5840666000	-74,1050795000	211	4,5925742000	-74,1568232000
66	4,5368014000	-74,0839008000	140	4,5832037000	-74,1197183000	212	4,5853456000	-74,1784329000
67	4,6674006000	-74,0209975000	141	4,5734183000	-74,1062738000	213	4,5913812000	-74,1805955000
68	4,5604392000	-74,0878396000	142	4,5636559000	-74,1065742000	214	4,5542447000	-74,1362247000
69	4,5630412000	-74,0923870000	143	4,5690049000	-74,1096619000	215	4,5684260000	-74,1632924000
70	4,5591883000	-74,0870368000	144	4,5573481000	-74,1118956000	216	4,5786531000	-74,1787945000
71	4,5156971000	-74,0947588000	145	4,5479788000	-74,1134667000	217	4,5404264000	-74,1420664000
72	4,5319548000	-74,0893391000	146	4,5432096000	-74,1179779000	218	4,5727678000	-74,1649050000